С6
Т2 54

ISSN 1993-9175

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ

ВІСНИК

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 14

Дніпропетровськ
2007

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

В І С Н И К

Дніпропетровського
національного університету залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Випуск 14

Дніпропетровськ
2007

ББК 39.2
В53
УДК 625.1+626.2

Редакційна колегія:

Головний редактор д-р техн. наук *Пшінько О. М.*
Заступник головного редактора д-р техн. наук *Мямлін С. В.*
Члени редколегії: д-р біолог. наук *Дворецький А. С.*;
д-ри техн. наук *Блохін Є. П., Боровський В. І., Боднар Б. Є., Босов А. А., Браташ В. О., Вакуленко І. В., Гетьман Г. К., Дубинець Л. В., Жуковицький І. В., Заблудовський В. О., Загарій Г. І., Казакевич М. І., Колесов С. М., Коротенко М. Л., Костін М. О., Курган М. Б., Петренко В. Д., Пунагін В. М., Радкевич А. В., Разгонов А. П., Рибкін В. В., Скалозуб В. В., Хандецький В. С., Шафіт Є. М.*;
д-ри фіз.-мат. наук *Гаврилюк В. І., Кравець В. В.*;
д-ри хім. наук *Біляєв М. М., Нейковський С. І., 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 05.02.2007, протокол № 7

Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка
В53 В. Лазаряна. – Вип. 14. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007. – 278 с.

У статтях наведені наукові дослідження, виконані авторами в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та інших організаціях. Статті присвячені вирішенню актуальних питань залізничного транспорту за такими напрямками: автоматизовані системи керування на транспорті, 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 статьях отражены научные исследования, выполненные авторами в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна и других организациях. Статьи посвящены решению актуальных вопросов железнодорожного транспорта по следующим направлениям: автоматизированные системы управления на транспорте, экономика транспорта, электрический транспорт, железнодорожный путь, моделирование задач транспорта и экономики, ремонт и эксплуатация транспортных средств, подвижной состав и тяга поездов, транспортное строительство, материаловедение.

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

ББК 39.2

© Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2007

ЗМІСТ

ГАЛУЗЬ ТЕХНІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

В. И. ПАРФЕНОВ, А. П. РАЗГОНОВ (ДИИТ), А. Б. РУДЕНКО (Приднепровская ж. д.)
СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЯКОРЯХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ 7

А. П. РАЗГОНОВ, А. В. АДРЕЕВСКИХ, Б. М. БОНДАРЕНКО, Д. А. БЕЗРУКАВИЙ (ДИИТ)
К ОЦЕНКЕ СИЛ ТРЕНИЯ В МОМЕНТЫ ТРОГАНИЯ И ОСТАНОВКИ ЯКОРЯ РЕЛЕ 12

Т. Н. СЕРДЮК (ДИИТ)
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИК ТЯГОВОГО ТОКА ПО ДЛИНЕ ФИДЕРНОЙ ЗОНЫ
И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ 16

РОЗДІЛ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ»

М. О. БАБ'ЯК, О. А. ТЕТЕРКО (ДІІТ)
ВИДИ ВІДМОВ ТА ЗНОС РОЗРИВНИХ КОНТАКТІВ КОНТАКТОРІВ
З ДУГОГАШЕННЯМ ГОЛОВНОГО КОНТРОЛЕРА ЕКГ-8Ж 24

Г. Г. БАСОВ, Н. И. ФАЛАЛЕЕВ (ОАО ХК «Луганскстепловоз»)
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ СИЛОВОЙ ЦЕПИ 28

В. Н. БЕЗРУЧЕНКО, О. И. ГИЛЕВИЧ, А. Н. МУХА, А. В. ШАПОВАЛОВ (ДИИТ)
О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С КОЛЛЕКТОРНЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ 30

С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, О. А. КЛИНКОВА (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ
В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 35

С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, В. Г. СКОРИК (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)
ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 38

В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, С. В. БУРЫЛОВ, А. А. БУРЯК, В. Ю. СКОСАРЬ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»), М. В. СИРЕНКО, В. Н. ЛЕСНИЧИЙ (ЗАО «ВЕСТА-Днепр»)
УНИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ЗАРЯДА
СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ 41

Ю. А. ЖУЛАЙ, А. С. ВОРОШИЛОВ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»)
ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ 46

В. С. КЛИМАШ (Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия), С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, А. М. КОНСТАНТИНОВ (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)
ТРЁХФАЗНОЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО
С ОДНОФАЗНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ 52

В. Г. КУЗНЄЦОВ (ДІІТ)
ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА НОРМОЮ
ДЛЯ СТАЦІОНАРНИХ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВНУ РОБОТУ ЗАЛІЗНИЦЬ 55

А. А. МАТУСЕВИЧ (ДИИТ)
ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 59

Т. Н. МИЩЕНКО (ДИИТ)
НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ 64

О. И. САБЛИН (ДИИТ)
СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА – СИСТЕМА НЕПОСТОЯННОГО ТОКА 67

Е. Е. ТЕН, А. А. ПАНЧЕНКО (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)
АНАЛИЗ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ 72

РОЗДІЛ «ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ»

И. А. БОНДАРЕНКО (ДИИТ)
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО СЛОЯ 76

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ)
КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СЪЕМКИ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ 81

М. С. ТИХОВ, Ю. С. РОМЕН, А. В. БЕЛОУСОВ (Всероссийский научно-исследовательский інститут железнодорожного транспорта, Россия)
ВЫБОР МЕСТ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ И КОЛИЧЕСТВА ЗАЕЗДОВ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ПУТЬ 86

РОЗДІЛ «МОДЕЛЮВАННЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТУ ТА ЕКОНОМІКИ»

А. А. БОСОВ, Н. А. МУХИНА (ДИИТ), А. И. КУЗЬМЕНКО (Академия таможенной службы Украины)
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ
ПРИ ПЕРЕХОДЕ С КОЛЕИ 1 435 НА 1 520 мм 94

В. М. ІЛЬМАН (ДІІТ)
ВЛАСТИВОСТІ ФОРМАЛЬНИХ СТРУКТУР ТА ЇХ ПІДСТРУКТУР 99

РОЗДІЛ «РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ»

В. В. АРТЕМЧУК (ДІІТ)
ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ БАГАТОШАРОВИХ ВІДНОВЛЮЮЧИХ ПОКРИТТІВ,
ЩО НАНЕСЕНІ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ 105

Б. Е. БОДНАРЬ, Л. Ф. ГАГИН, О. И. ГИЛЕВИЧ, В. У. ВАРФОЛОМЕЕВ, Д. В. БОБЫРЬ, А. Б. ОЧКАСОВ, А. П. ШЕПОТЕНКО, Г. В. ЕВДОМАХА (ДИИТ)
ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЛЬСОВОГО АВТОБУСА 620 м 108

Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, С. В. КУКИН, А. Е. НИЩЕНКО (ГП «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»)
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ
В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ 112

В. С. ДЖУС, А. Я. КУЛІЧЕНКО (ДІІТ, Львівський ф-т)
ДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЕЙКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У МІСЦЯХ ЇХ СТИКУВАННЯ 115

А. В. ДОНЧЕНКО, В. А. ХУДІЄНКО, Т. В. ШЕЛЕЙКО (ДП «УкрНДІВ»)
МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАГОНІВ ДЛЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ
У ВАГОНИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СИПКИХ ВАНТАЖІВ 119

Р. В. КОВАЛЕВ, Г. А. ФЕДЯЕВА, В. Н. ФЕДЯЕВ (Брянский государственный технический университет, Россия)
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЗОВ 123

Г. И. МУЗЫКИНА, П. В. БЕХ (ДИИТ)
К ВОПРОСУ О РАБОТЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПУНКТОВ 128

РОЗДІЛ «РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ»

А. В. ДОНЧЕНКО, М. В. ТРОЦКИЙ, А. Г. КРУПА (ГП «УкрНИИВ»), Г. В. РЕЙДЕМЕЙСТЕР (ДИИТ)
ТИПАЖ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ
ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ 132

В. В. КРАВЧУК, И. И. ДОРОНИНА, Е. А. ХАРИН (Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Россия)
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ И ДЛИНЫ 136

Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)
МОНІТОРИНГ СТАНУ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ РУХОМОГО СКЛАДУ 142

В. А. ПОЛЯКОВ, Н. М. ХАЧАПУРИДЗЕ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины)
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА 146

В. И. ПРИХОДЬКО, О. А. ШКАБРОВ (ОАО «КВСЗ»), С. В. МЯМЛИН, П. А. ЯГОДА (ДИИТ)
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ
ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК 152

РОЗДІЛ «ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО»

С. Ю. БЕРЕСТЯНСКАЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ 157

С. А. БОКАРЕВ, Л. Ю. СОЛОВЬЕВ, Д. Н. ЦВЕТКОВ (Сибирский государственный университет путей сообщений, Россия)
ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ 162

Э. А. БОРИСОВ (ДИИТ)
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЮБИНГОВЫХ КОЛЕЦ ТУННЕЛЯ 168

Е. И. ГАЛАГУРЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)
ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНЫХ И СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН 170

Е. Ю. ГАЛАГУРЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)
РАБОТА БЕТОННЫХ БАЛОК С ВНЕШНИМ ЛИСТОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ 173

О. В. ГРОМОВА (ДИИТ)
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРИШАРОВИХ ЗРАЗКІВ
ДЛЯ РІЗНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ 177

Р. Б. ТЯН, В. Р. МЛОДЕЦКИЙ, Б. Г. КЛОЧКО (ПГАСА)
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ 181

М. І. МАЛЬКОВ, А. В. РАДКЕВИЧ, О. О. СТЕПАНЕНКО (ДІІТ)
БОЄЗДАТНІСТЬ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖСПЕЦТРАНС-СЛУЖБИ
ПРИ ПЕРЕХОДІ ЇХ З МИРНОГО НА ВОЄННИЙ СТАН 187

С. І. ОЛЕФІРЕНКО, С. О. ЯКОВЛЄВ, В. В. БИЧКОВ, В. А. КОЗІНСЬКИЙ (ДІІТ)
ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ПІД ЧАС КРИЗОВИХ СИТУАЦІЙ 191

В. Д. ПЕТРЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, М. Б. СТОИЧЕВА (ДИИТ)
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ 195

А. А. РАЩЕПКИН (НИДЦ СГУПС, Россия)
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ 198

М. Ф. ФЕСЕНКО (Адміністрація Держспецтрансслужби) А. В. РАДКЕВИЧ (ДІІТ)
ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВОЇ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРУ
І МАСШТАБІВ РУЙНУВАНЬ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД 208

А. **Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, В. Н. ГРЕБЕННИКОВ (ДИИТ)**
В. В. ПАЛИЙ, В. И. НАКОНЕЧНЫЙ (Укрзализныця) Н. В. САВИЦКИЙ (ПГАСА)
ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА «СТТИЗОЛ» 211

В. П. ТАРАСЕНКО, Б. В. САВЧИНСКИЙ, В. И. СОЛОМКА, Б. Д. СУХОРУКОВ, М. К. ЖУРБЕНКО, Т. Ф. ХАРИТОНОВА, С. В. КЛЮЧНИК (ДИИТ)
РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ИСПЫТАНИЙ
ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАЗВОДНОГО МОСТА ПОД СОВМЕЩЕННУЮ ЕЗДУ 216

В. Г. ШАПОВАЛ, А. В. ШАПОВАЛ, В. В.КАПУСТИН (ПГАСА)
МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ ПОЛЗУЧЕСТИ 220

РОЗДІЛ «МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»

И. П. ВОЛЧОК, О. В. ЛЮТОВА (Запорожский национальный технический университет)
ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ.....225

Т. Е. ДОРОГАНЬ, Д. В. ГЕРАСИМЕНКО (ДИИТ)
ПОКРЫТИЯ СПЛАВАМИ ХРОМА С МОЛИБДЕНОМ И ВОЛЬФРАМОМ
ДЛЯ ПОВЫШЕНЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УЗЛОВ МАШИН 229

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ), В. Г. РАЗДОБРЕЕВ, О. Н. ПЕРКОВ (Институт черной металлургии НАН Украины)
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ УПРОЧНЕННЫЙ АРМАТУРНЫЙ ПРОКАТ.....232

Е. В. СУХОВАЯ (Днепропетровский национальный университет)
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ-СВЯЗОК НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ
ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ 235

ГАЛУЗЬ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

РОЗДІЛ «ЕКОНОМІКА ТРАНСПОРТУ»

В. В. БОБЫЛЬ (Днепропетровский государственный аграрный университет)
РАЗРЕШЕНИЕ АГЕНТСКИХ КОНФЛИКТОВ КАК ОДНА
ИЗ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ.....239

Г. Л. ВЕНЕДИКТОВ (ЗАО «ОКДАЙЛ», Россия), В. В. ГАРБАРУК, П. В. ГЕРАСИМЕНКО (ПГУПС, Россия)
МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЦЕНАМИ БИЛЕТОВ
В ВАГОНАХ РАЗНОГО КЛАССА СКОРОСТНОГО ПОЕЗДА 243

В. Є. ВЛАСЮК (ДІІТ)
ЩОДО ПРАКТИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВАЖЕЛІВ ДЕРЖАВНОГО ВПЛИВУ
НА ПРОВЕДЕННЯ ФИНАНСОВО-КРЕДИТНОЇ ПОЛІТИКИ.....248

Н. В. ГНЕННЫЙ, О. Н. ГНЕННЫЙ (ДИИТ)
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА НОВОГО ТИПА 255

Н. Г. ИВАНОВА (ВНИКТИ, Россия)
ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КАК КРИТЕРИЙ ВЫБОРА
НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО МЕРОПРИЯТИЯ 261

И. Е. ЛЕВИЦКИЙ (Одесская ж. д.)
НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ
И РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 266

О. В. ЛИСА (ДИИТ)
ОБГРУНТУВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ОБОРОТНИХ КОШТІВ У ДЕБІТОРСЬКІЙ
І КРЕДИТОРСЬКІЙ ЗАБОРГОВАНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА 268

Р. В. САВЧУК, А. Б. СКОРОХОДОВ (НМетАУ)
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ МЕРЫ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТНОЙ ПОЗИЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....273

УДК 656.259.12

В. И. ПАРФЕНОВ, А. П. РАЗГОНОВ (ДИИТ), А. Б. РУДЕНКО (Приднепровская ж. д.)

СПОСОБЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЯКОРЯХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Розглянуто питання експериментального дослідження теплових процесів в якорях електродвигунів постійного струму стрілочних електроприводів. Запропоновано визначати температуру ізоляції якоря обмотки за величиною її ємності. Цей метод дозволяє підвищити надійність та точність діагностування електричних двигунів постійного струму.

Рассмотрены вопросы экспериментального исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей постоянного тока стрелочных электроприводов. Предложено определять температуру изоляции якоря обмотки по величине ее емкости. Этот метод позволяет увеличивать надежность и точность диагностирования электродвигателей постоянного тока.

The article considers issues of experimental research of thermal processes in the anchors of d. c. electrical motors in electrical drives of railway switching points. It has been proposed to determine the temperature of winding anchor insulation by the value of its capacity. This method allows to increase reliability and accuracy of d.c. electrical motors diagnostics.

Существует проблема определения состояния нагрева изоляции якорей электродвигателей стрелочных приводов, которая состоит в том, что применяемые методы не позволяют получить достоверную информацию. Необходимость такой информации основывается на опыте эксплуатации стрелочных переводов. В тяжелых условиях перевода стрелки (снег, спаренность, наличие пружинности остряков) в два раза возрастает ток, потребляемый стрелочным электродвигателем, что приводит к изменению тепловых процессов эксплуатации их якорей, и, как следствие, выходу их из строя.

Целью данной работы является анализ существующих способов исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей и разработка нового способа, позволяющего повысить точность измерений.

Существующие способы определения перегрева якоря электродвигателя стрелочного электропривода предусматривают применение вмонтированных термометров или температурных индикаторов и измерительных мостов. Однако точность получаемых результатов при использовании данных методов замера температуры различна [1]. Самым простым является метод измерения температуры узлов двигателя с помощью термометра. Он основан на непосредственном контакте термометра с исследуемой точкой и измерении температуры узла. Способ требует полной остановки, отключения и разборки электродвигателя. По сравнению с другими из-за теплового обмена с внешней средой дает заниженное значение температуры обмоток якоря.

Способ замера истинных значений температуры заложением термопары в исследуемые места электродвигателя, хотя и более точен по сравнению с методом термометра, но применяется крайне редко ввиду его сложности.

Известен способ исследования тепловых процессов в якорях электродвигателей, который предусматривает нанесение на наружный слой обмотки якоря специального термоиндикатора, оптически согласованного со светочувствительным датчиком. Помимо постоянной регистрации температуры способ также предусматривает наличие порогового устройства со световой индикацией, которое срабатывает при достижении предельной температуры обмотки. Устройство, реализующее этот способ, является сложным и дорогостоящим [2].

Наиболее распространенным является способ непосредственного измерения сопротивления обмотки якоря. При измерении текущих значений сопротивления обмотки электрической машины она отключается после ее полной остановки и производится отсчет сопротивления. Для измерения используется мостовой метод измерения сопротивления, в одно из плеч которого включают якорь электропривода стрелочного перевода [3].

При использовании этого метода необходимо учитывать температурный коэффициент стабильности проводника (ТКС), который определяется по формуле:

$$ТКС = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1}, \qquad (1)$$

где R_1 – начальное сопротивление проводника, Ом; R_2 – конечное значение сопротивления проводника, Ом; T_1 – начальная температура, °С; T_2 – конечная температура, °С.

Отсюда абсолютная температура с учетом перегрева определяется по формулам:

$$\upsilon_{гор} = \frac{1}{ТКС} \cdot \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} + 20°, \qquad (2)$$

$$\tau = \frac{1}{ТКС} \cdot \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}} + 20° - \upsilon_0,$$

$$\tau = \upsilon_{гор} - \upsilon_0, \qquad (3)$$

где $\upsilon_{гор}$ – абсолютная температура проводника, °С; *ТКС* – температурный коэффициент стабильности; $R_{гор}$ – сопротивление нагретого проводника, Ом; $R_{хол}$ – сопротивление холодного проводника, Ом; υ_0 – начальная температура, °С; τ – перегрев проводника, °С.

При измерениях мостовым методом якорь электродвигателя рассматривается как идеальное однородное тело, все токи которого имеют одинаковую температуру. Вместе с тем реальные якоря имеют большую неоднородность меди проводника, изоляции обмотки и стали якоря, что приводит к погрешности измерений. Поэтому для уменьшения погрешности тепловой поток и перегрев температуры по толщине изоляции Θ_β определяются по формулам:

$$Q = \alpha S \tau, \qquad (4)$$

$$\Theta_\beta = \frac{\beta}{\pi S}, \qquad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи; β – толщина изоляции, м; τ – текущий перегрев изоляции, °С; Θ_β – перепад температуры по толщине изоляции, °С; π – теплопроводность изоляции, Вт/(м·К); Q – тепловой поток, Дж; S – площадь теплоотдачи, м^2.

Приграничные слои «медь проводника – изоляция» будут иметь более высокую температуру, чем приграничные слои «изоляция обмотки – сталь якоря», поскольку температура этих слоев зависит от теплопроводности изоляции.

Разные типы изоляции имеют неодинаковую теплопроводность, а описанный выше метод их уравнивает, внося погрешности. Отсюда следует, что рассматриваемый способ не обеспечивает высокую точность в измерении истинной температуры. Фактически, таким методом будет получена температура меди и динамика ее изменения, а не температура изоляции обмотки. Искажение показателей снижает надежность работы электродвигателей, что может привести к аварийной ситуации. Электротехнические элементы электродвигателя, в частности его якорь, являются элементами с распределенными параметрами. Их схема замещения включает активную, индуктивную и емкостную составляющие. Собственная емкость якоря может быть представлена в виде конденсатора, одной из пластин которого является обмотка якоря, а второй – сталь якоря.

На рис. 1 и 2 изображены поперечный разрез паза якоря электродвигателя и схема замещения паза емкостями: *1* – обмотка якоря, *2* – сталь якоря, *3* – изоляция обмотки, *4* – конденсатор C_1, определяющий емкость перехода «левая сторона – паз», изоляция и обмотка якоря, *5* – конденсатор C_2, емкость которого определяется сталью дна паза, изоляцией и обмоткой якоря, *6* – конденсатор C_3, определяющий емкость перехода «правая сторона – паз», изоляция и обмотка якоря.

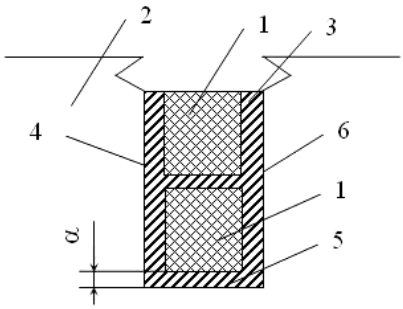


Рис. 1. Поперечный разрез паза якоря электродвигателя

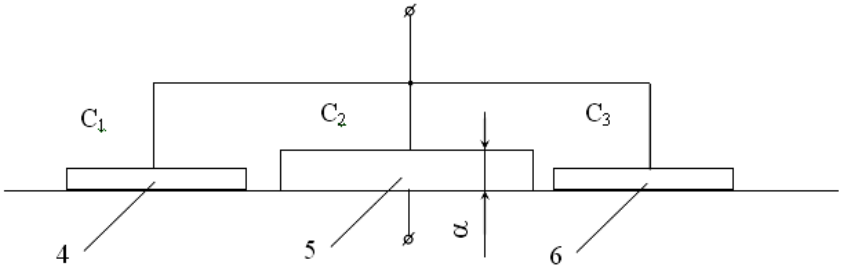


Рис. 2. Схема замещения паза двигателя постоянного тока емкостями

Видно, что емкость одного паза якоря складывается из трех элементарных емкостей сторон паза электрической машины C_1, C_2 и C_3 (см. рис. 2). Емкость всего якоря складывается из емкостей всех пазов.

Электрическая схема замещения якоря изображена на рис. 3 и содержит: активное сопротивление щетки *7*; собственную емкость якоря *8*; индуктивность якорной обмотки *9*; активное сопротивление якорной обмотки *10*; активное сопротивление второй щетки и емкости обмотки возбуждения *12*. Как и всякий реальный конденсатор, емкость якоря электродвигателя имеет температурный коэффициент стабильности TKC_C, поскольку она зависит от температуры в определенном диапазоне. С учетом этого коэффициент TKC_C равен

$$TKC_C = \frac{1}{C_1} \cdot \frac{C_2 - C_1}{T_2 - T_1}, \qquad (6)$$

где C_1 – начальная емкость якоря, Ф; C_2 – конечная емкость якоря, Ф; T_1 – начальная температура, °С; T_2 – конечная температура, °С.

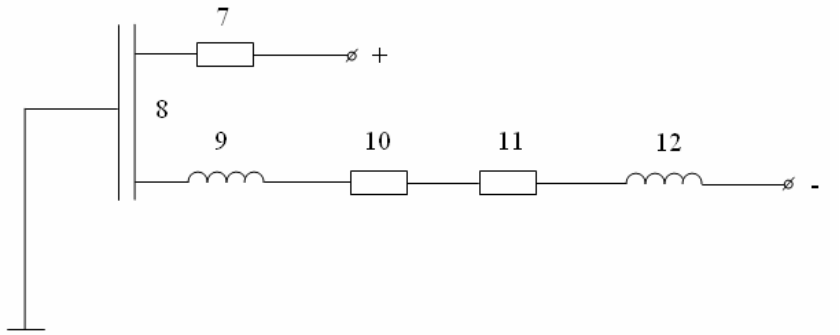


Рис. 3. Электрическая схема замещения якоря двигателя постоянного тока

Из (6) следует, что

$$C_2 = \left[1 + TKC_C\left(T_2 - T_1\right)\right] C_1 . \qquad (7)$$

С учетом температурного коэффициента стабильности определяется абсолютная температура и перегрев изоляции обмотки якоря

$$\upsilon_{\text{гор}} = \frac{1}{TKC_C} \cdot \frac{C_{\text{гор}} - C_{\text{хол}}}{C_{\text{хол}}} + 20°, \qquad (8)$$

или

$$\tau = \frac{1}{TKC_C} \cdot \frac{C_{\text{гор}} - C_{\text{хол}}}{C_{\text{хол}}} + 20° - \upsilon_0, \qquad (9)$$

где $\upsilon_{\text{гор}}$ – абсолютная температура изоляции, °С; $C_{\text{гор}}$ – емкость нагретого якоря, Ф; $C_{\text{хол}}$ – емкость холодного якоря, Ф; υ_0 – начальная температура, °С; τ – перегрев изоляции, °С.

На рис. 4 изображен экспериментальный график изменения емкости якоря от температуры, построенный по конечным точкам разогрева.

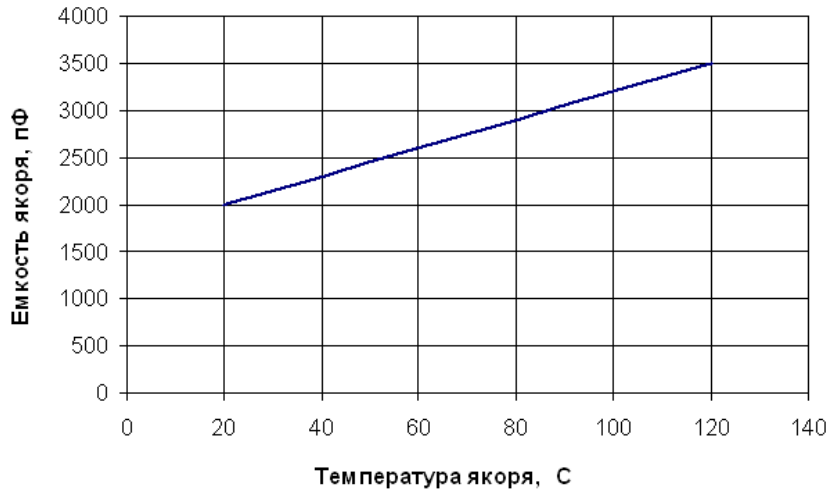


Рис. 4. Зависимость емкости якоря от температуры

Как видно из графика и формулы (7), емкость обмотки якоря при нагреве изменяется линейно. Емкость якоря определяется по формуле

$$C = \frac{0{,}884 S \varepsilon}{\alpha}, \qquad (10)$$

где C – емкость якоря, Ф; S – площадь пластин конденсатора, м^2; α – расстояние между пластинами конденсатора, м; ε – диэлектрическая проницаемость изоляции.

Изоляция обмотки якоря в основном состоит из неполярных диэлектриков, для которых зависимость $\varepsilon(t°)$ имеет тенденцию к уменьшению с увеличением температуры. Изоляция обмоток является сжатой с обеих сторон медью и сталью, которые расширяются при нагревании. При сжатии у диэлектрика повышается плотность, а следовательно, и ε, при чем также линейно. Диэлектрическая проницаемость ε является функцией двух изменяющихся величин температуры и плотности. При повышении температуры ε уменьшается, а при увеличении плотности – растет. Так как эти две величины линейные, то и их результирующая кривая будет линейной [3].

Поскольку геометрические размеры и диэлектрическая проницаемость изменяются линейно, то и вся емкость якоря и меди будет изменяться линейно (см. рис. 4).

Изоляция обмотки якоря, представленная в виде диэлектрика конденсатора, позволяет рассмотреть процессы, происходящие в ней. Изменение емкости якоря вызывается нагревом и сжатием изоляции. Следовательно, изменение емкости в процессе изменения температуры отражает реальную динамику изменения изоляции при изменении температуры и служит объективной величиной для определения истинных значений температуры и перегрева изоляции.

По результатам измерения емкости и сопротивления якоря строятся графики кривых нагревания и его охлаждения (рис. 5, 6).

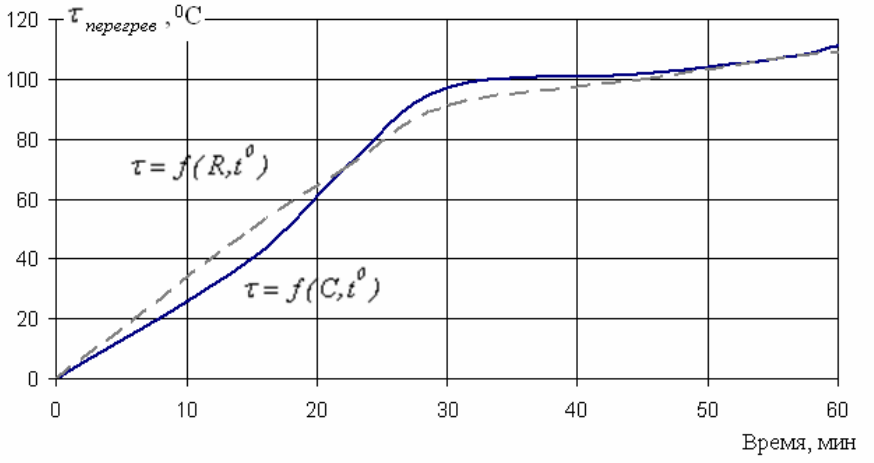


Рис. 5. Кривая нагрева якоря, вызванная изменением емкости и сопротивления

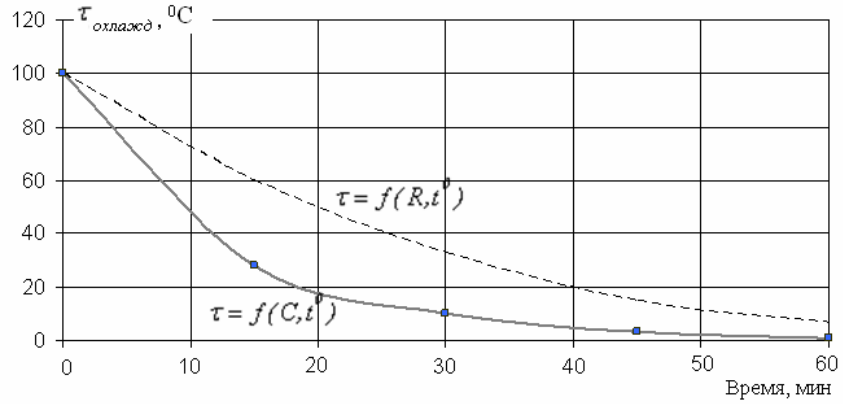


Рис. 6. Кривая охлаждения якоря, вызванная изменением емкости и сопротивления

Как видно из рис. 5, 6, кривая нагревания $\tau = f(\mathrm{C}, t°)$ в начальный период отстает от кривой $\tau = f(R,t°)$, что обусловлено неравномерностью нагрева меди и изоляции из-за различных коэффициентов теплопроводности и теплоотдачи. При увеличении температуры от 30 °С и выше кривые практически совпадают. Кривая охлаждения $\tau = f(\mathrm{C}, t°)$ имеет более крутопадающий характер по сравнению с $\tau = f(R,t°)$, что также обусловлено неоднородностью материала и различными коэффициентами теплопроводности и теплоотдачи.

Определение истинной температуры и перегрева изоляции электродвигателя методом измерения собственной емкости якоря позволяет решить дополнительную задачу диагностику электродвигателя. Так как емкость измеряется током частотой 1 000 Гц, то появляется возможность измерить температуру и перегрев изоляции электродвигателя, находящегося под напряжением и нагрузкой, якорь которого вращается (в процессе эксплуатации). В этом случае возможно разделение высокочастотного измерительного напряжение и силовой цепи постоянного и выпрямленного пульсирующего тока.

Предложенный способ измерения температуры изоляции якоря электродвигателя позволяет своевременно выявить перегрев обмотки при работе двигателя на фрикцию, и при снижении сопротивления изоляции электродвигателей стрелочных приводов.

Измерение истинной температуры и перегрева рассматриваемым методом позволит существенно повысить точность измерения и реализовать диагностику на базе ПЭВМ. Все это позволяет повысить качество технического обслуживания и надежность электродвигателей стрелочных электроприводов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрамков Е. Г. Электрические измерения. – М.: Высш. шк., 1972.
2. А.с. СССР № 142397 А1. Устройство для определения технического состояния коллекторной электрической машины.
3. Тареев В. М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1982.

Поступила в редколлегию 27.07.2006.

УДК 656.25.621.318

А. П. РАЗГОНОВ, А. В. АДРЕЕВСКИХ, Б. М. БОНДАРЕНКО,
Д. А. БЕЗРУКАВИЙ (ДИИТ)

К ОЦЕНКЕ СИЛ ТРЕНИЯ В МОМЕНТЫ ТРОГАНИЯ И ОСТАНОВКИ ЯКОРЯ РЕЛЕ

Розглянуто метод визначення величини тягового зусилля, яке виводить систему із стану рівноваги, заснований на використанні властивості механічного резонансу рухомої системи реле, який дозволяє автоматичними засобами визначити момент реакції якоря і відповідні йому струм і силу тертя.

Рассмотрен метод определения величины тягового усилия, которое выводит систему из состояния равновесия, основанный на использовании свойства механического резонанса подвижной системы реле, позволяющий автоматическими средствами определить момент реакции якоря и соответствующие ему ток и силу трения.

The article considers issues of electromagnetic compatibility of traction network with the rail circuits. A mathematic model is elaborated for evaluation of distribution of harmonics of traction current on the length of feeder zone and determination of the value of stray currents. The results of modeling are represented for 50 and 100 Hz harmonics of return traction current.

Проблема обеспечения надежности релейных систем железнодорожной автоматики и телемеханики решается с помощью высокоточного контроля механических параметров электромагнитных реле в ремонтно-технологических участках дистанции сигнализации и связи. Вместе с тем это решение производится с применением устаревшей технологии и измерительной техники (необходимость вскрытия блоков, ручное измерение механических параметров), при этом привлекается большое число квалифицированных специалистов.

Современная технология профилактического ремонта аппаратуры должна включать тестовый контроль особенно механических параметров электромагнитных реле и оптимизацию межремонтного периода. Частично эта проблема решается с применением устройств для измерения перемещения якоря электромагнитного реле [1–9].

Целью исследования является количественная оценка сил трения в подвижной системе реле, с последующим решением задачи автоматизации процесса измерения механических параметров и характеристик реле.

Для определения тяговой силы в момент начала движения якоря электромагнитного реле важно знать величину сил трения, удерживающих систему в начальном положении после подачи тока в обмотку реле.

Уравнение движения подвижной системы реле

$$F_э = m_1 \frac{dx^2}{dt^2} + f_{тр} \frac{dx}{dt} \pm ax + F_0 , \qquad (1)$$

где m_1 – приведенная масса движущихся частей реле; x – перемещение якоря; $f_{тр}$ – удельная сила сопротивления движению якоря и движущихся частей реле; a – приведенная жесткость контактных и возвратных пружин; F_0 – начальное значение электромагнитной противодействующей силы, (противо-эдс); $F_э$ – сила притяжения, действующая на якорь.

Для приближенного решения этого нелинейного уравнения пользуются графо-аналитическим методом последовательных приближений. При этом, как правило, пренебрегают начальной противодействующей силой (F_0) и удельной силой сопротивления движению ($f_{тр}$) [10].

На наш взгляд, удельную силу сопротивления движению следует учитывать в расчетах, поскольку по ее величине при функциональном контроле можно оценить состояние подвижной системы реле, в том числе и контактных поверхностей трущихся элементов.

Однако трудно определить существующими техническими средствами относительно малую начальную величину механической реакции якоря на ток в обмотке реле в момент трогания якоря.

Анализ (1) показывает, что реакция якоря на ток в обмотке обусловлена как электромагнитными (ток, напряжение, потоки), так и механическими параметрами реле.

Перед моментом трогания скорость движения якоря нулевая, следовательно, начальным значением противодействующей силы F_0 (противо-эдс) можно пренебречь.

К моменту трогания якоря удельная сила сопротивления движению $f_{тр}$ обусловлена на-

личием на поверхности подвижных сопряженных элементов сил сцепления (якоря, контактов, регулировочных пружин и др.), за счет трения первого рода (трения скольжения), которое в начальный момент максимально и является трением покоя. Эта величина зависит от качества обработки поверхностей трущихся деталей и от силы их сжатия (нормальной реакции):

$$f_{\text{тр}} = kN\,, \qquad (2)$$

где k – коэффициент трения при скольжении; N – величина нормальной реакции.

Сила трения покоя равна модулю и направлена против внешней силы, вызывающей скольжение одной детали по другой.

Известно, что коэффициент трения скольжения k не является постоянной величиной (как в покое), он зависит от свойств и состояния поверхностей деталей.

Из сказанного следует, что состояние поверхностей сопряженных деталей, в том числе и контактов, в значительной степени определяет величину силы трения в подвижной системе.

С началом движения системы коэффициент трения покоя переходит в коэффициент трения скольжения, который несколько меньше коэффициента трения покоя и определяется по формуле (2).

С ростом скорости скольжения и с изменением давления между контактами изменяется и величина коэффициента трения скольжения. Условно диапазон изменения этого коэффициента может быть принят как номинальный для определенных типов реле.

Определив разность между коэффициентами трения покоя и трения скольжения, получаем третью величину, характеризующую состояние поверхностей трения в подвижной системе. Диапазон изменения этой величины также может быть определен как номинальный.

Для оценки коэффициента трения скольжения предложен метод измерения тягового усилия с использованием механического резонанса подвижной системы реле.

Суть метода заключается в том, что система выводится из состояния равновесия (покоя) путем использования свойства механического резонанса подвижной системы реле. Это позволяет автоматическими средствами определить момент трогания и остановки якоря, а также соответствующие им ток и силу трения.

Если решать эту задачу традиционным способом – путем измерения напряжения на обмотке реле при трогании якоря, то необходимо наряду с силами трения покоя дополнительно определять момент инерции якоря. Последний можно определить экспериментальным путем, если расположить якорь на ножевой опоре так, чтобы он качался как физический маятник.

Частота колебаний такого маятника:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{mgl_{\text{ц}}}{J}}\,. \qquad (3)$$

Отсюда момент инерции якоря

$$J = \frac{mgl_{\text{ц}}}{4\pi^2 f^2}\,, \qquad (4)$$

где m – инертная масса якоря; $l_{\text{ц}}$ – расстояние от центра тяжести якоря до оси вращения; g – ускорение силы тяжести; f – число колебания якоря в секунду [10].

При решении задачи с использованием механического резонанса подвижной системы, путем раскачивания ее импульсами тока, моментом инерции якоря можно пренебречь, так как через каждые полпериода собственных колебаний знак момента изменяется на противоположный, при неизменном его модуле. В результате этого вся энергия, подаваемая в систему, будет расходоваться на преодоление сил трения первого рода (скольжения).

Определение частоты собственных колебаний реле из решения уравнений (1)–(4) затруднительно, ввиду того, что сложно найти истинные значения механических параметров (силы трения якоря, контактов, упругости контактных пружин и др.) тем более, что значения некоторых из них случайны, поэтому предложено решить эту задачу экспериментальным путем, используя осциллограммы вибрации якоря при отключении тока в обмотке реле (рис. 1).

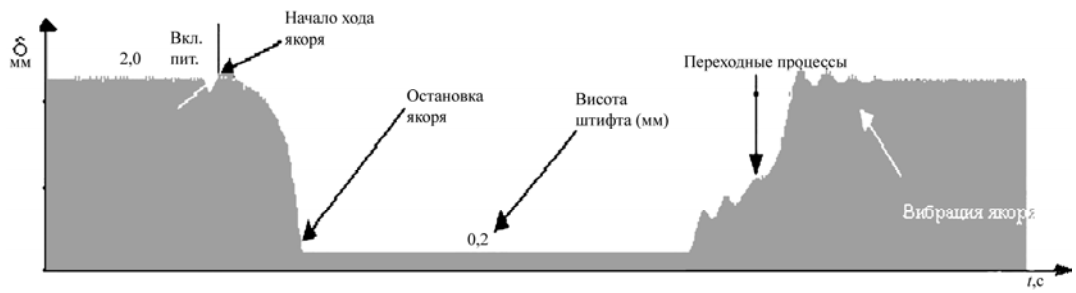


Рис. 1. Осциллограмма для определения собственных колебаний подвижной системы реле из вибрации якоря

Импульсы тока резонансной частоты подают в обесточенную обмотку реле, что выводит подвижную систему реле из состояния покоя. Затем, плавно уменьшая амплитуду импульсов, определяют значение тока в обмотке, при котором произойдет полное затухание механических колебаний в системе. За началом и окончанием колебаний якоря осуществляется слежение с помощью оптического канала опто-звуковой камеры [6].

При скважности импульсов тока равной двум, определяется среднее значение тока, при котором происходит полная остановка колебаний системы. Из полученных значений определяют разность токов.

Определяя разницу в значении силы тока, полученной рассмотренным методом и силы тока, полученной при традиционном измерении можно с достаточной степенью точности определить величину силы трения в подвижной системы реле.

Использование свойств механического резонанса подвижной системы реле позволяет измерить токи в обмотке реле, при которых подвижная система начинает перемещение и заканчивает его полной остановкой якоря реле.

Аналогичным методом могут быть получены силы трения в подвижной системе при отпадании якоря реле. По результатам измерений токов можно судить о величине сил трения подвижной системы в состоянии покоя и в состоянии движения (скольжения).

В общем виде сила притяжения (тяги) якоря электромагнита имеет вид:

$$F_T = \frac{(Iw)^2 G_м{}^2}{2\mu_0 S}, \qquad (5)$$

где I – ток в обмотке реле; $G_м$ – общая магнитная проводимость реле; S – площадь полюса сердечника; Iw – намагничивающая сила, создаваемая обмоткой реле.

К моменту начала движения сила тяги сравнивается с удельной силой сопротивления движению в подвижной системе

$$F_T = f_{тр},$$

причем в этом случае $f_{тр}$ выражает величину силы трения покоя $f_{тр\,П}$, в том числе и для тыловых контактных групп, которая, как видно из (5), определяется значением тока покоя $I_П$ в обмотке реле к моменту трогания.

К моменту остановки подвижной системы реле $f_{тр}$ выражает величину силы трения движения $f_{тр\,Д}$ с учетом состояния поверхностей тыловых контактных групп. Ток, при котором подвижная система останавливается $I_Д$, определяется с помощью предложенного метода и отличается от тока к моменту трогания (рис. 2).

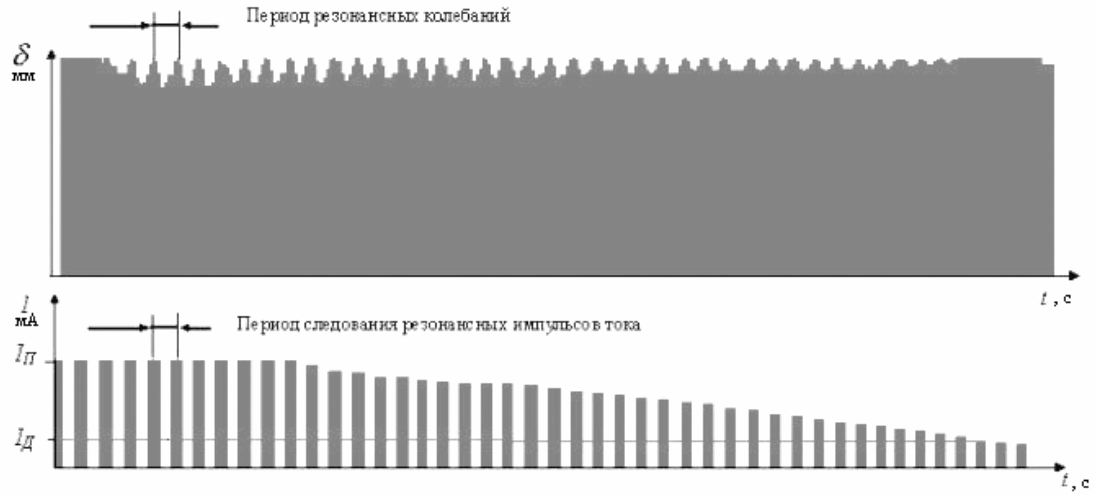


Рис. 2. Экспериментально полученные резонансные колебания якоря реле при подаче в обмотку уменьшающихся по амплитуде импульсов тока с частотой собственных колебаний подвижной системы

В этом случае, к моменту трогания и остановки реле получаем две силы сопротивления движению:

$$f_{тр\,П} = \frac{(I_П w)^2 G_м{}^2}{2\mu_0 S}, \qquad (6)$$

$$f_{тр\,Д} = \frac{(I_Д w)^2 G_м{}^2}{2\mu_0 S}. \qquad (7)$$

Для определения состояния поверхностей фронтовых контактных групп предложено увеличить амплитуду резонансных импульсов тока до величины, при которой произойдет соприкосновение подвижных и фронтовых контактов. При этом полного притяжения якоря не допускают. В этом случае, колебание подвижной системы происходит с учетом трения в фронтовых контактных группах (рис. 3).

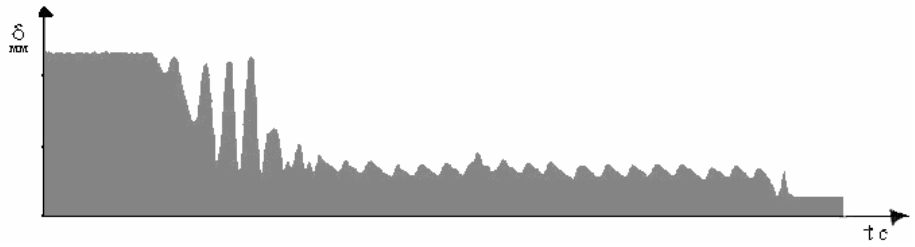


Рис. 3. Экспериментально полученные резонансные колебания якоря реле и фронтовых групп контактов при подаче в обмотку импульсов тока номинальной амплитуды и частоты собственных колебаний подвижной системы

Тогда сила тяги якоря в момент движения описывается известной формулой

$$F_T = -\frac{(Iw)^2 G_м{}^2}{2G_\delta^2} \cdot \frac{dG_\delta}{d\delta}, \qquad (8)$$

где $2G_\delta^2$ – общая магнитная проводимость физического зазора; δ – величина физического зазора [1].

При этом импульсный ток в обмотке может характеризовать номинальную величину $I_{нф}$, при которой резонансные колебания происходят с учетом трения в фронтовых контактных группах. Тогда амплитуда изменения физического зазора, при номинальном токе резонансных колебаний будет характеризовать $f_{тр}$, уже с учетом трения в фронтовых контактных группах $f_{тр.ф}$, которая будет получена из (8) путем подстановки значения $I_{нф}$.

Исследования показывают, что изменение сил трения в подвижной системе в диапазоне 14…20 г.с в большей степени связано с изменением качества поверхности контактных групп, чем с изменением трущихся поверхностей в других местах этой подвижной системы (рабочие тяги, ярмо, регулировочные пружины и т. д.).

Это изменение обусловлено более интенсивным износом контактов под воздействием механических, химических или электрических факторов. Образующиеся при этом абразивные частицы, окислы химической коррозии и электрическая эрозия ускоряют деформацию поверхностей скольжения контактов.

Кроме того исследования показывают, что изменение амплитуды и частоты собственных механических колебаний подвижной системы также связано с изменениями сил трения между сопряженными деталями. Эти изменения легко определяется из амплитуды, частоты и количества собственных колебаний системы (периодов вибрации) при отпадании якоря (см. рис. 1).

Таким образом, по изменениям сил трения в подвижной системе, происходящих в процессе эксплуатации, можно судить о качестве контактных поверхностей и об общем состоянии подвижной системе.

Совместно с другими методами функционального контроля механических параметров, определение сил сопротивления движению (трения) подвижной системы реле предложенным методом открывает возможности более глубокой диагностики релейных блоков и автономных реле без снятия защитного кожуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разгонов А. П. Стенд для автоматизированной проверки параметров реле // Автоматика, телемеханика и связь. – 1991. – № 2. – С. 25–28.
2. Разгонов А. П. Выбор допусков // Автоматика, телемеханика и связь. – 1988. – № 6. – С. 30–32.
3. Андреевских А. В. Оптимизация контроля механических параметров электромагнитных реле // Автоматика, информатика и связь. – 2003. – № 1. – С. 43–45.
4. Андреевских А. В. Согласование механической и тяговой характеристик нейтрального реле с произвольным контактным набором // Сб. научных трудов КИИТа. – 2003. – С. 60–63.
5. Деклар. пат. Украины № 70568. Пристрій для вимірювання переміщення якоря електромагнітного реле / Разгонов А. П., Андреевских А. В., Бондаренко Б. М. 2004.
6. Деклар. пат. на полезную модель № 7850 от 15.07.2005. Пристрій для вимірювання механічних параметрів електромагнітного реле. Разгонов А. П.
7. Деклар. пат. на полезную модель № 11888 от 16.01.2006. Спосіб визначення механічних параметрів електромагнітного реле / Разгонов А. П., Андреевских А. В., Бондаренко Б. М., Безрукавый Д. А.
8. Декларационный патент на полезную модель № 11179 від 15.12.2005. Спосіб діагностики роботи контактних груп багатоконтактного реле / Разгонов А. П., Андреевский А. В., Бондаренко Б. М., Безрукавый Д. А.
9. Разгонов А. П. Контроль механических параметров электромагнитных реле / А. П. Разгонов, А. В. Андреевский, Б. М. Бондаренко, Д. А. Безрукавый // Зб. наук. праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2005. – Вип. 4. – С. 41–48.
10. Витенберг М. И. Расчет электромагнитных реле. – Л.: Энергия, 1975.

Поступила в редколлегию 25.05.2006.

УДК 656.259.12

Т. Н. СЕРДЮК (ДИИТ)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГАРМОНИК ТЯГОВОГО ТОКА ПО ДЛИНЕ ФИДЕРНОЙ ЗОНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Розглянуто питання електромагнітної сумісності тягової мережі з рейковими колами. Розроблена математична модель для оцінки розподілу гармонік тягового струму по довжіні фідерної зони та визначення величини блукаючих струмів. Наведені результати моделювання для гармонік 50 і 100 Гц, які містяться в зворотному тяговому струмі.

Рассмотрены вопросы электромагнитной совместимости тяговой сети с рельсовыми цепями. Разработана математическая модель для оценки распределения гармоник тягового тока по длине фидерной зоны и определения величины блуждающих токов. Представлены результаты моделирования для гармоник 50 и 100 Гц, содержащихся в обратном тяговом токе.

The article considers issues of electromagnetic compatibility of traction network with the rail circuits. A mathematic model is elaborated for evaluation of distribution of harmonics of traction current on the length of feeder zone and determination of the value of stray currents. The results of modeling are represented for 50 and 100 Hz harmonics of return traction current.

Введение

Устройства, обеспечивающие безопасность движения поездов и соединенные с рельсами, подвергаются постоянному воздействию помех со стороны тягового электроснабжения. Таким образом, рельсовые цепи (РЦ) оказываются под непосредственным влиянием помех со стороны тягового тока. Гармонический состав тягового тока обычно известен или в результате теоретических, или экспериментальных исследований.

Для оценки воздействия помех на путевые приемники рельсовых цепей необходимо разработать математическую модель, описывающую динамические электромагнитные процессы, протекающие в тяговой сети.

Проанализируем существующие схемы замещения тягой сети. Самой распространенной теорией в этой области является построение математической модели на основе теории четырехполюсника, в котором одна длинная линия представляет собой контактную сеть, а вторая – рельсовую сеть [1; 2].

Такое представление тяговой сети позволяет определить напряжение в любой точке контактной сети в пределах фидерной зоны для любой гармоники при одностороннем или двустороннем питании, но не учитывает индуктивные и емкостные зависимости между контактной сетью, линиями продольного электроснабжения и рельсами для создания более полной картины электромагнитной обстановки на данном участке.

В работе [3] системы внешнего и тягового электроснабжения рассматриваются как многопроводные, а в линиях с распределенными параметрами учитываются индуктивные и емкостные связи. Но предложенный авторами метод многополюсника применим только для системы тягового электроснабжения 2×25 кВ, поскольку предполагает выделение участка, на котором происходит электропотребление, в отдельный многополюсник.

Таким образом, расчет ведется только для данного участка фидерной зоны. В системе тягового электроснабжения 3 кВ постоянного тока и 25 кВ переменного тока электропотребление происходит по длине всей фидерной зоны. К тому же предлагаемая авторами [3] методика позволяет вести расчет коэффициента асимметрии токов и напряжений в системе внешнего электроснабжения, которая возникает в результате неравномерной загрузки фаз, но не определяет степень воздействия системы внешнего и тягового электроснабжения на работу рельсовых цепей.

С целью учета влияния всех видов помех на работу рельсовых цепей и системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), необходимо разработать математическую модель системы тягового электроснабжения, которая позволила бы оценить распределение гармоник тягового тока по длине фидерной зоны и определить величину токов утечки при различных величинах сопротивления балласта и изоляции контактной сети.

Таким образом, целью работы является экспериментальное определение частотных характеристик путевых приемников рельсовых цепей, выявление опасных и мешающих помех с точки зрения нормального функционирования рельсовых цепей, создание математической модели, описывающей динамические процессы в тяговой и рельсовой сети, которая позволит учитывать влияние различных факторов на распределение напряжения и токов гармоник в рельсах.

Результаты эксперимента

В результате экспериментальных исследований были определены частотные характеристики путевых приемников кодовых рельсовых цепей 25, 50, 75 Гц и станционных рельсовых цепей 25 и 50 Гц.

На вход путевого приемника рельсовой цепи частотой 50 Гц с реле ИВМШ-110 и фильтром ЗБФ-1 подавались синусоидальные сигналы частотой 20…120 Гц от генератора звуковой частоты напряжением 24, 18,5, 15 и 10 В. Путевое реле становилось под ток при напряжении 2,6…2,8 В и частоте 35…37 Гц, практически не завися от напряжения питания приемника. Что касается напряжения обесточивания реле, то оно составляло порядка 2,4 В. Частота, при которой происходило отпадание якоря реле, сильно зависит от напряжения на входе приемника и может достигать 115 Гц. Следовательно, частоты 50, 75, 100 Гц, найденные в спектре обратного тягового тока, являются опасными для путевых приемников перегонных рельсовых цепей 50 Гц и могут привести к ложному срабатыванию реле [4].

Таким образом, путевое реле РЦ 50 Гц срабатывает при токе в рельсах 1,3…1,6 А частотой 50 Гц, отпускает якорь при токе в два раза меньшем тока срабатывания (примерно 0,6 А). Путевое реле срабатывает при токе в рельсах 3,8 А частотой 75 Гц и 5 А частотой 100 Гц.

Что же касается рельсовых цепей 75 Гц, то здесь наиболее опасными являются помехи с частотой 60…90 Гц, которые проходят через фильтр и расшифровываются дешифратором как полезный сигнал и могут вызвать нарушения в работе рельсовых цепей. Причиной возникновения помех с данной частотой могут быть напольные устройства СЦБ (блуждающие токи соседних блок-участков), несимметрия питающего напряжения тяговых подстанций, работа тяговых двигателей электровоза и их импульсных преобразователей и др.

Исследование аппаратуры релейного конца кодовой РЦ 25 Гц, защищенной фильтром ФП-25, показало, что реле надежно отпускает свой якорь при напряжении 2,2 В при частотах 31,5, 33, 36 Гц и напряжении на входе 10, 15 и 20 В соответственно. Таким образом, опасной в данном случае будет являться помеха с частотой 25 Гц. От остальных частот путевой приемник надежно защищен.

Также была снята зависимость напряжения срабатывания и отпускания реле ИМВШ-110 от частоты. Для этого сигнал разной частоты подавался на вход реле. В результате было получено, что при частоте 20…150 Гц напряжение срабатывания реле медленно увеличивалось 3…3,4 В. Напряжение отпускания якоря составило 2,4 В. Вообще, реле ИМВШ-110 срабатывает в достаточно широком диапазоне частот (до десятков килогерц). При этом напряжение срабатывания незначительно увеличивается с ростом частоты до 3,7 В, что связано с потерями в сердечнике.

При электротяге постоянного тока на кодируемых и стрелочных участках используются фазочувствительные рельсовые цепи с питанием и кодированием током частотой 50 Гц. На релейном конце таких рельсовых цепей применено путевое реле ДСШ-12. Параллельно путевой обмотке реле включен конденсатор С емкостью 4 мкФ, который уменьшает реактивную мощность цепи и улучшает фазовые соотношения. Для исследования частотных характеристик релейного конца таких рельсовых цепей воспользуемся схемой, представленной на рис. 1.

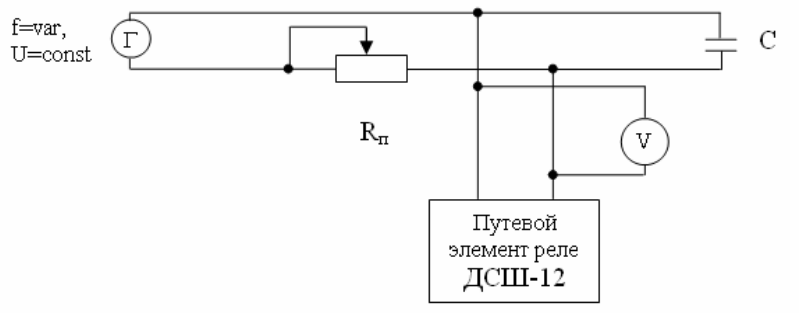


Рис. 1. Схема для исследования частотных характеристик
приемного конца рельсовых цепей с реле ДСШ-12

Подстрочное переменное сопротивление $R_{П}$ предназначено для создания необходимого уровня напряжения срабатывания реле. На путевой элемент подавалось напряжение 10, 25, 60 В. На местный элемент реле ДСШ подавалось напряжение 220 В частотой 50 Гц.

Исследования показали, что максимальный электромагнитный момент якорь-сектор реле ДСШ развивает при номинальном напряжении 10 В на его путевом элементе и частоте 50 ± 10 Гц. При частотах 10…40 Гц и 60…90 Гц электромагнитный момент резко снижается, поэтому помехи с данной частотой могут оказывать на реле только мешающее действие. С увеличением напряжения, подаваемого на путевой элемент реле ДСШ, электромагнитный момент якоря увеличивается прямо пропорционально, но область частот, в которой происходит срабатывание реле, остается той же.

На рис. 2 представлена зависимость относительного момента, развиваемого якорем реле ДСШ-12 при подаче на путевой элемент напряжения различного уровня (10, 25 и 60 В) от частоты. Относительный момент представляет собой отношение текущего значения электромагнитного момента к максимальному при напряжении на путевом элементе 10 В и частоте 50 Гц.

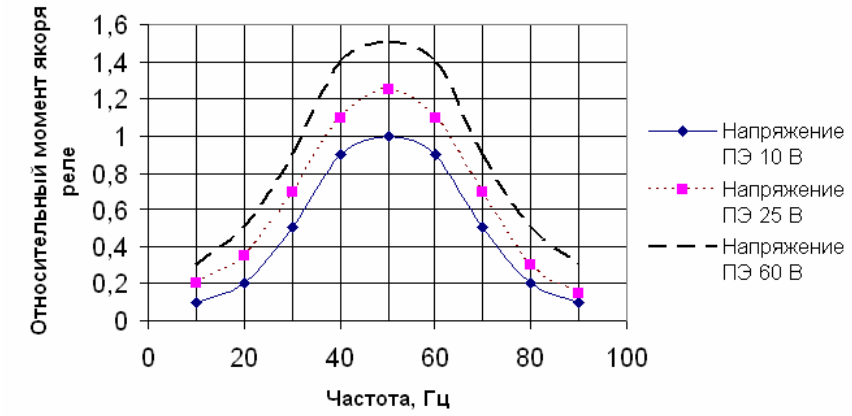


Рис. 2. Зависимость относительного момента якоря реле ДСШ-12 от напряжения и частоты на путевом элементе

Аналогичные исследования были проведены для релейного конца фазочувствительной РЦ 25 Гц с реле ДСШ-13. Реле ДСШ-13 надежно защищено от основной гармоники 50 Гц. Само реле ДСШ представляет собой электромеханический фильтр и его якорь-сектор будет надежно притягиваться лишь в области частот 25 ± 10 Гц при достижении помехами соответствующей величины по амплитуде и совпадении по фазе с сигнальным током. Такие помехи могут привести к опасному воздействию (ложному срабатыванию путевого реле). Также следует учитывать суммарное действие нескольких помех, поскольку при этом амплитуда мешающего напряжения увеличивается.

На рис. 3 приведена зависимость относительного момента от напряжения на путевом элементе (10, 20 и 50 В) и частоты. Под относительным моментом понимается отношение текущего момента к максимальному при частоте 25 Гц и номинальном напряжении на путевом элементе реле ДСШ 10 В.

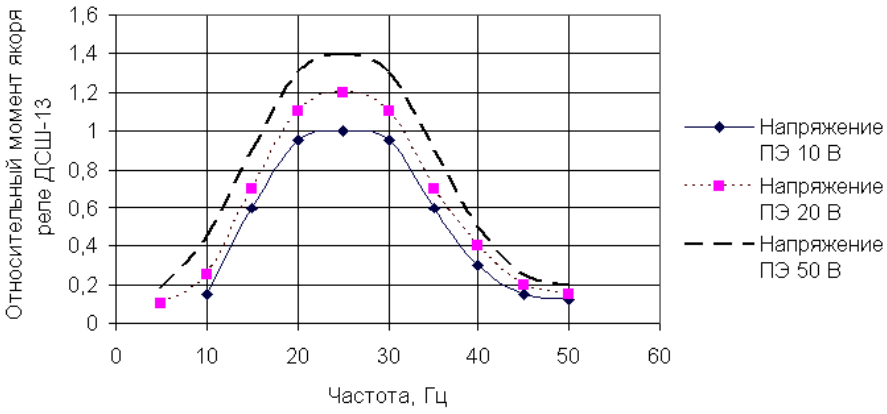


Рис. 3. Зависимость относительного момента якоря-сектора реле ДСШ-13 от напряжения на путевом элементе и частоты

Таким образом, для станционных фазочувствительных рельсовых цепей наиболее опасными являются помехи, совпадающие по частоте с сигнальной, т. е. 25 ± 10 Гц для РЦ с реле ДСШ-13 и 50 ± 10 Гц – с реле ДСШ-12. Станционные рельсовые цепи 25 Гц надежно защищены от основной гармоники 50 Гц защитным фильтром ЗБ-ДСШ.

Опасное действие на путевой приемник может быть оказано лишь в том случае, когда на входе путевого и местного элемента появятся помехи одинаковые по частоте и достаточные по амплитуде для срабатывания реле ДСШ. Но это возможно при подаче несинусоидального напряжения на местный элемент и появлении помехи соответствующей по частоте на путевом элементе от обратного тягового тока.

На некодируемых участках пути и стрелочных секциях применяют однониточные рельсовые цепи с путевыми реле типа ДСШ-12 или АНВШ-2. Реле АНВШ-2 включают по схеме однополупериодного выпрямления и защищают от гармоник тягового тока с помощью блока-фильтра РЗФШ-2. Блоки РЗФШ-2 защищают однониточные РЦ от гармоник тягового постоянного тока. Схема, предназначенная для исследования частотных характеристик аппаратуры приемного конца рельсовой цепи, представлена на рис. 4.

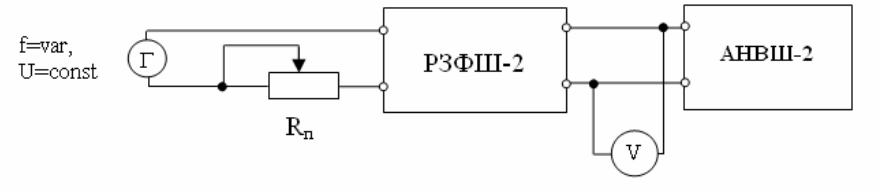


Рис. 4. Схема исследования частотной характеристики аппаратуры релейного конца однониточной станционной РЦ 50Гц с реле АНВШ-2

При включении реле АНВШ-2 по однополупериодной схеме цепь оказывает гармоникам обратного тягового тока большее затухание в области частот 100…600 Гц, чем при двухполупериодном выпрямлении. Однако мощность, потребляемая реле в этом случае, значительно больше. Сам защитный блок-фильтр РЗФШ-2 снижает гармоники обратного тягового тока, которые возникают при неисправности фильтров тяговых подстанций, и кратны 300, 600, 900 Гц или 600, 1200, 1800 Гц, но полностью не исключает их. При этом гармоники тягового тока 50, 75, 100, 150 Гц, которые возникают при неисправностях в схеме выпрямления на тяговых подстанциях или в результате работы тяговых двигателей, могут оказывать как опасное, так и мешающее действие на работу данного вида рельсовых цепей.

Результаты исследования зависимости напряжения путевого реле АВНШ-2 однониточной рельсовой цепи от частоты при включении защитного блока РЗФШ-2 представлены на рис. 5.



Рис. 5. Зависимость напряжения на входе путевого реле АНВШ-2 станционных однониточных рельсовых цепей частотой 50 Гц от частоты

Из рис. 5 видно, что наиболее опасными являются гармоники 25…100 Гц. Особенно нежелательны помехи, совпадающие по частоте с сигнальной, 50 Гц. Такие гармоники могут оказывать опасное и мешающее действие на работу станционных рельсовых цепей.

Также опасными окажутся ситуации при выходе из строя или обрыве цепи дросселя или конденсаторов. В таком случае реле оказывается под неблагоприятным воздействием достаточно широкого спектра частот и это приведет к его ложному срабатыванию.

Математическая модель

Для определения влияния гармоник тягового тока на работу рельсовых цепей использовалась схема замещения тяговой сети, в которой контактная сеть (к), включая контактный провод и несущий трос, представлена одним проводом, рельсовая сеть вторым проводом (р), а в качестве обратного провода использовалась земля (з) [5] (рис. 6).

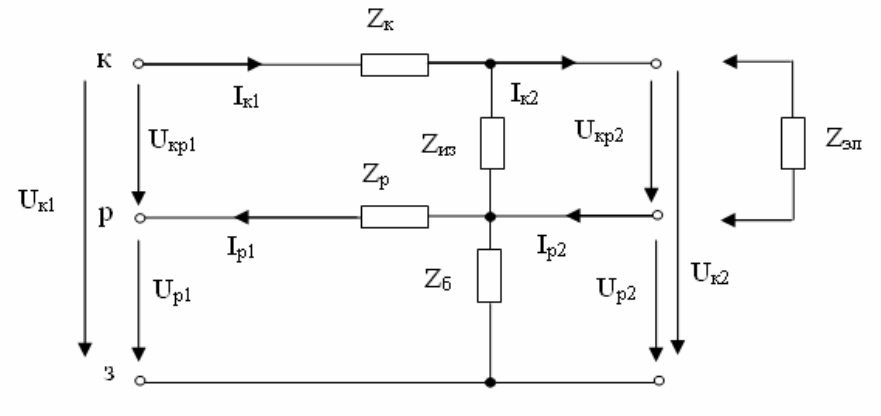


Рис. 6. Схема замещения тяговой сети:

$\dot{U}_{кр1}$, $\dot{U}_{кр2}$ – напряжение контактная сеть – рельсы; $\dot{U}_{р1}$, $\dot{U}_{р2}$ напряжение между рельсами и землей; $\dot{U}_{к1}$, $\dot{U}_{к2}$ – напряжение в контуре контактная сеть – земля; $\dot{I}_{к1}$, $\dot{I}_{к2}$ – ток в контактной сети; $\dot{I}_{р1}$, $\dot{I}_{р2}$ – ток в рельсовой сети (обратный тяговый ток) в начале и в конце линии соответственно; $Z_к$ – сопротивление контактной сети, с учетом сопротивления взаимоиндукции; $Z_р$ – сопротивление рельсовой сети с учетом сопротивления взаимоиндукции в контуре рельсовые нити – контактная сеть; $Z_{из}$ – сопротивление изоляции контактной сети, учитывающее заземление на рельсы различных железнодорожных конструкций; $Z_б$ – сопротивление балласта, оказываемое току утечки от рельсовых нитей через шпалы, балласт и земляное полотно

Таким образом, с помощью предложенной математической модели могут быть определены распределения напряжения и токов вдоль рельсовой и контактной сети для всех гармоник при различных значениях сопротивления изоляции. Данной моделью удобно пользоваться, когда источником гармоник в обратном тяговом токе являются выпрямители, сглаживающие фильтры тяговых подстанций постоянного тока или электродвигатели постоянного тока электровозов.

Результаты моделирования

Для упрощения расчетов [5; 6] принимаем (Ом)

$$R_{эл} = 0{,}5\,, \quad X_{эл} = 2\pi f \cdot 20\,.$$

Также для выполнения расчетов принимаем следующие значения сопротивлений рельсов:

- для рельсовой цепи с рельсами Р65 (Ом/км)

$$Z_р = 0{,}11 + j2\pi f\, 8{,}021 \cdot 10^{-4}\,;$$

- для балласта (Ом·км)

$$Z_б = 100\,;$$

- для изоляции опор (Ом·км)

$$Z_{из} = 100 \quad \text{и} \quad Z_{из} = 1000\,;$$

- для контактной подвески типа ПБСМ95+ +МФ-100 (Ом/км)

$$Z_к = 0{,}159 + j2\pi f\, 9{,}772 \cdot 10^{-4}\,.$$

Значение тока гармоники частотой 50 Гц принимаем 10 А, а частотой 100 Гц – 10 А [8]. Для расчета берем только гармоники 50 и 100 Гц, поскольку именно эти помехи могут оказать опасное действие и привести к ложному срабатыванию путевого приемника рельсовых цепей. Также при моделировании будем полагать, что тяговая сеть однородная, сопротивление балласта по длине всей фидерной зоны одинаковое, питание участка одностороннее и на нем находится один поезд.

Падение напряжения в цепи электровоза определялось по формуле

$$\dot{U}_{кр2} = \dot{I}_{к2} Z_{эл}\,. \qquad (1)$$

Ток в контактной сети в начале линии

$$\dot{I}_{к1}(x) = \dot{I}_{к2} + \frac{\dot{U}_{кр2}}{Z_{из}(x)}\,. \qquad (2)$$

Ток утечки через изоляцию опор представляет собой линейную зависимость и описывается выражением

$$\dot{I}_{уиз}(x) = \frac{\dot{U}_{к2}}{Z_{из}(x)}\,. \qquad (3)$$

Обратный тяговый ток в рельсах в районе тяговой подстанции определяется выражением

$$\dot{I}_{p1}(x) = \dot{I}_{к2} + \dot{I}_{уиз}(x) - \dot{I}_{у}. \quad (4)$$

Потенциал рельсов возле электровоза

$$\dot{U}_{p2}(x) = \dot{I}_{у} \cdot Z_{б}(x). \quad (5)$$

Потенциал рельсов возле тяговой подстанции

$$\dot{U}_{p1}(x) = -\dot{I}_{p1}(x) \cdot Z_{р}(x) + \dot{U}_{p2}(x). \quad (6)$$

Для участка линии длиной 10 км распределение гармоники тока частотой 50 и 100 Гц в контактной сети в начале вдоль фидерной зоны имеет вид (рис. 7). Чем дальше электровоз находиться от тяговой подстанции, тем больший ток он потребляет. Это связано с увеличением потерь электрической энергии в контактной сети. С увеличением расстояния полное сопротивление тяговой сети увеличивается и, таким образом, от подстанции будет потребляться больший ток. С увеличением частоты наблюдается увеличение тока в контактной сети.

Зависимость величины тока утечки частотой 50 и 100 Гц через изоляцию опор контактной сети показана на рис. 8 для различных сопротивлений балласта. С увеличением расстояния между электровозом и тяговой подстанцией суммарный ток утечки через изоляцию опор контактной сети будет больше. С увеличением частоты величина тока утечки возрастает.

На рис. 9, 10 показано изменение потенциала рельсов в начале и в конце фидерной зоны в зависимости от расстояния между электровозом и тяговой подстанцией, которая находиться на 0 км. Нелинейность характеристики (рис. 9) определяется удельным сопротивлением балласта, которое с увеличением расстояния уменьшается. О зависимости потенциала рельса в начале линии (возле тяговой подстанции) можно сказать следующее. В первой четверти длины питающей зоны наблюдается снижение потенциала рельсов, поскольку падение напряжения в рельсовой линии незначительно ввиду малости сопротивления рельсов. Далее по мере удаления от тяговой подстанции на втором участке фидерной зоны потенциал рельсов изменяется менее интенсивно и имеет практически линейных характер.

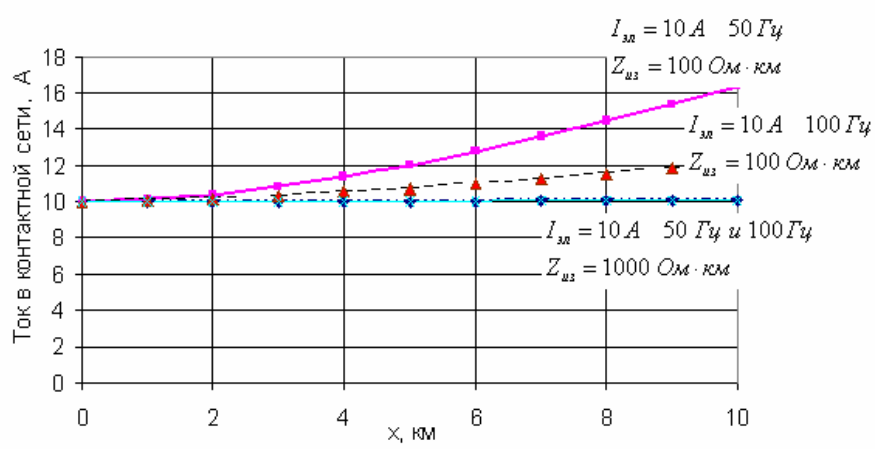


Рис. 7. Распределение тока контактной сети по длине фидерной зоны

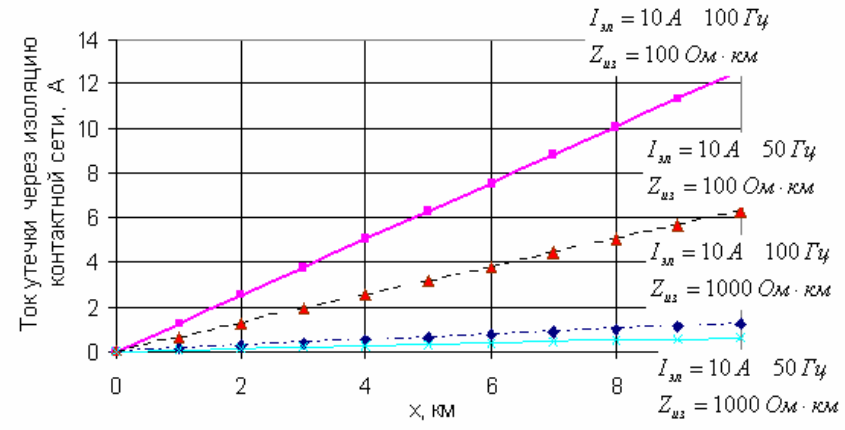


Рис. 8. Распределение тока утечки через изоляцию опор контактной сети

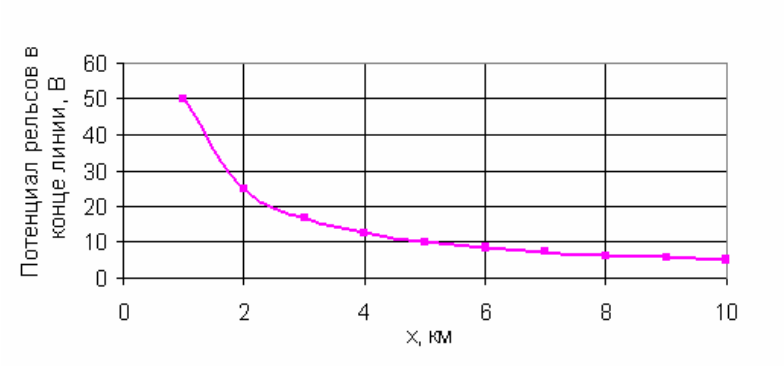


Рис. 9. Потенциал рельса в конце линии для тока величиной 10 А

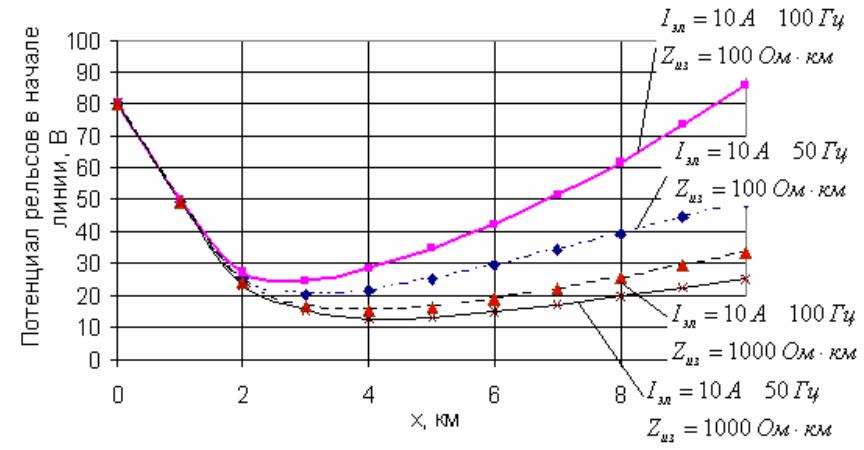


Рис. 10. Потенциал рельса в начале линии

Таким образом, определение распределения этих гармоник по длине участка показало, что с увеличением расстояния между электровозом и тяговой подстанцией суммарный ток утечки через изоляцию опор контактной сети будет увеличиваться. С увеличением частоты гармоники величина тока утечки возрастает. С удалением от источника электропитания и с увеличением частоты величина обратного тягового тока возрастает. Потенциал рельса в точке отсоса обратного тягового тока при удалении поезда на расстояние равное четверти длины фидерной зоны будет уменьшаться ввиду малости сопротивления рельсовой сети.

При дальнейшем следовании поезда по участку потенциал рельсов изменяется менее интенсивно и имеет практически линейных характер, слегка увеличиваясь. Таким образом, в наихудших условиях оказываются рельсовые цепи, находящиеся в районе тяговой подстанции.

Выводы

Выполнено исследование частотных характеристик релейных концов перегонных и станционных рельсовых цепей, которые используются на участках с электротягой постоянного и переменного тока. Выявлены наиболее опасные помехи частотой 50, 75 и 100 Гц для путевого реле перегонной рельсовой цепи 50 Гц, которые могут привести к его ложному срабатыванию.

Предложена математическая модель, которая позволяет оценивать распределение гармоник тягового тока по длине фидерной зоны. Определено, что в наихудших условиях оказываются рельсовые цепи, расположенные в районе тяговых подстанций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ермоленко Д. В. Улучшение электромагнитного воздействия тиристорного подвижного состава и системы тягового электроснабжения / Д. В. Ермоленко, В. И. Павлов // Вестник ВНИИЖТ. – 1989. – № 8. – С. 25 – 30.
2. Минин Г. А. Метод расчета помехонесущего воздействия преобразователей тяговых подстанций метрополитена на устройства автоматического регулирования скорости поезда / Г. А. Минин, В. М. Бабаева, М. П. Бадер. // Вопросы электроснабжения электрических железных дорог. – М.: МИИТ. – 1978. – С. 137–145.
3. Конча А. Асимметрия в трехфазных линиях, питающих тяговые сети 25 кВ, 50 Гц / А. Конча, П. Шмидт // Железные дороги мира. – 2000. – № 8. – С. 41–43.

4. Сердюк Т. Н. Электромагнитная совместимость системы тягового электроснабжения с рельсовыми цепями / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Залізничний транспорт України. – 2005. – № 3/2. – С. 176–181.
5. Сердюк Т. Н. Экспериментальное исследование помех в рельсовых цепях / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – 2005. – Вип. 9. – С. 15–18.
6. Пиотровский Л. М. Электрические машины. – М.: Госэнергиздат, – 1963.
7. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины / Захарченко Д. Д., Ротанов Н. А. – М.: Транспорт, – 1991.
8. Котельников А. В. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств / А. В. Котельников, А. В. Наумов, Л. П. Слободянюк. – М.: Транспорт, – 1990.

Поступила в редколлегию 25.05.2006.

УДК 629.423.02–192

М. О. БАБ’ЯК, О. А. ТЕТЕРКО (ДІІТ)

ВИДИ ВІДМОВ ТА ЗНОС РОЗРИВНИХ КОНТАКТІВ КОНТАКТОРІВ З ДУГОГАШЕННЯМ ГОЛОВНОГО КОНТРОЛЕРА ЕКГ-8Ж

Розглянуто види відмов, які виникають в процесі експлуатації, та особливості зношування контактів контакторів з дугогашенням головного контролера ЕКГ-8Ж електровозів змінного струму. Наведено деякі результати натурних випробувань контактів з напайками із різних матеріалів.

Рассмотрены виды отказов, которые возникают в процессе эксплуатации, и особенности изнашивания контактов контакторов с дугогашением главного контроллера ЭКГ-8Ж электровозов переменного тока. Приведены некоторые результаты натурных испытаний контактов с напайками из разных материалов.

The kinds of failures which arise while in service, and features of wear process of contacts of the main controller EMK-8G of a.c. electric locomotives are considered in the work. Some results of natural tests of contacts with brazing from different materials are provided.

У процесі експлуатації електровозів змінного струму виникає безліч несправностей, які негативно впливають на роботу рухомого складу та на безпеку руху поїздів, потребують значних фінансових та трудових затрат для їх усунення. Статистика позапланових ремонтів обладнання електровозів змінного струму показує, що одним з найуразливіших є електричне устаткування.

При цьому, якщо розглянути розподіл несправностей електрообладнання, то можна зробити висновок, що в силовій схемі електровозів змінного струму найбільш вразливими є силові контактори з дугогашенням головного контролера ЕКГ-8Ж.

Основним показником, за яким характеризують контактори є термін експлуатації контакт-деталей (напайок) за критерієм швидкості їх зносу. Однією з причин бракування контактних губок є зменшення товщини напайки в робочій зоні. Решту контактних губок вибраковують через (рис. 1):

– оплавлення контактної поверхні – 10 %;
– порушення профілю робочої поверхні – 25 %;
– утворення раковин на поверхні контакту – 15 %;
– відпадання напайок – 20 %.

Розглядаючи загальні причини виходу з ладу контакт-деталей, можна виділити три групи: підгоряння (близько 18 %), стирання (близько 78 %), злом губки (близько 4 %).

Причому підгоряння силових контактів викликається неякісним контактом губок (30 %) та різного виду недоліками в режимі включення-виключення контакторів (до 70 %).

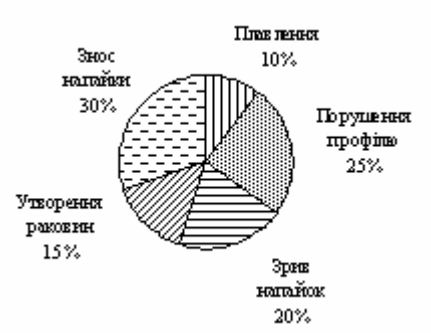


Рис. 1. Причини бракування контактів

Якість контакту залежить від кріплення контактних напайок до контактотримача (47 %); площі прилягання, що залежить, в свою чергу, від якості обробки та зачистки контактів (48 % пошкоджень); неправильного розташування рухомих контактів відносно нерухомих (3,5 %), вираженого в малій зоні протікання робочих струмів та несправності притискаючої пружини (1,5 %), від якої залежить величина контактного натиску (рис. 2).

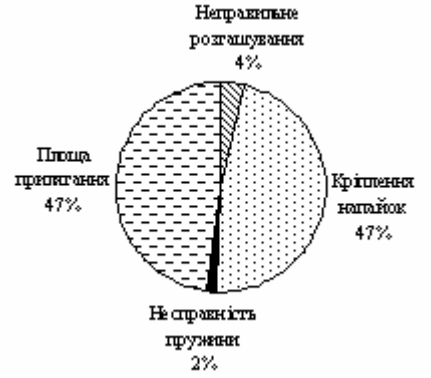


Рис. 2. Причини поганого контакту

Існує два основних види експлуатаційного зносу комутуючих контактів: механічний і електричний. Визначальним для контакторів, які досліджуються є знос від дії електричної дуги, тобто електрична дугова ерозія. Розрізняють місткову і дугову ерозії. Перша є характерною для слабкострумових (до ~20А) контактів. Дугова ерозія є визначальною у разі зносу сильнострумових контактів, над якими і проводяться дослідження. В апаратах високої напруги, якими є контактори електровозів змінного струму з дугогашенням ЕКГ-8Ж, в процесі зносу контактів беруть участь три види електричної дуги, що виникає під час: вмиканні, розмиканні і вібрації контактів.

Найбільш достовірним способом визначення зносостійкості контактів є натурні випробування, попередні результати яких наведено нижче.

У ході проведення випробувань обладнано два електровози серії ВЛ-80^{Т} (№ 714, 718) експериментальними напайками на розривні контакти контакторів з дугогашенням головного контролера ЕКГ-8Ж. Вибрані електровози відносяться до приписного парку локомотивного депо «Львів–Захід» Львівської залізниці.

Для вибору найбільш прийнятного матеріалу напайок порівнюється експлуатаційний знос матеріалів українських та російських виробників:

– матеріал КМК-Б25, що виготовлений двома способами, (виробництва ПП «Власов», м. Запоріжжя);

– композиційний матеріал (псевдосплав) МДК, виробництва АТ «Геконт», м. Вінниця;

– матеріал КМК-Б25, виробництва «Электроконтакт», м. Кінешма, Росія (постачальник ТОВ «СоюзІнвест», м. Луганськ);

– матеріал МВ-70 виробництва «Інтер-Контакт-Пріор», м. Київ;

– композиційний матеріал Диском С16104, (виробництва ТОВ ІНТЦ «Диском», м. Чебоксари, Росія).

Структура та деякі властивості цих матеріалів наведено в [1].

Випробування показали, що композиційний матеріал виробництва ТОВ ІНТЦ «Диском» непридатний для використання як напайки на розривні контакти контакторів з дугогашенням ЕКГ-8. Контакти з напайками цього матеріалу інтенсивно зношуються в порівнянні з іншими матеріалами. Близько половини контактів були придатні для експлуатації (мали достатню товщину напайки) лише впродовж 20…25 тис. км пробігу електровозів. Знос напайок супроводжувався дуже сильним розбризкуванням металу, через неправильне розташування рухомих контактів відносно нерухомих, виникали великі виступи на поверхнях напайок. Все це робило неможливим подальшу експлуатацію контактів з напайками цього матеріалу.

Режими, в яких працювали електровози, також мали суттєвий вплив на роботу контактів. Менш інтенсивно зношувались контакти, які знаходились в експлуатації на електровозах, що працювали штовхачами на гірках, оскільки величини та тривалості протікання робочих струмів під час такої роботи менші, ніж під час роботи на перегонах.

На рис. 3, *а* зображено контакт з напайкою із матеріалу (виробництва ТОВ ІНТЦ «Диском») після 19 тис. км пробігу електровоза. Товщина напайки в робочій зоні становила 2,4…2,8 мм. Для порівняння на рис. 3, *б* наведено контакт з напайкою із матеріалу виробництва «Электроконтакт», м. Кінешма, Росія (постачальник ТОВ «СоюзІнвест», м. Луганськ) після 18,5 тис. км пробігу. Товщина напайки 6,8…7,1 мм.

а



б



Рис. 3. Контакти з напайками із різних матеріалів після 19 тис. км пробігу

Як показують дослідження, інтенсивність зносу різна для різних контактів виготовлених з однакового матеріалу і носить випадковий характер. Тому подальша обробка кривих зносу відбувалась статистичними методами.

На рис. 4, 5 наведено експериментально одержані залежності математичного очікування b та середньоквадратичного відхилення σ_b товщини контактів від пробігу електровоза для різних матеріалів: *1* – МДК; *2* – «Диском»; *3* – ПП «Власов» з просочуванням; *4* – «Інтер-Контакт Пріор»; *5* – ПП «Власов» без просочування; *6* – «Союз Інвест».

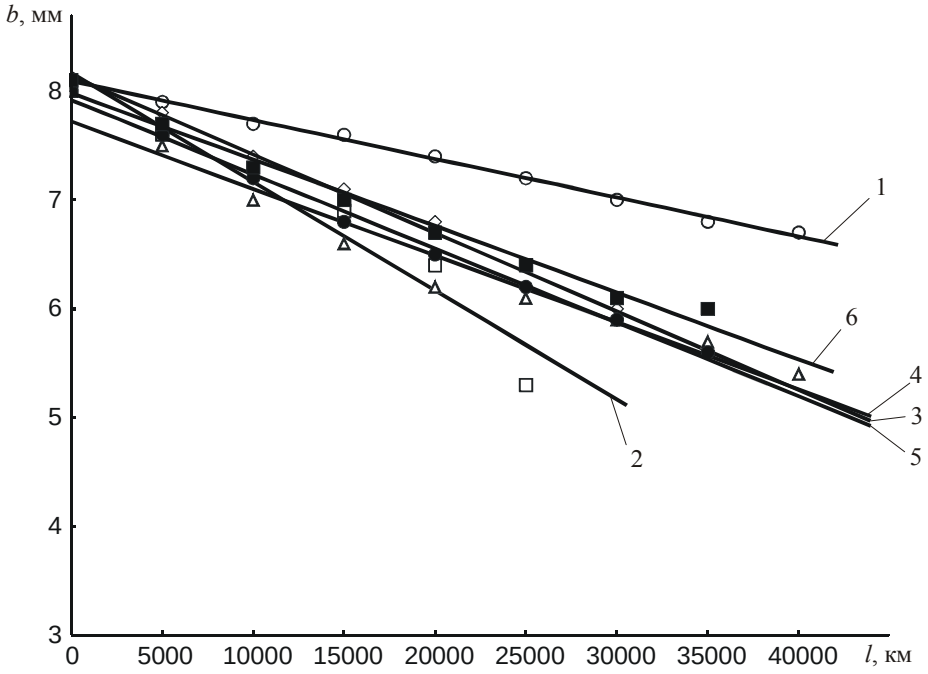


Рис. 4. Залежність математичного очікування товщини напайки від пробігу електровоза для різних матеріалів контактів

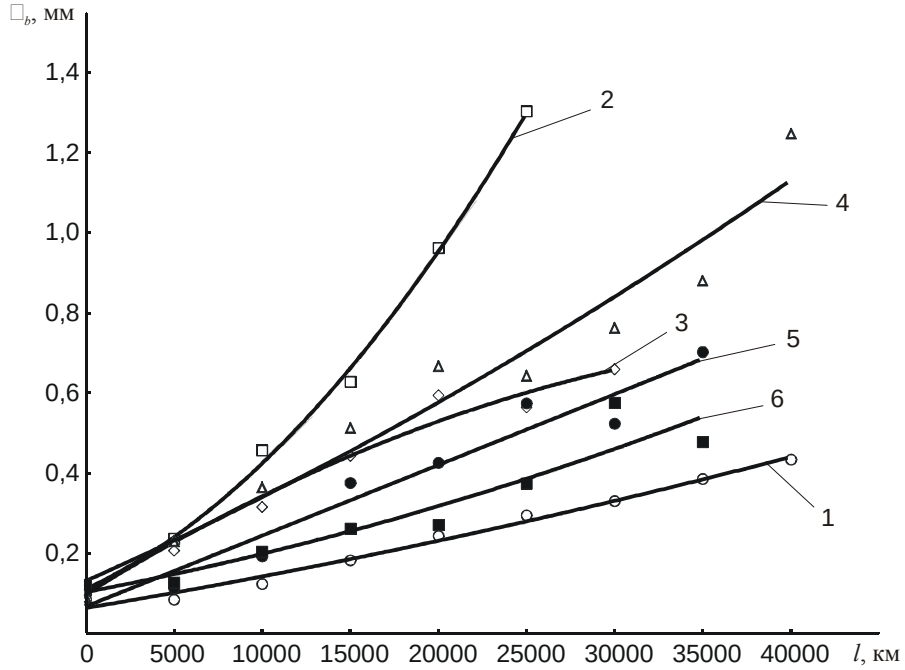


Рис. 5. Залежність середньоквадратичного відхилення зносу напайки від пробігу електровоза для різних матеріалів контактів

Залежності середнього значення товщини контактів b від пробігу ℓ для всіх матеріалів становлять лінійну регресію (див. рис. 4) з різними коефіцієнтами – інтенсивностями зносу (в мм/10^4 км):

Залежності середньоквадратичного відхилення σ_b товщини контактів від пробігу ℓ являють собою нелінійні залежності (див. рис. 5) і апроксимовані поліномами (нумерація відповідно рисунку). Ці залежності наведено в таблиці.

Таблиця

Типи матеріалів контактів	Математичне очікування, мм/10^4 км	Середнє квадратичне відхилення
МДК	$b(l) = 8,269 - 0,178 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,028 + 0,034 \cdot l + 0,001 \cdot l^2$
Диском	$b(l) = 8,667 - 0,5 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,035 + 0,049 \cdot l + 0,027 \cdot l^2$
Власов з прос.	$b(l) = 8,5 - 0,361 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,046 + 0,151 \cdot l - 0,007 \cdot l^2$
ІКП	$b(l) = 8,031 - 0,308 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,036 + 0,091 \cdot l + 0,003 \cdot l^2$
Власов без прос.	$b(l) = 8,257 - 0,34 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,021 + 0,088 \cdot l + 7,145 \cdot 10^{-6} \cdot l^2$
Союз Інвест	$b(l) = 8,289 - 0,306 \cdot l$	$\sigma_b(l) = 0,064 + 0,036 \cdot l + 0,003 \cdot l^2$

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що найбільш інтенсивно зношується і найменш стабільно поводить себе в експлуатації композиційний матеріал Диском, виробництва ТзОВ ІНТЦ «Диском», м. Чебоксари. А найбільшою зносостійкістю і стабільністю володіє псевдосплав МДК виробництва АТ «Геконт», м. Вінниця.

Але слід зауважити, що це лише попередні результати досліджень і в ході подальшого їх проведення картина може дещо змінитись.

БИБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Баб'як М. О. Дослідження структури та деяких властивостей контактних матеріалів контакторів електровозів змінного струму / М. О. Баб'як, О. А. Тетерко, Р. В. Мінакова // Електротехніка і електромеханіка. – 2005. – С. 93–96.

Надійшла до редколегії 25.06.2006.

УДК 621.315:621.314:621.382

Г. Г. БАСОВ, Н. И. ФАЛАЛЕЕВ (ОАО ХК «Луганскстепловоз»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ СИЛОВОЙ ЦЕПИ

Розглядаються різні засоби підвищення ефективності електропередачі рухомого складу та засоби підвищення ефективності потужності у разі застосування вентильних перетворювачів зі змінною структурою силового ланцюга. Запропоновані засоби проектування електропередач зі змінною структурою силових ланцюгів.

Рассматриваются различные способы повышения эффективности электропередачи подвижного состава и способы повышения эффективности мощности при использовании вентильных преобразователей с переменной структурой силовой цепи. Предложены способы проектирования электропередач с переменной структурой силовых цепей.

Different ways of increasing efficiency of electric transmission in the rolling stock and methods of improving the power efficiency in the use of valve transformers with the variable structure of power circuit are examined in the article. The methods of designing electric transmissions with variable structure of power circuits have been offered.

Совершенствование элементной базы силовой электроники открывает широкие возможности в части реализации вентильных электроприводов для электропередачи железнодорожного подвижного состава. С учетом этого в современных электроприводах существенно снижается количество релейно-контакторной аппаратуры, появляются более совершенные схемы рекуперативного торможения (4q-s преобразователи).

Непрерывное увеличение единиц подвижного состава приводит к увеличению установленной мощности вентильных преобразователей различных типов на железнодорожном транспорте, оказывает существенное влияние на питающую сеть. Последнее усугубляется более широким использованием полностью управляемых приборов: запираемых тиристоров (GTO, IGCT), транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и связанных с ними более жесткими процессами коммутации.

С другой стороны, новая элементная база позволяет осуществить новые подходы к проектированию электропередачи подвижного состава с целью повышения ее эффективности и снижению влияния ее на питающую сеть.

Ниже рассмотрены некоторые возможности повышения эффективности электропередачи с двигателями постоянного и переменного тока для дизель-поездов (тепловозов) и электропоездов (электровозов).

Основное отличие этих машин состоит в разных системах питания.

Первые – для обеспечения электроэнергией системы электропередачи используют дизель-генераторные установки трехфазного тока с двумя обмотками, сдвинутыми по фазе для организации 12-фазной схемы выпрямления.

Вторые – получают питание от однофазной сети переменного тока либо от сети постоянного тока.

Рассмотрим особенности выбора схемы выпрямителя для сериесного тягового двигателя дизель-поезда (тепловоза). Известно, что 12-пульсная схема выпрямительной установки образуется параллельным либо последовательным соединением мостов. В силу известных свойств электромеханической характеристики сериесного двигателя и тягового усилия локомотивов, обеспечение начальных тяговых усилий достигается при 2…2,5-кратных токах двигателей, а установившееся движение при номинальном токе. Такое соотношение токов и напряжений приводит к увеличению установленной мощности как выпрямительной установки, так и тягового генератора, примерно, вдвое.

Для снижения установленной мощности оборудования фирма General Motors для модернизации тепловоза EDMGM серия 66 использовала схему с переключением мостов с параллельного соединения на последовательное при помощи специально разработанных быстродействующих контакторов (5 кА, 1 мс) [1].

В ОАО НИИ «Преобразователь» для дуговых печей постоянного тока используются ана-

логичные решения, но с бесконтактным переключением мостов (рисунок) [2].

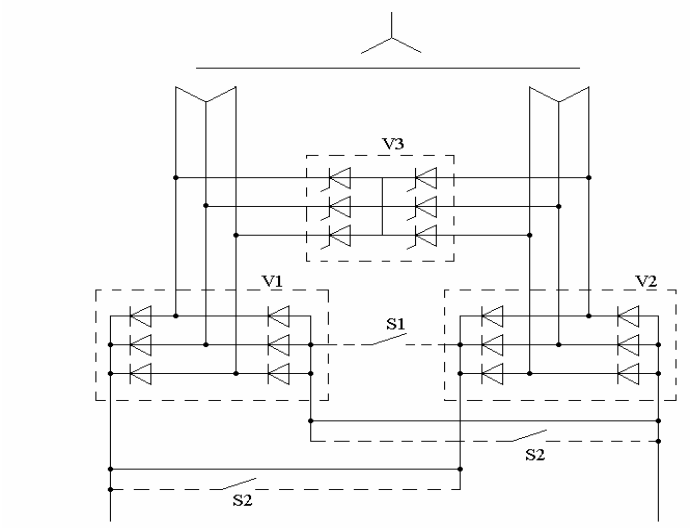


Рис. Схема выпрямителя
с бесконтактным переключеним мостов

Нетрудно показать, что при использовании таких решений, установленная мощность генератора (трансформатора) уменьшается вдвое.

Ток основной выпрямительной установки определяется из соотношения

$$I_{\text{вх}} = \frac{I}{2\left(U^x - \Delta U^x\right)},$$

где

$$U^x = \frac{U}{U_{\text{н}}}; \quad \Delta U^x = \frac{R_d I_{\text{я}}}{U_{\text{н}}};$$

U, $U_{\text{н}}$, $I_{\text{я}}$ – соответственно напряжение при параллельном соединении, номинальное напряжение, ток и активное сопротивление якоря.

Количество приборов выпрямительной установки для трехфазной мостовой схемы возрастает с бесконтактным переключением в 1,5 раза, при снижении токовой нагрузки в 0,55…0,65 раза в зависимости от $\Delta U^x = 0,05\ldots0,1$. Габаритная мощность выпрямительной установки в целом уменьшается в 0,825…0,975 раза, т. е. практически равна установленной мощности модернизируемой установки.

Использование такого решения для электропоездов (электровозов) позволяет снизить установленную мощность питающего трансформатора вдвое, уменьшить количество контакторной аппаратуры, повысить эффективность реостатного торможения.

При использовании двигателей переменного тока с автономными инверторами (АИН) использование таких схем в силу того, что при широтно-импульсном управлении АИН работает как трансформатор тока с коэффициентом, равным коэффициенту модуляции, снижение установленной мощности не происходит.

Однако появляется возможность существенно снизить потери мощности в АИН на коммутацию в 4 раза и при половинном напряжении получить тяговую выходную мощность равную номинальной, что позволяет получить вдвое большее тяговое усилие при половинной скорости. Это позволяет повысить скорость движения при больших подъемах и увеличить динамику при разгоне, повысить эффективность реостатного торможения.

Подход к проектированию электропередач с переменной структурой силовых цепей оказывается выгодным для большого многообразия вентильных схем как в приводах постоянного, так и переменного тока, является очень эффективным средством и может быть распространен и на системы с 4q-s преобразователями при обосновании технико-экономической целесообразности.

Такой подход может быть применен и к приводам с питанием от сети постоянного тока как с импульсными преобразователями, так и с инверторными приводами [3]. Общим свойством электропередач с переменной структурой силовой цепи является существенное улучшение совместимости с питающей сетью (источником), снижая практически вдвое амплитуды высших гармонических тока и напряжения.

Изложенные подходы позволяют существенно повысить эффективность использования электрооборудования передачи, снизить его массу, повысить КПД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Модернизация тепловоза EDMGM серия 66 // Железные дороги мира, – 2004, – № 8.
2. Андриенко П. Д. Перспективные направления в развитии источников питания для электротехнологии / П. Д. Андриенко, С. А. Саньков, В. Г. Машьянов, Г. В. Ковалев // Електротехніка та електроенергетика. – 2000. – № 2. – С. 47–60.
3. Синолицкий А. Р. Тяговый электропривод переменного тока с асинхронными двигателями и IGBT – преобразователями для различных электровозов // Вестник НТУ «ХПИ» – 2005. – Вып. 45 – С. 309–312.

Поступила в редколлегию 20.06.2006.

УДК 629.423.31:621.3.025

В. Н. БЕЗРУЧЕНКО, О. И. ГИЛЕВИЧ, А. Н. МУХА, А. В. ШАПОВАЛОВ (ДИИТ)

О ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С КОЛЛЕКТОРНЫМИ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Розглянуто питання введення нового режиму роботи тягових колекторних електродвигунів і застосування статичних перетворювачів з метою підвищення енергетичних показників електровозів змінного струму.

Рассмотрены вопросы введения нового режима работы тяговых коллекторных электродвигателей и применения статических преобразователей с целью повышения энергетических показателей электровозов переменного тока.

The article considers issues of introducing new modes of traction collector electric motors operation and application of static converters with the purpose of improving the power performances of a.c. electric locomotives.

Программой развития железнодорожного транспорта [1; 2] предусматривается пополнение парка электровозов переменного тока для грузовых и пассажирских перевозок. Взамен электровозов ВЛ80Т, ВЛ80С, поставляемых Россией, и электровозов ЧС4, ЧС8, поставляемых заводами «Шкода», предполагается поставка электровозов, производимых предприятиями Украины. Это должно обеспечить независимость железных дорог Украины от зарубежных поставок, снижение цены локомотивов, создание рабочих мест на предприятиях Украины.

По решению Укрзализныци в настоящее время силами Львовского и Запорожского электровозоремонтных заводов осуществляется изготовление четырехосных пассажирских электровозов ВЛ40У путем модернизации электровозов ВЛ80Т по проекту ОАО «ВЭлНИИ» (Россия) [3]. Холдинговой компанией «Луганськтепловоз» предлагается изготовление украинского восьмиосного электровоза переменного тока напряжения 25кВ, частотой 50 Гц. За основу этого предложения принят электропривод электровоза ВЛ85, построенный на тиристорных выпрямительно-инверторных установках и коллекторных тяговых двигателях постоянного тока с четырехзонным импульсно-фазовым регулированием напряжения.

Поскольку новым электровозам предстоит находится в эксплуатации 30 лет, их конструкция должна соответствовать перспективным направлениям развития тягового электроподвижного состава (ЭПС) на этот период.

Современные тенденции развития ЭПС связаны с внедрением асинхронного электропривода (АТЭП). Однако, как показывает опыт зарубежного и отечественного электровозостроения, электровозы с асинхронными тяговыми двигателями (АТД) имеют очень высокую стоимость, причем основную ее часть составляют автономные трехфазные инверторы напряжения (АТИН) и система управления асинхронного электропривода.

Например, на электровозе ДС3 стоимость трехфазных инверторов составляет 15 % от стоимости всего электровоза. Кроме того, поскольку АТД наиболее эффективен при высоких значениях частоты вращения, создание АТЭП сопряжено с решением значительного объема проблем создания и эксплуатации высокоскоростной тяговой передачи.

Система управления АТЭП требует сложного оборудования и методик для ее настройки при эксплуатационном ремонте, что усиливает зависимость локомотивного хозяйства от поставщиков электронного преобразовательного оборудования.

Перечисленные факторы позволяют сделать вывод, что АТЭП целесообразно применять для высокоскоростного пассажирского ЭПС.

ЭПС для грузового и пригородного пассажирского движения, со скоростями до 120 км/час целесообразно выполнять на основе коллекторных тяговых электродвигателях (КТЭД) с двухсторонней тяговой передачей, которая обеспечивает более благоприятные квазистатические режимы по сравнению с односторонней при реализации больших тяговых усилий на ободе колеса.

В связи с повышением стоимости электроэнергии важнейшее значение приобретают энергетические характеристики ТЭП.

Тяговый привод электровоза ВЛ85 имеет весьма низкое (до 0,8) значение коэффициента

мощности, что обусловлено применением тиристорного межзонного импульсно-фазового регулирования напряжения.

Снижение уровня потребления реактивной мощности достигается применением входных четырехквадрантных преобразователей, обеспечивающих работу ТЭП с коэффициентом мощности близким к единице. Такой преобразователь для электровозов переменного тока позволяет обеспечить также переход ТЭП из режима тяги в режим рекуперации с инвертированием напряжения постоянного тока КТЭД и возврат энергии в контактную сеть.

Регулирование напряжения на КТЭД может осуществляться полупроводниковым ключом с широтно-импульсным регулированием (ШИР) при высокой (до 450 Гц) частоте. Схема такого ТЭП представлена на рисунке.

Входной преобразователь для электровозов постоянного тока напряжением 3 кВ может быть выполнен на тех же элементах, что и для электровозов переменного тока. При этом упрощается построение электровоза двойного питания.

Система управления и регулирования ТЭП с КТЭД постоянного тока значительно проще, чем для АТД, менее критична и разница диаметров колесных пар электропривода. ТЭП с КТЭД постоянного тока обладает большей динамической устойчивостью при различных возмущающих воздействиях, особенно по моменту сопротивления на осях колесных пар и по проскальзыванию колес, что особенно важно для грузовых электровозов, движущихся по путям, как правило, невысокой балльности.

Возможность отделения ТЭД от контактной сети с помощью ШИР на электровозах постоянного тока напряжением 3 кВ позволяет строить их ТЭП с независимым возбуждением ТЭД и индивидуальным регулированием возбуждения на каждой оси.

Наличие преобразователя между контактной сетью и тяговым двигателем при наличии автоматического регулирования напряжения на промежуточном звене постоянного тока обеспечивает более мягкие, по динамике напряжения в контактной сети, условия работы КТЭД, что повысит его коммутационную устойчивость. Кроме того, это позволяет иметь постоянное параллельное соединение ТЭД, что повышает реализуемый коэффициент сцепления.

Наряду с этим современные тенденции совершенствования конструкции, технологии изготовления, качества применяемых материалов создают предпосылки к повышению качества и увеличению долговечности КТЭД.

Повышение мощности ТЭД одну ось определяется при заданной скорости значением реализуемой по условиям сцепления колеса с рельсом касательной силы тяги на ободе колеса. Исследованиями ДИИТа [4] установлено, что при скорости движения до 120 км/час необходима мощность ТЭД 1000 кВт. При фактическом распределении весовых норм поездов и при реализуемых значениях коэффициента сцепления необходимая, на одну ось, мощность ТЭД должна быть 800-900 кВт, что реализуется на базе КТЭД. При этом целесообразна организация движения на базе кратной тяги четырехосными электровозами. Номинальную мощность ТЭД целесообразно выбирать с учетом их перегрузочной способности.

При оценке необходимой номинальной мощности тягового двигателя целесообразно учесть особенности эксплуатации локомотивов на железных дорогах Украины, которые требуют введения еще одного номинального режима тягового двигателя – режима S2 продолжительностью 30 минут. Как показывают расчеты, например, для тягового двигателя НБ514 это должно позволить при сохранении номинального значения тока $I_{\text{ном}} = 843$ А в режиме 30 минут уменьшить сечение проводников обмотки якоря и в конечном итоге, сократить длину якоря и массу тягового электродвигателя. Оценим возможности, которые дает введение режима S2 продолжительностью 30 минут.

В ТЭД НБ514 в якоре применена изоляция класса *F*, а его конечный перегрев составляет $\tau_{\text{кн}} = 135$ °С.

Как известно [5], коэффициент термической перегрузки двигателя есть отношение суммы потерь в кратковременном режиме к сумме потерь в длительном номинальном режиме.

При модернизации двигателя ставится задача сохранить индукцию в зубцах якоря, т. е. оставить неизменными потери в стали. В этих условиях коэффициент термической перегрузки получает вид

$$K_{\text{терм}} = \left(\frac{I_{\text{кр}}}{I_{\text{ном}}} \right)^2 \frac{q}{q'},$$

где $I_{\text{кр}}$ и $I_{\text{ном}}$ – соответственно кратковременный и номинальный (длительный) токи, q и q' – соответственно существующее и предлагаемое сечение проводника обмотки якоря.

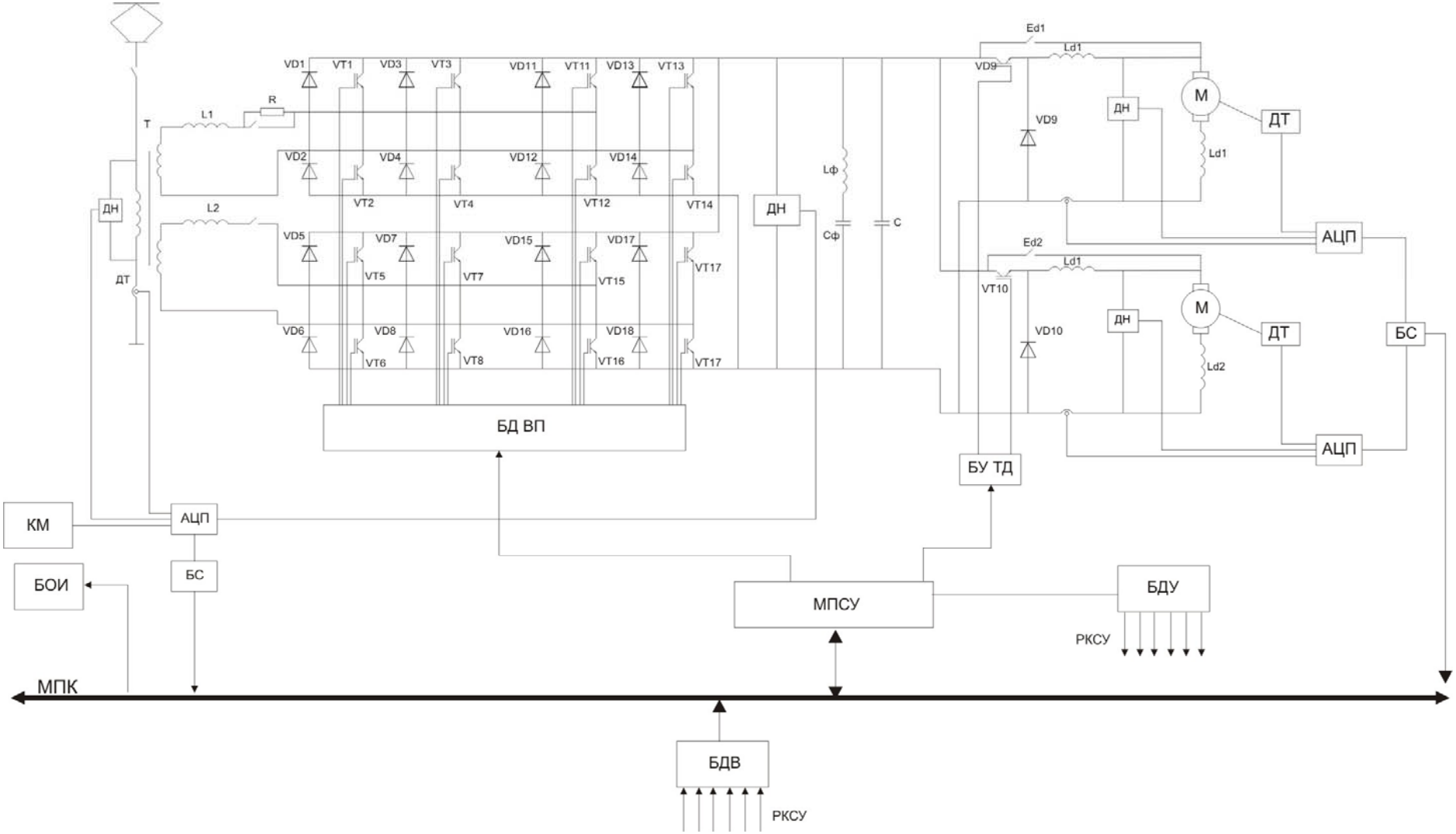


Рис. Структурная схема микропроцессорной системы автоматического регулирования:
КМ – контроллер машиниста; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МПК – мультипликсированный последовательный канал; БС – блок сопряжения;
БОИ – блок отображения информации; БДВП – блок драйверов широтно-импульсного регулятора; МПСУ – микропроцессорная система управления;
БДВ – блок дискретного ввода; БДУ – блок дискретных усилителей; БУ ТД – блок управления тяговыми двигателями; ДН и ДТ – датчики напряжения и тока

При сохранении номинального значения тока, ширина лежащего плашмя в пазу проводника якоря 7,1 мм заменяется на 5 мм. Расчеты, выполненные согласно [6], показывают, что конечный перегрев составит:

$$\tau'_{\text{кн}} = \tau_{\text{кн}} \cdot K_{\text{терм}} = 135 \cdot \frac{7,1}{5,0} \approx 192 \ ^\circ\text{C}.$$

Принимаем начальный перегрев $\tau_0 = 100$ °С, получим в 30-минутном режиме перегрев $\tau_{30} = 138^\circ\text{C}$, что позволяет сохранить изоляцию класса F.

Сокращение ширины паза и расширение зубца позволит, как показывают расчеты, уменьшить длину пакета якоря 385…330 мм, а масса двигателя уменьшиться на 385 кг. Мощность длительного режима при этом уменьшится на 17 %.

Дальнейший анализ позволил установить, что при такой модернизации двигателя его нынешний часовой режим может быть преобразован в 30-минутный. Двигатель НБ514 с новым сечением проводников якоря может быть нагружен током часового режима $I_{\text{час}} = 905$ А в течение 30 минут при перегреве не более $\tau_{30} \le 150$ °С, что, естественно, предполагает применение в якоре изоляции класса H.

Модернизация электровозов должна реализовываться с одновременным внедрением интегральных микропроцессорных систем управления и диагностирования на ЭПС. Структурная САР тягового электропривода представлена на рисунке.

Оснащение электровозов микропроцессорными системами управления с автоматическим регулированием параметров обеспечит экономное вождение поездов в широком диапазоне весовых норм.

Произведем предварительный расчет режимов работы и выбор элементной базы входного статического преобразователя и регулировочного ключевого элемента КТЭД.

Поскольку частота работы регулировочного ключа КТЭД сравнительно невелика (до 450 Гц) в качестве ключа возможно применение IGCT либо IGBT элементов. Как исходные принимаем следующие параметры: $I_{\text{ключ}} = 905$ А, $U_{\text{обр. ключ}} = 1\,500$ В.

Одиночные ключи с требуемыми параметрами выпускает фирма ABB (Интернет сайт www.abb.com). Принимая перегрузочную способность по току и напряжению не менее 50 %, в качестве ключа можно предложить применение IGBT транзистора типа 5SNA 1500E330100 фирмы ABB с током стока 1 500 А, напряжением затвор-исток 3300 В, в одиночном исполнении.

В качестве элементной базы представленного на рисунке четырехквадрантного преобразователя целесообразным является применение готовых модулей IGBT транзисторов со встроенными обратными диодами.

Действующее напряжение на вторичной обмотке тягового трансформатора Т (см. рисунок) составляет [7]

$$U_2 = \frac{1500}{1,3 \cdot \sqrt{2}} = 815 \ \text{В}.$$

Принимая КПД 4QS преобразователя равным 0,97, получим действующий ток вторичной обмотки

$$I_2 = \frac{P_{\text{КТЭД}}}{\eta_{4QS} \cdot U_2} = \frac{1000 \cdot 10^3}{0,97 \cdot 815} = 1265 \ \text{А}.$$

Средний ток транзистора и диода одного плеча четырехквадрантного преобразователя

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{2} \cdot I_2}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot 1265}{\pi} = 570 \ \text{А}.$$

Мощность преобразователя при $\cos\varphi = 0,95$ составит

$$P_{4QS} = U_2 \cdot I_{\text{ср}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_{4QS} = 428 \ \text{кВт}.$$

Обратное напряжение на одном ключе составляет

$$U_{\text{обр}} = U_2 \cdot \sqrt{2} = 815 \cdot \sqrt{2} = 1150 \ \text{В}.$$

Емкость фильтрового конденсатора при коэффициенте пульсаций выпрямленного тока $k_{\text{п}} = 1,25$ и допустимой пульсации напряжения на конденсаторе $\Delta U_{\text{с(max)}} = 5$ % равна

$$C = \frac{k_{\text{п}} \cdot I_{\text{ключ}}}{628 \cdot \Delta U_{\text{с(max)}}} = \frac{1,25 \cdot 905}{628 \cdot 0,05 \cdot 1500} = 0,024 \ \text{Ф}.$$

Модули для однофазного четырехквадрантного преобразователя с требуемыми параметрами выпускает фирма Semikron (Интернет сайт www. semikron.com).

Принимая перегрузочную способность по току и напряжению приблизительно 50 %, в качестве ключа можно предложить применение IGBT транзистора типа SKM 800GA176D фирмы Semikron с током стока 830 А, напряжением затвор-исток 1 700 В, в одиночном исполнении с обратным диодом.

С точки зрения энергетических показателей, в частности, коэффициента мощности, применение статических преобразователей на полностью управляемых вентилях с широтно-

импульсной модуляцией, позволяет применить в составе тягового привода так называемые активные фильтры [7].

Активные фильтры представляют собой источники напряжения или тока с управляемым искажением, которые вырабатывают в противофазе разность мгновенного значения кривой напряжения (тока) сети и ее первой гармоники.

Применение активных фильтров теоретически может позволить получить $\cos\varphi$ близкий к единице.

Выводы

1. Тяговый двигатель электровоза переменного тока может допустить работу в 30-минутном режиме с реализацией мощности, традиционно определяемой часовой с одновременным существенным сокращением массы.
2. Для регулирования мощности электровозов переменного тока с коллекторными ТЭД целесообразно применение четырехквадрантного преобразователя напряжения с ШИР напряжения.
3. Для обеспечения выпуска отечественного электровоза переменного тока с высокими энергетическими показателями, требуется освоение выпуска предприятиями Украины современных преобразователей на полностью управляемых силовых полупроводниковых ключах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Воскрешают локомотивы // Весь транспорт, – 2004, – № 5, 6. – С. 14–17.
2. Мукминова Т. А. Прогрес залізничного транспорту визначається характеристиками тягового рухомого складу // Залізничний транспорт України, – 2004, – № 5, – С. 31–34.
3. Орлов Ю. А. Пассажирский четырехосный электровоз для железных дорог Украины / Ю. А. Орлов, В. П. Янов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля., – 2003, – № 8(78). – С. 137–142.
4. Гетьман Г. К. Определение рационального мощностного ряда грузовых электровозов для железных дорог Украины // Залізничний транспорт України, – 2002, – № 6, – С. 29–34.
5. Чиликин М. Г. Основы автоматизированного электропривода / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М.: Энергия, 1974. –567 с.
6. Безрученко В. М. Тягові електричні машини електрорухомого складу / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак. – Д.: Вид-во Дніпр. нац. ун-ту.зал. тр-ту, 2003. – 252 с.
7. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники. – Новосибирск. Из-во НГТУ, 1999, Ч. 1. – 199 с., 2000, Ч. 2. – 197 с.

Поступила в редколлегию 14.06.2006.

УДК 621.332.3:625.1:629.423

С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, О. А. КЛИНКОВА (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Розглянуто вплив недоліків тягової системи електропостачання змінного струму на втрати електричної енергії в тяговій мережі, а також недосконалість системи обліку електричної енергії.

Рассмотрено влияние недостатков тяговой системы электроснабжения переменного тока на потери электрической энергии в тяговой сети, а также несовершенство системы учета электрической энергии.

The article is devoted to the impact of the drawbacks of the existing a.c. power supply system on the energy losses in catenary, and to the imperfections of electric energy accounting system.

В связи с обострением проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов из-за постоянного роста цен на них, особую значимость приобретают вопросы энергосбережения и эффективного использования электроэнергии. В частности, на железнодорожном транспорте одной из основных является проблема снижения потерь электрической энергии в системе тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог, являющихся крупнейшими в отрасли потребителями электроэнергии.

Известно, что расчетные значения потерь электрической энергии на участках тяговой сети переменного тока составляют 3…5 % [1].

Формирование показателя «потери электроэнергии» начинается с учета расхода электроэнергии на тягу поездов, поступившей в сеть (по счетчикам тяговых подстанций на первичной стороне тягового трансформатора подстанции) и отпущенной потребителям (по счетчикам электроподвижного состава). При этом определяются фактические значения потерь электроэнергии, величина которых зависит от достоверности учета расхода электроэнергии.

Так, например, в работе [1] приведены данные учета по расходу электроэнергии на тягу поездов по итогам работы за 1999 г. по сети железных дорог России. В соответствии с этими отчетными данными, диапазон изменения относительного небаланса приема электроэнергии на тягу поездов по счетчикам тяговых подстанций и потребления по счетчикам электроподвижного состава составил 2,1…27,9 %.

Разница между фактическими и расчетными значениями потерь электрической энергии обуславливается неудовлетворительным техническим и организационным состоянием систем учета электрической энергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе.

Таким образом, определение фактических потерь электроэнергии, даже если расчеты и измерения выполнены точно, недостаточно для разработки и организации мероприятий по снижению потерь электрической энергии в тяговой сети. Необходимо знать структуру этих потерь и выделять факторы, вызывающие потери электроэнергии в тяговой сети, а также выделять участки сети, где эти потери превышают расчетное значение.

Электрифицированная железная дорога переменного тока является несимметричным нелинейным потребителем с неравномерной нагрузкой. Она представляет собой протяженный приемник электрической энергии, и питание ее тяговых подстанций не может быть осуществлено от одной точки присоединения к системе внешнего электроснабжения.

Тяговые подстанции получают питание от различных узлов одной или нескольких энергосистем. Напряжения в точках присоединения тяговых подстанций к энергосистемам оказываются различными по модулю и фазе, что вызывает протекание потоков мощности в системе тягового электроснабжения между смежными подстанциями даже при отсутствии тяговой нагрузки. Связь систем внешнего и тягового электроснабжения по транзиту мощности принято оценивать уравнительным током в тяговой сети [2].

Транзит мощности в тяговой сети вызывает дополнительные потери электроэнергии при передаче мощности к электроподвижному составу. Потери от уравнительного тока в тяговой сети определяются по формуле [3], кВт·ч

$$\Delta W_{\text{ур}} = I_{\text{ур}}^2 \cdot R_{11} \cdot L \cdot T_{\text{ур}} \cdot 10^{-3},$$

где L – длина межподстанционной зоны, км; $T_{\text{ур}}$ – время протекания уравнительного тока по тяговой сети, ч; R_{11} – активное сопротивление 1 км тяговой сети однопутного участка переменного тока, Ом/км.

Потери электрической энергии в тяговой сети, вызванные уравнительными токами, в значительной степени зависят от схемы питания и секционирования межподстанционной зоны, а также определяются характером тяговой нагрузки, параметрами элементов и режимами работы систем внешнего и тягового электроснабжения, величиной уравнительных токов при схемах двухстороннего питания межподстанционной зоны.

В условиях эксплуатации эти факторы изменяются, и поэтому важно уметь оперативно оценивать потери электрической энергии в тяговой сети для различных схем питания межподстанционной зоны и выбирать схему питания по минимуму потерь энергии.

Уравнительные токи вызывают дополнительные потери электроэнергии в контактной сети независимо от того, имеются поезда на межподстанционной зоне или нет. При отсутствии нагрузки на зоне могут протекать уравнительные токи, обуславливая потери энергии в контактной сети, которые фиксируются счетчиками подстанций, но не измеряются счетчиками электровозов. Следовательно, чем больше времени на зоне отсутствуют поезда, тем больше будет разница в показаниях счетчиков энергии подстанций и электровозов. Для оценки этой разницы кроме значения уравнительного тока необходимо знать размеры движения поездов.

Недостатки режима работы системы тягового электроснабжения электрифицированных железных дорог переменного тока усиливаются несовершенной системой учета электрической энергии на тяговых подстанциях и электроподвижном составе.

Существенным недостатком в учете электроэнергии на тягу поездов на тяговых подстанциях является отсутствие учета электроэнергии на фидерах контактной сети, что мешает исследовать баланс принятой и распределенной электрической энергии [1]. Отсутствие контроля баланса принятой и распределенной электроэнергии на тягу поездов происходит по следующим причинам:

– отсутствие приборов учета на фидерах контактной сети не позволяет контролировать распределение электроэнергии по плечам питания;

– не определяются зоны с повышенным расходом электроэнергии на тягу поездов с целью выработки совместных решений службами *Э* и *Т* по снижению удельного расхода электроэнергии на тягу поездов в этих межподстанционных зонах.

Учет электроэнергии на электроподвижном составе переменного тока в настоящее время осуществляется счетчиками электроэнергии, расходуемой на тягу поездов и возвращаемой при рекуперативном торможении. Они дают возможность определять удельные расходы электроэнергии на перевозку грузов в эксплуатации. Их использование позволяет сравнить энергетические параметры электровозов, выявить преимущества электровозов с тиристорными преобразователями, оборудованных устройствами рекуперативного торможения, и определить, насколько экономично ведение поезда локомотивной бригадой.

Поскольку, денежных расчетов в настоящее время по показаниям счетчиков электровозов не производят, поэтому и сегодня учет электроэнергии на электроподвижном составе производится индукционными и электронными счетчиками электрической энергии с невысоким классом точности измерения энергии.

Условия эксплуатации характеризуются несимметрией напряжения и несинусоидальностью токов. Наблюдается недоучет электроэнергии при возврате электрической энергии (в режиме рекуперации) из контактной сети в систему внешнего электроснабжения.

Ввиду отсутствия на электровозах измерительных трансформаторов напряжения, цепи напряжения всех счетчиков получают питание от обмотки собственных нужд на вторичной стороне тягового трансформатора электровоза, а токовые цепи – от первичной обмотки тягового трансформатора электровоза. Однако пропорциональной зависимости между изменениями напряжения в контактной сети и напряжения на обмотке собственных нужд трансформатора нет. Поэтому для оценки удельного расхода энергии на тягу поездов для разных электровозов переменного тока приходится принимать усредненные коэффициенты трансформации.

Например, при угле коммутации 40…45° выпрямителя электровоза, вызванном большой токовой нагрузкой двигателей, и из-за потери напряжения в реактансе рассеивания вторичных обмоток тягового трансформатора снижение напряжения на обмотке собственных нужд отличается от снижения напряжения на токоприемнике электровоза на 10…20 % по модулю

и на 3…4° по фазе [4]. В результате погрешность учета электроэнергии на электроподвижном составе составляет не менее 10 %. Эти погрешности учета электроэнергии влекут за собой появление определенной доли условных потерь в системе тягового электроснабжения.

Таким образом, на сегодняшний день существует необходимость разработки комплексной системы научных, технических и организационных мероприятий в виде автоматизированной системы учета и контроля электроэнергии (АСКУЭ), с учетом выше указанных факторов. Это позволит выявить зоны с повышенными потерями электрической энергии, разработать мероприятия по их снижению, уменьшить общий расход энергии в системе тягового электроснабжения и повысить технико-экономические показатели системы тягового электроснабжения.

Для полной картины расхода электрической энергии по всем элементам системы тягового электроснабжения необходим учет расхода электроэнергии по фидерам контактной сети и на электроподвижном составе.

Внедрение АСКУЭ в системе тягового электроснабжения помимо непрерывного контроля и учета электроэнергии позволит оценить состояние устройств электроснабжения, вести текущий контроль потерь электроэнергии и показателей качества получаемой электроэнергии, а также выявить нерациональный расход электроэнергии.

Создание и внедрение такой системы на электроподвижном составе позволит:

– контролировать достоверность учета электрической энергии по счетчикам электроподвижного состава и получения информации после обработки маршрутных листов машинистов;

– обеспечивать техническое и организационное совершенствование учета электроэнергии на электроподвижном составе;

– нормировать величину электрической энергии на отопление пассажирских вагонов;

– контролировать расход электрической энергии электровозами с соседних дорог.

Основными задачами по внедрению АСКУЭ на электроподвижном составе являются:

– разработка технических решений по ее реализации и на ее базе организация текущего контроля электропотребления электровозами на тягу поездов;

– соответствие правовому обеспечению технических средств АСКУЭ, которое станет возможным с применением измерительного трансформатора напряжения на стороне 25 кВ тягового трансформатора электровоза и современных приборов учета электроэнергии;

– осуществление при помощи технических средств привязки энергопотребления электроподвижного состава к обслуживаемой зоне (в силу того, что электровоз является подвижной единицей и перемещается по участку железной дороги).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черемисин В. Т. Основные направления работ по снижению «условных» потерь электрической энергии на тягу поездов // Железнодорожный транспорт ЦНИИТЭИ МПС, Серия: Электроснабжение железных дорог, – 2000. – Вып. 4. – С. 2–19.
2. Марквард К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982. – 528 с.
3. Черемисин В. Т. Система мероприятий по снижению потерь электрической энергии в тяговой сети от уравнительных токов / В. Т. Черемисин, В. А. Кващук // Железнодорожный транспорт ЦНИИТЭИ МПС, – 2000. – Вып. 3. – С. 9–21.
4. Молин Н. И. Потенциал энергосбережения в системе тягового электроснабжения переменного тока железных дорог // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием: В 2 т. Т. 1 / Отв. ред. В. П. Суров. – Красноярск: Гротеск, 2005. – С. 39–46.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.

УДК 621.332.31:625.1

С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, В. Г. СКОРИК (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Наведено один зі способів зниження коефіцієнта спотворення синусоїдальности напруги під час роботи електровозів перемінного струму

Представлен один из способов снижения коэффициента искажения синусоидальности напряжения при работе электровозов переменного тока

The article dials with one of the methods of voltage nonsinusoidality ratio distortion reduction in a.c. electric networks during electric locomotives operation.

Проблема обеспечения качества электроэнергии на железнодорожном транспорте, в частности, по параметру коэффициента несинусоидальности кривой напряжения на сегодняшний день является весьма актуальной. Известно, что в контактной сети участка железной дороги переменного тока, вследствие распределенной вдоль этого участка емкости и индуктивности контактной подвески при коммутации выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) электровозов, происходит переходной процесс. Это явление вызывает искажение изначальной синусоидальной формы напряжения. При этом по мере удаления электровозов от шин тяговых подстанций колебания, возникающие по причине коммутации токов вентилей, увеличиваются.

Одним из показателей, оценивающих качество электроэнергии в электрических сетях, является коэффициент искажения синусоидальности напряжения. Этот показатель определяется по формуле

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}{}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100,$$

где $U_{(1)}$ – действующее значение фазного напряжения основной частоты, в вольтах; $U_{(n)}$ – действующее значение фазного напряжения n-ой гармоники ($n = 2 \ldots 40$), в вольтах. Таким образом, данный коэффициент описывает процент содержания высших гармоник напряжения по отношению к величине основной гармоники.

Основной причиной повышения коэффициента искажения синусоидальности напряжения является окончание процесса коммутации ВИП электровозов. В этот момент, вследствие перехода работы схемы из режима коммутации в режим проводимости, изменяется схема протекания токов.

На электровозах однофазно-переменного тока, оснащенных тиристорными преобразователями, управление ими производится по типовому способу, который основан на поочередном включении двух однофазных плеч, вступающих в очередной цикл работы при смене полярности напряжения сети. Поочередность заключается в задержке включения одного плеча относительно другого в зависимости от длительности коммутации большого контура. При этом минимальный нерегулируемый угол открытия тиристоров α_0 электровоза, работающего в режиме тяги, составляет 9º. В реальных условиях, когда при двухстороннем питании на межподстанционной зоне находятся 4 электровоза в номинальном режиме, напряжение на токоприемниках электровозов, находящихся в середине зоны, уменьшается от действия других. Потенциальные условия для надежного открытия тиристоров в этом случае подчас бывают, недостаточны, поэтому автоматикой начальный угол открытия сдвигается в сторону увеличения и составляет 14…16º, что также является причиной увеличения искажения формы напряжения в контактной сети.

После окончания коммутации в большом, а затем и малом контуре преобразователя, работающего по типовому алгоритму управления, в цепь последовательно с контурами, образованными участками схем замещения контактной сети, включаются активное и индуктивное сопротивления частей обмоток тягового трансформатора, участвующих в образовании зоны, а также сопротивление цепи выпрямленного тока.

В результате этого в системе контактная сеть – электровоз происходит переходной процесс. На токоприемнике рассматриваемого электровоза возникают высокочастотные свободные колебания напряжения, обусловленные распределенной емкостью контактной сети, а также соответствующие им свободные колебания тока у шин питающей тяговой подстанции. Свободные колебания напряжения, частота которых составляет 850…1700 Гц в зависимости от длины межподстанционной зоны и положения на ней электровозов, искажают форму питающего напряжения, а следовательно, увеличивают коэффициент искажения синусоидальности напряжения.

Одним из способов решения проблемы снижения послекоммутационных колебаний в контактной сети является новый алгоритм управления ВИП. В этом способе подача нерегулируемых импульсов управления осуществляется одновременно в каждом полупериоде напряжения не только на тиристоры плеч, участвующих в создании данной зоны, но и плеч, которые участвовали в работе предыдущих зон, кроме первой. Это разбивает большой контур протекания токов коммутации на несколько малых.

Применение алгоритма одновременной коммутации токов тиристоров позволяет уменьшить колебания напряжения. Этот эффект происходит вследствие одновременного разряда электромагнитной энергии в малых короткозамкнутых контурах вместо поочередного разряда в большом, а затем и в малом контуре при типовом алгоритме.

Известно, что амплитуда послекоммутационных колебаний напряжения зависит от неуправляемого угла открытия тиристоров α_0, а также от длительности периода коммутации [1; 2].

В результате исследований [3] было определено, что при внесении в цепь выпрямленного тока параллельно тяговым двигателям диодного разрядного плеча и использовании алгоритма одновременной коммутации создаются необходимые потенциальные условия для открытия тиристоров ВИП, позволяющие уменьшить нерегулируемый угол открытия вентилей α_0 до 3º. При этом величина нерегулируемого угла отпирания тиристоров не зависит от количества находящихся на межподстанционной зоне электровозов и определяется только моментом перехода напряжения через нулевое значение. Это в свою очередь еще в большей степени снижает колебания напряжения, то есть улучшает форму напряжения в контактной сети.

По результатам моделирования, проведенного для сравнения существующего алгоритма управления ВИП и алгоритма одновременной коммутации с применением диодного плеча, были получены осциллограммы напряжения на токоприемнике электровоза, работающего в режиме тяги на полной четвертой зоне регулирования напряжения. На рисунке представлены осциллограммы напряжения на токоприемнике электровоза, находящегося на середине межподстанционной зоны длиной 40 км с двусторонним питанием, и гармонические составы напряжения при различных алгоритмах управления.

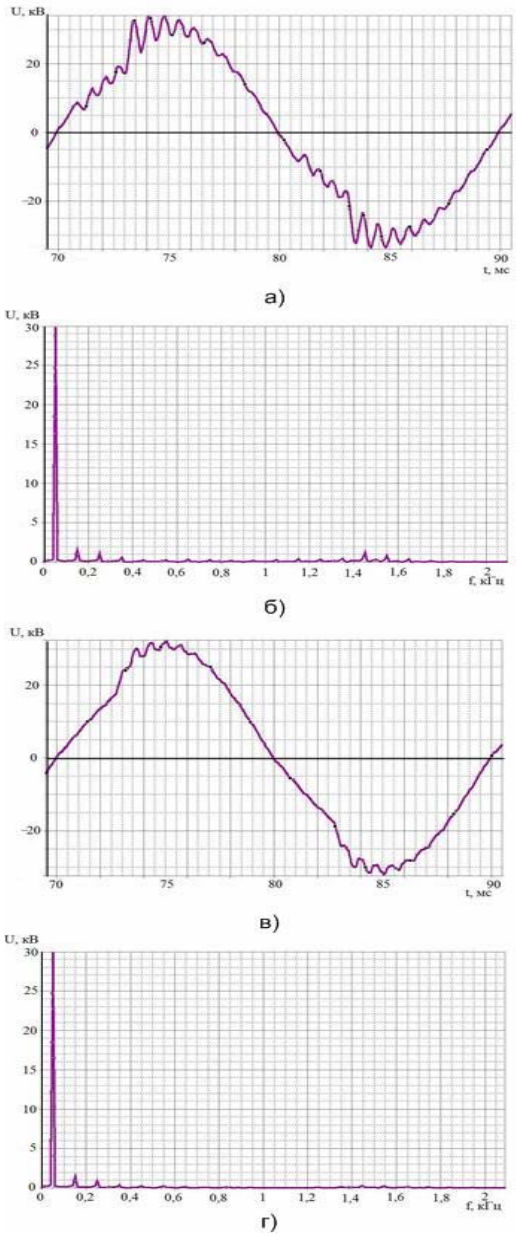


Рис. Осциллограммы напряжения на токоприемнике электровоза и соответствующие им гармонические составы при типовом алгоритме управления с $\alpha_0 = 9°$ (*а*, *б*) и алгоритме одновременной коммутации с диодным плечом с $\alpha_0 = 3°$ (*в*, *г*)

Результаты, полученные при математическом моделировании, показали, что снижение коэффициента несинусоидальности кривой напряжения в контактной сети с учетом применения описанных выше средств, составило 10…32,4 % в зависимости от положения электровозов на межподстанционной зоне и режима их ведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихменев Б. Н. Электровозы переменного тока с тиристорными преобразователями / Б. Н. Тихменев, В. А. Кучумов – М.: Транспорт, 1988. – 311 с.
2. Никитенко, А. Г. Математическое моделирование динамики электровозов / А. Г. Никитенко, Е. М. Плохов, А. А. Зарифьян, Б. И. Хоменко. – М.: Высшая школа, 1998. – 274 с.
3. Мельниченко, О. В. Многозонный выпрямитель электровозов однофазного переменного тока с неуправляемым вентилем-диодом / О. В. Мельниченко, С. В. Власьевский // Транспортные проблемы Сибирского региона // Сборник научных трудов. Ч. 1, Иркутск: ИрГУПС, 2003. – С. 78–81.

Поступила в редколлегию 25.06.2005.

УДК 541.136

В. А. ДЗЕНЗЕРСКИЙ, С. В. БУРЫЛОВ, А. А. БУРЯК, В. Ю. СКОСАРЬ (ИТСТ НАН Украины «Трансмаг»), М. В. СИРЕНКО, В. Н. ЛЕСНИЧИЙ (ЗАО «ВЕСТА-Днепр»)

УНИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ЗАРЯДА СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ

Розроблено систему водяного охолодження і видалення газової та аерозольної фракцій в процесі формування або заряду свинцево-кислотних акумуляторів. Вказана система дозволяє збільшити виробництво високоякісних товарів з ідентичними параметрами в умовах поточного виробництва і масової експлуатації.

Разработана система водяного охлаждения и удаления газовой и аэрозольной фракций в процессе формирования или заряда свинцово-кислотных аккумуляторов. Указанная система позволяет увеличить производство высококачественных изделий с идентичными параметрами в условиях поточного производства и массовой эксплуатации.

The authors have developed a water cooling and gas-aerosol particles removal system during formation process or charging lead-acid batteries. The mentioned system allows increasing the output of high-quality products with identical parameters under conditions of commercial production and large-scale operation.

На железнодорожном транспорте в качестве автономных источников тока используются свинцово-кислотные аккумуляторы. Технические характеристики свинцово-кислотных аккумуляторов: емкость, мощность разряда, долговечность существенно зависят от условий их формирования на производстве и от условий их заряда в эксплуатации. В первую очередь важны условия теплоотвода при формировании и заряде. На это есть две причины: во-первых, качество формирования или заряда аккумуляторов критически зависит от соблюдения температурного режима – при формировании температура аккумуляторов не должна превышать 60 °С, при заряде – не должна превышать 45 °С; во-вторых, во время формирования, как и во время заряда, аккумуляторы выделяют значительное количество тепла.

При поточном производстве однотипных аккумуляторов или аккумуляторных батарей, а также в условиях их массовой эксплуатации, когда на технологических линиях обрабатывается большое количество изделий, возникает проблема унификации параметров действующих факторов, будь то температура электролита, парциальное давление газов или концентрация аэрозолей. Иначе говоря, все обрабатываемые аккумуляторы и аккумуляторные батареи должны находиться в одинаковых физико-химических условиях, что является гарантией соответствия их выходных параметров техническим условиям. Идентичность условий обработки позволяет добиться стандартности технических характеристик. Достижение идентичности характеристик особенно важно для аккумуляторных батарей, которые собираются в моноблоках и состоят из аккумуляторов.

В процессе эксплуатации отличия в технических характеристиках аккумуляторов заметно ускоряют выход батареи из строя. Аккумулятор, изначально имеющий минимальную емкость, может оказаться в неблагоприятных условиях перезаряда или, наоборот, глубокого разряда, что приводит к уменьшению его емкости.

На стадии подготовки к формированию все аккумуляторы и аккумуляторные батареи заливают водным раствором серной кислоты и подвергают определенному времени (3…4 ч) пропитки электродных пластин электролитом. Формирование происходит путем дозированного воздействия формировочным током, подаваемым от внешнего источника, которым в данном случае служат специальные преобразователи тока. В аналогичных условиях производят и заряд большой партии аккумуляторов или аккумуляторных батарей.

Процесс обработки изделий в силу определенных физико-химических закономерностей делится на несколько стадий, причем величина формировочного или зарядного тока несколько раз меняется в соответствии с программой формирования или зарядной программой. Все стадии формирования или заряда сопровождаются тепловыделением различной степени интенсивности.

Наиболее интенсивное тепловыделение происходит при пропитке электродных пластин электролитом, при возрастании величины формировочного или зарядного тока, а также во второй половине процесса формирования или заряда, когда усиливается побочная реакция электролиза воды и возрастает внутреннее омическое сопротивление изделия [1].

Поскольку основным поглотителем тепла является электролит (теплоемкость электролита составляет порядка 90…95 % от теплоемкости всего аккумулятора, и только остальные 5…10 % теплоемкости приходятся на электроды и свинцовые токоведущие детали, если пренебречь теплоемкостью корпуса), то его температура увеличивается. Это отображается на скорости основных электрохимических реакций в активной массе электродов, в первую очередь на реакциях преобразования сульфатов свинца и оксида свинца PbO в диоксид свинца PbO_2 на положительных электродах и в губчатый свинец Pb на отрицательных электродах, а значит влияет на качество сформированных или заряженных изделий.

Особенно нежелателен перегрев электролита выше 60°С при формировании и выше 45 °С при заряде. (Нижними пределами температур в данном случае можно порекомендовать 40 и 20 °С соответственно.) Так установлено, что перегрев электролита при формировании до 80 °С резко снижает скорость преобразования оксида свинца PbO в диоксид свинца PbO_2 на положительных электродах, результатом чего является недопустимо низкое конечное содержание диоксида свинца в активной массе – всего 20 % вместо обычных 85…87 % [2]. Опыт эксплуатации подсказывает, что регулярный перегрев электролита при заряде приводит к ускоренной коррозии положительных токоотводов и преждевременному выходу изделия из строя.

В научной и патентной литературе описано множество вариантов способов и систем охлаждения аккумуляторов и аккумуляторных батарей. Например, в [3] предложен способ отвода тепла с помощью хладагента, прокачиваемого через теплообменники, помещенные в электролит каждого аккумулятора. Этот способ оказался неэффективным и сложным в эксплуатации в связи с необходимостью принудительно прокачивать хладагент через теплообменник с помощью насоса. Более удобными оказались способы охлаждения аккумуляторов путем отвода тепла во время заряда с помощью тепловой трубы, испаритель которой опускают в электролит [4–6]. Тем не менее, и они отличаются сравнительно малой эффективностью теплообмена. Кроме того, в условиях поточного производства и массовой эксплуатации потребуется огромное количество указанных устройств охлаждения, что является нетехнологичным и весьма дорогостоящим решением проблемы.

Несколько менее дорогостоящими и более эффективными, на наш взгляд, представляются системы охлаждения аккумуляторных батарей, основанные на принудительной циркуляции электролита в группе из нескольких формируемых или заряжаемых аккумуляторов [7; 8]. В частности, такой группой аккумуляторов может быть сама аккумуляторная батарея [7]. Преимуществом подобных способов охлаждения является то, что на целую группу аккумуляторов применяется одна система теплообмена, что снижает стоимость обслуживания. Тем не менее, указанные системы охлаждения не свободны от ряда недостатков, к которым следует отнести следующие: отсутствие коррекции температурного режима при формировании или заряде аккумуляторов; последовательное гидравлическое соединение аккумуляторов, не обеспечивающее достаточной идентичности основных физических и химических параметров процесса формирования; недостаточная эффективность теплоотвода.

Достаточно простой и удобной в эксплуатации оказалась система водяного охлаждения для формирования свинцово-кислотных аккумуляторов, предложенная в [9]. Система охлаждения имеет привязку к способу формирования, согласно которому аккумуляторы разделяют на группы, каждую из которых размещают в резервуарах, заполненных водою. Водообмен реализуется таким образом: резервуары помещены на разных уровнях (один над другим) и соединены трубопроводами так, что вода с магистрали, заполнивши верхний резервуар до установленного уровня, переливается в резервуар, расположенный непосредственно под ним, а затем – во все остальные ниже по уровню. В верхний резервуар охлаждающую воду подают непрерывно, потому циркуляция воды во всех резервуарах данной системы теплоотвода не прекращается до самого конца процесса формирования.

Перечислим недостатки указанного способа охлаждения свинцово-кислотных аккумуляторов и аккумуляторных батарей:

1. Поскольку резервуары соединены последовательно, то охлаждающая жидкость в них имеет неодинаковую температуру, потому что один и тот же объем воды проходит по всем резервуарам по очереди, нагреваясь в каждом. При этом рабочая температура самого нижнего резервуара существенно отличается от температуры верхнего, а формирование в различных температурных условиях дает значительное расхождение в технических характеристиках готовых изделий.

2. Технологические объемы над резервуарами не изолированы от атмосферы производственного помещения, что не только ухудшает условия труда персонала, но и может привести к изменениям температурного режима в самих резервуарах за счет температурных изменений в производственном помещении.

Таким образом, ни один из известных применяемых способов организации теплообмена не обеспечивает эффективного теплоотвода и унификации температурных условий при формировании или заряде аккумуляторов. В связи с этим актуальной представляется задача достижения максимальной эффективности теплоотвода и унификации его условий при формировании или заряде аккумуляторов, что позволит достичь идентичности их технических параметров.

Для устранения перечисленных недостатков и повышения эффективности предложенных систем теплообмена нами разработана система водяного охлаждения и удаления газовой и аэрозольной фракций в процессе формирования или заряда свинцово-кислотных аккумуляторов [10; 11].

На рисунке схематически изображена указанная система, включающая гидравлический контур и вентиляционную подсистему. На схеме обозначено минимальное количество узлов системы охлаждения; опущены все второстепенные детали, опущена электрическая схема связи аккумуляторов с преобразователями тока, а также схема сбора оперативной информации и управления процессом формирования или заряда.

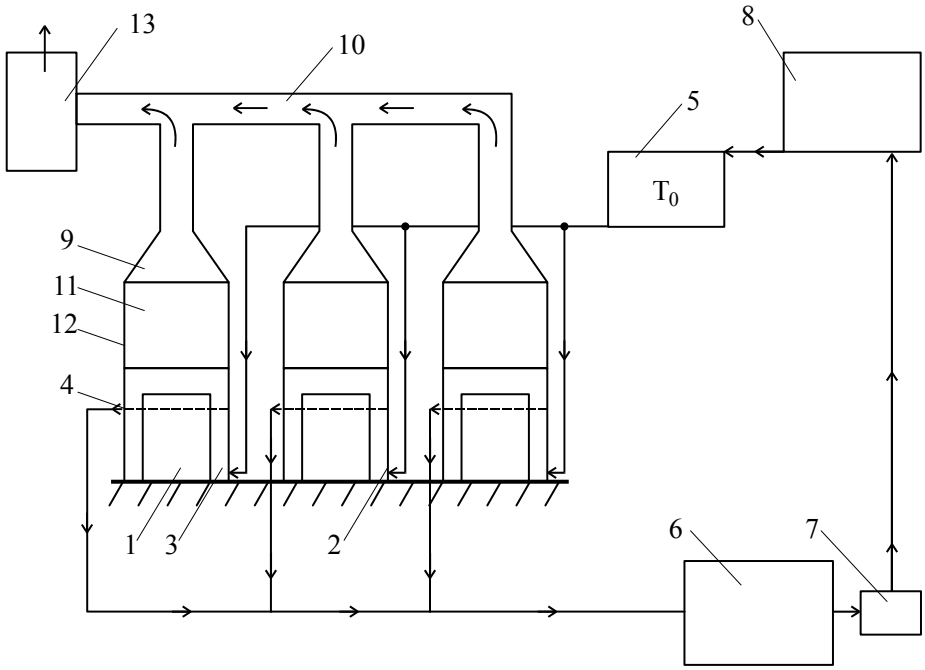


Рис. Система водяного охлаждения и удаления газовой и аэрозольной фракций

Опишем работу гидравлического контура. На схеме аккумуляторы или аккумуляторные батареи *1* размещены в резервуарах (ваннах) *2*. В качестве хладагента (охлаждающей жидкости) служит вода *3*, которая заполняет ванны до уровня сливного отверстия *4*. Избыточная тепловая энергия, выделяющаяся на электродных пластинах при формировании или заряде, поглощается водою, омывающей корпуса батарей. Для организации отвода этого тепла вода в ваннах обменивается в непрерывном режиме.

Охлажденная вода (T_0) поступает от напорной емкости *5* регулированным самотеком. Для достижения одинаковости (унификации) физических условий перепад уровней между напорной емкостью *5* и всеми ваннами *2* одинаковый. Кроме того, охлаждающая вода в ванны *2* подается параллельно. Удаление отработанной нагретой воды происходит путем перелива через постоянно открытые сливные отверстия *4*, размещенные на одинаковой высоте от дна ванн. Вода, сливаясь со всех ванн, собирается в общей емкости *6*, а затем закачивается насосом *7* в теплообменник (градирню) *8*.

Тепловой баланс гидравлического контура обеспечивается охлаждением отработанной воды в градирне *8*, где температура ее снижается как за счет интенсивного испарения, так и за счет прямого теплообмена с воздухом окружающей среды. Интенсивность охлаждения регулируется естественным путем в градирне *8*: чем выше температура отработанной нагретой

воды, тем интенсивнее идет теплообмен в градирне. Кроме того, при необходимости интенсивность охлаждения регулируют скоростью водообмена, добиваясь снижения флуктуаций рабочей температуры хладагента. После градирни *8* охлажденная вода накапливается в напорной емкости *5*, откуда она снова равномерно распределяется по ваннам *2*. Оборот охлаждающей воды происходит в течение нескольких часов процесса формирования или заряда аккумуляторов. По окончании же процесса обработки изделий ванны *2* целиком осушают, сливая всю воду в общую емкость *6*, и заменяют изделия новой партией. Для очередного запуска системы охлаждения ванны *2* снова заполняют водой *3* и возобновляют циркуляцию хладагента.

Опишем работу вентиляционной подсистемы. Над каждой ванной установлены заборные зонты *9* принудительного газообмена, которые соединены с помощью воздуховодов *10* с фильтровентиляционным устройством *13*. С целью предотвращения выброса образующейся газовой фракции и аэрозолей серной кислоты в цеховое помещение буферные технологические объемы 11 над ваннами отделяют от атмосферы цеха выдвижными шторками *12*.

Компрессия, создаваемая фильтровентиляционным устройством *13*, распределяется одинаково в объемах *11* над ваннами *2*, что позволяет выровнять скорость отвода газов и аэрозолей серной кислоты и предотвратить возникновение температурных флуктуаций в ваннах *2*. Аэрозоли серной кислоты не выбрасываются во внешнюю среду, а оседают на фильтровентиляционном устройстве *13*, которое подлежит периодической замене.

Произведем оценку тепловых потоков при теплоотдаче от свинцово-кислотных аккумуляторов. Нас интересуют два канала теплоотвода: теплоотвод за счет работы гидравлического контура, обеспечивающего омывание охлаждающей водой корпусов аккумуляторов, расположенных в ваннах, и теплоотвод за счет электролиза воды и удаления газов через вентиляционную подсистему. Например, расчеты по тепловому балансу промышленного серийного электролизера ФВ-500 показывают, что основной теплоотвод (порядка 91,7 %) осуществляется охлаждающей водой системы охлаждения, тогда как с парами воды и с горячими газами уносится лишь незначительная часть тепла (2,4 и 1,0 % соответственно) [12].

Аналогичных результатов следует ожидать и в случае работы нашей системы водяного охлаждения и удаления газовой и аэрозольной фракций.

Оценку теплоотвода охлаждающей водой произведем по формуле

$$Q_{\text{вод}} = M_{\text{вод}} \cdot c_p \left(T_2 - T_1\right), \qquad (1)$$

где $M_{\text{вод}}$ – масса хладагента (воды), протекающего по гидравлическому контуру в единицу времени; c_p – удельная теплоемкость воды ($4{,}19 \cdot 10^3$ Дж/кг·град); T_1 – температура холодной воды на входе в резервуары (ванны); T_2 – температура горячей отработанной воды.

Оценку теплоотвода за счет испарения воды и уноса паров воды выделяющимися газами (кислородом и водородом) произведем по формуле [12]

$$Q_{\text{пар}} = 2{,}15 \cdot 10^6 \left(V_{\text{O}} + V_{\text{H}}\right) \pi \big/ \left(P - \pi\right), \qquad (2)$$

где V_{O} и V_{H} – объемы кислорода и водорода, выделяющихся в единицу времени; π – упругость паров воды при температуре выделяющихся газов; P – давление в технологических объемах 11.

В результате экспериментов, проведенных в условиях промышленного ускоренного формирования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей типа 6СТ-60АЗ, установлено, что количество теплоты, отводимое охлаждающей водой в единицу времени, составляет порядка 500 кДж/ч.

Формула (2) показывает, что теплоотвод за счет испарения воды существенно зависит от давления в технологических объемах *11* над ваннами *2*. При расчете теплоотвода, принимая температуру электролита 40 °С и соответствующее максимальное давление π водяных паров над электролитом плотностью 1,20 г/см^3, а также объем выделяющихся в единицу времени из одной батареи газов $\left(V_{\text{O}} + V_{\text{H}}\right)$ порядка $2{,}88 \cdot 10^{-2}$ м^3/ч, получим следующие величины: $Q_{\text{пар}} = 3{,}49$ кДж/ч при $P = 1{,}00$ атм; $Q_{\text{пар}} = 530{,}65$ кДж/ч при $P = 0{,}06$ атм.

Из полученных оценок видно, что в обычных производственных условиях, когда давление в технологических объемах близко к 1 атм, вентиляционная подсистема обеспечивает незначительный вклад в теплоотвод, отбирая порядка 0,7 % от общего тепла, выделяемого аккумуляторами при формировании. Теплоотвод за счет испарения воды сравним с теплоотводом, производимым гидравлическим контуром, только при давлении в технологических объемах над ваннами порядка 0,06 атм, что обеспечить нереально.

Поэтому основная роль вентиляционной подсистемы заключается в удалении взрывоопасной смеси кислорода и водорода, а также в удалении аэрозолей серной кислоты. Теплоотвод же обеспечивается гидравлическим контуром системы охлаждения. Унификация тепловых условий обеспечивается одинаковым перепадом уровней между напорной емкостью *5* и всеми ваннами *2*, параллельной подачей охлаждающей воды в ванны, удалением отработанной нагретой воды через постоянно открытые сливные отверстия *4*, размещенные на одинаковой высоте от дна ванн. Кроме того, стабильность тепловых условий достигается естественным регулированием интенсивности охлаждения в градирне *8*, где теплообмен тем больше, чем выше температура отработанной нагретой воды.

В таблице представлены экспериментальные данные по температуре электролита в свинцово-кислотных аккумуляторных батареях 6СТ-60АЗ, формируемых в промышленных условиях, согласно серийной ускоренной технологии батарейного формирования. Теплоотвод от батарей организован представленной здесь системой водяного охлаждения и удаления газовой и аэрозольной фракций. Расход хладагента в расчете на одну батарею составил 0,1 л/мин.

Таблица

Тепловые условия формирования аккумуляторных батарей 6СТ-60АЗ

Время, ч	Стадия формирования	Величина тока, А	Температура электролита, °С
До 3-х часов	Пропитка электролитом	–	Снижалась 55…35
3	Формирование ступенчатым током	15	35
4		20	37
5		30	45
6		30	55
7		23	55
8		23	47
9		15	40
11		15	45
13		15	48
15		15	49
17		15	50

Рациональная организация водяного охлаждения позволяет достичь интенсивности теплоотвода порядка 500 кДж/ч на одну аккумуляторнуюбатарею 6СТ-60АЗ, что вполне достаточно для ускоренного формирования или заряда, а также для обеспечения унификации условий теплоотвода. Это улучшает технические характеристики аккумуляторов, повышает выход высококачественных изделий с идентичными параметрами в условиях поточного производства и массовой эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзензерский В. А. Исследование режимов батарейного формирования свинцово-кислотных аккумуляторных батарей / В. А. Дзензерский, С. В. Бурылов, В. Ю. Скосар, Ю. И. Скосарь // Электрохимическая энергетика. – Саратов, 2004. – том. 4, – № 1. – С. 43–48.
2. Овари Ф. Изменение состава электродной массы при батарейном формировании свинцового акумулятора / Ф. Овари, Я. Яч, Б. Г. Карбасов // Журнал прикладной химии (ЖПХ). – Л., 1988. – № 11. – С. 2558–2560.
3. Патент Великобритании № 1461366, 1977.
4. Патент Франции № 2301107, 1976.
5. А.с. СССР № 871262, 1981.
6. А.с. СССР № 1023461 А , 1983.
7. А.с. СССР № 1292566, 1985.
8. А.с. СССР № 1653030, 1991.
9. Патент США № 4604564.
10. Патент Україна № 50359, Дзензерський В.О., та інш., 2004, бюл.№ 10.
11. Патент РФ № 2224345, Дзензерский В.А. и др., 2004, бюл.№ 5.
12. Зарецкий С. А. Электрохимическая технология неорганических веществ и химические источники тока / С. А. Зарецкий, В. Н. Сучков П. Б. Животинский. – М.: Высш. школа, 1980. – С. 17–19.

Поступила в редколлегию 20.06.2006.

УДК 625.26:532.528

Ю. А. ЖУЛАЙ, А. С. ВОРОШИЛОВ (Институт транспортных систем и технологий НАН Украины «Трансмаг»)

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИЯ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Наведено приклади використання гідродинамічної кавітації в промислових технологічних процесах, що дозволяє значно знизити питомі енергетичні витрати. Для автоматизованої установки очищення візків вагонів наведено результати визначення енергії удару рідини, що впливає на очищення поверхонь, стаціонарного й пульсуючого струменів. Показано, що використання пульсуючих струменів підвищеної руйнівної здатності, отриманих за кавітаційним генератором, може в кілька разів підвищити ефективність установки.

Приведены примеры использования гидродинамической кавитации в промышленных технологических процессах, что позволяет значительно снизить удельные энергетические затраты. Для автоматизированной установки очистки тележек вагонов представлены результаты определения энергии удара жидкости, воздействующей на очищаемую поверхность, стационарной и пульсирующей струй. Показано, что использование пульсирующих струй повышенной разрушительной способности, полученных за кавитационным генератором, может в несколько раз повысить эффективность установки.

Applications of hydrodynamic cavitation in industrial engineering processes which enables to attain a considerable decrease in specific loss of power are exemplified. The results of finding the power of the liquid impact action upon the surface being cleaned by steady-state and pulsating jets for an automated unit are represented. It has been shown that the use of pulsating jets of increased destructive power obtained from a cavitation generator is capable of increasing the unit efficiency several times as compared with traditional methods.

Постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами

Повышение энергоэффективности любого предприятия является одной из важных задач его производственно-хозяйственной деятельности. Особенно остро эта проблема встала перед руководителями хозяйствующего субъекта в условиях роста цен на энергоносители и приближения их к мировым. В связи с этим реализация энергосберегающих технологий в производстве, в том числе и на железнодорожном транспорте, является актуальной задачей.

Для снижения потребления энергоресурсов и планирования внедрения энергосберегающих технологий каждое предприятие должно располагать средствами для их реализации и информацией об:

– основных потерях энергии и их причинах;

– энергоэффективных технологиях и оборудовании;

– сроках окупаемости и технико-экономическом обосновании конкретных энергосберегающих мероприятий.

Анализ последних исследований и публикаций по использованию гидродинамической кавитации в промышленных технологиях

В работе [1] описаны примеры практического использования гидродинамической кавитации для получения позитивных результатов по интенсификации различных технологических процессов:

– в металлургии – для удаления вторичной окалины пульсирующими струями повышенной разрушительной способности при горячей прокатке колес железнодорожных вагонов;

– в химической промышленности – для эмульгирования жидкостей и диспергирования с использованием режимов периодически-срывной кавитации в потоке суспензии;

– в горнодобывающей отрасли – для интенсификации процессов бурения наложением вибронагрузки на породоразрушающий инструмент.

В качестве примера в табл. 1 приведены технические характеристики кавитационной установки и традиционных технологических процессов производства водоэмульсионных красок (бисерные и шаровые мельницы). Из этих данных видно, что использование гидродинамической кавитации позволило снизить удельные энергозатраты в 10 и 20 раз по сравнению с шаровыми и бисерными мельницами (соответственно).

Решение этих задач связано с получением дискретно-импульсной энергии большой мощности в потоке жидкости при помощи кавитационного генератора [2], создающего высокоамплитудные колебания в диапазоне звуковых частот. Генератор преобразует стационарное течение жидкости в пульсирующее. Оно достигается только за счет соответствующей геометрии специального гидравлического канала, а не за счет использования каких-либо движущихся частей или дополнительных источников энергии.

Таблица 1

Технические характеристики кавитационной установки и традиционного оборудования для технологических процессов производства водоэмульсионных красок

Показатели	Кавитационная установка	Бисерные мельницы	Шаровые мельницы
1. Стоимость бисера за 1 т, руб.	–	870,000	–
2. Стоимость бисера в год, руб.	–	19140,000	–
3. Расход бисера в год, т	–	22,000	–
4. Стоимость шаров за 1 т, руб.	–	–	594,40
5. Стоимость шаров в год, руб.	–	–	7250,00
6. Расход шаров в год, т	–	–	12,20
7. Годовой объем производства краски, т	167200,0	22050,000	15750,00
8. Стоимость оборудования, руб.	4500,0	173042,000	38760,00
9. Производительность оборудования, т/ч	24,0	3,815	2,49
10. Энергоемкость оборудования, кВт·ч/т	2,5	56,800	24,80

Гидравлический канал представляет собой трубку Вентури специальной геометрии [2], в которой при определенном диапазоне соотношений давления на выходе P_2 к давлению на входе P_1 (равном $\approx 0,01\ldots0,8$) реализуется периодически срывное кавитационное течение. При этом наблюдается периодический рост оседлой кавитационной каверны в критической и диффузорной части трубки Вентури до определенных максимальных размеров, затем ее отрыв и схлопывание в зоне повышенного давления в диффузоре, либо в трубопроводе за генератором. Отличительной особенностью такого течения является стабильность частоты отрыва каверн большого объема и их схлопывание в потоке, а не на стенке канала.

Исследованию условий повышения эффективности генерации высокоамплитудных кавитационных автоколебаний давления жидкости посвящен ряд работ [3–7], выполненных в Институте технической механики НАН Украины, в которых установлено, что для обеспечения больших амплитуд колебаний давления жидкости в трубопроводе за кавитационным генератором, выполненном в виде трубки Вентури, необходимо чтобы угол раскрытия диффузора составлял 20 и более градусов, и отношение диаметра выходного сечения диффузора D к диаметру критического сечения критики $d_{кр}$ равнялось ≈ 4. В этом случае максимальные значения импульсов давления жидкости за генератором превышают среднее значение давления на входе в него в $\approx 1,5\ldots3$ раза.

В работе [8] рассмотрен пример использования гидродинамической кавитации в технологическом процессе очистки морских судов от обрастаний (характерный линейный размер 20-40 см), состоящих из отложения солей, водорослей и ракушек, старой краски и ржавчины. В этом случае на используемой стандартной гидравлической установке «WOMA-ATUMAT» в гидропистолет был вмонтирован кавитационный генератор колебаний жидкости. В результате проведения натурных испытаний были сделаны выводы: при одном и том же давлении на входе в гидропистолет и том же подпорном сопле очистка поверхности пульсирующей струей имеет большую (2…3 раза) производительность, чем стационарной струей.

Пульсирующая струя (рис. 1) имеет больший диаметр и распыл, чем стационарная, ее ядро сохраняется на расстоянии от подпорного сопла до 5 м (для стационарной – два метра). Это говорит о том, что энергия порций жидкости, вылетающей из сопла, и всей пульсирующей струи, больше чем стационарной струи. Кроме того, больший распыл струи означает больший захват обрабатываемой поверхности, а следовательно, производительность очистки выше.

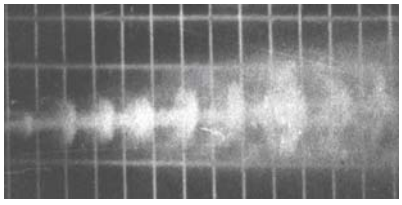


Рис. 1. Фрагмент киносъемки пульсирующего потока жидкости

В работах [8; 9] предложено использовать гидродинамическую кавитацию для очистки поверхностей бандажей колес и рельс железнодорожного транспорта от загрязнений с целью улучшения их сцепления. Схема такого способа очистки приведена в работе [9].

Несмотря на некоторую «экзотичность» предложенного технического решения, особенно с использованием этого устройства в зимний период, на взгляд авторов, его применение значительно понизило бы затраты на операции, связанные с заготовкой, сортировкой, подготовкой и подачей песка на электровозы. В то же время, использование песка современным подвижным составом приводит к повышению сопротивляемости движения, засорению балластного слоя, а также к возможной потере контакта колес локомотива с рельсами, что чрезвычайно опасно.

Технологии, основанные на использовании пульсирующих струй жидкости повышенной разрушительной способности, могут применяться для очистки конструктивных элементов вагонов и локомотивов, их колесных пар, рам тележек, корпусов букс, наружных и внутренних поверхностей котлов цистерн и т. д. от отложений, загрязнений, старой краски и ржавчины при плановом ремонте и модернизации.

Устройства для создания таких струй просты в изготовлении и эксплуатации и имеют срок службы от 2000 до 5000 часов. Они могут быть созданы путем доработки существующих гидроустановок, поскольку не имеют подвижных частей и не требуют дополнительных источников энергии.

В связи с вышеизложенным несомненный интерес представляет определение сравнительных оценочных характеристик стационарных и импульсных струй и их удельных энергетических характеристик (энергия импульса) при проведении работ по очистке различных поверхностей железнодорожных вагонов и локомотивов при выполнении ремонтных работ и модернизации.

Сравнительная оценка энергетических характеристик стационарной и пульсирующей струй. Для определения и сравнительного анализа энергетических характеристик стационарных и пульсирующих струй в качестве объекта исследования использовалась автоматизированная установка производства станкостроительного завода «В. ХЕГЕНШЕЙДТ КГ» (Германия) для очистки тележек вагонов (рис. 2) со следующими техническими характеристиками:

– ширина тележки – макс. 3 150 мм;
– высота тележки – макс. 1 100 мм;
– длина тележки – любая;
– давление воды – около 4,0 МПа;
– производительность насоса высокого давления – около 30 $м^3$/ч;
– мощность приводного двигателя насоса – около 55 кВт;
– производительность установки (при длине тележки в 5 м) около 25 тележек за 8 часов;
– общий вес установки – около 8 500 кг.

Установка очищает железнодорожные тележки с колесными парами и без них, с полным проходом очищаемых тележек. Тележки очищаются холодной (в случае необходимости подогретой водой) без химических добавок от пыли, масла и поврежденной краски.

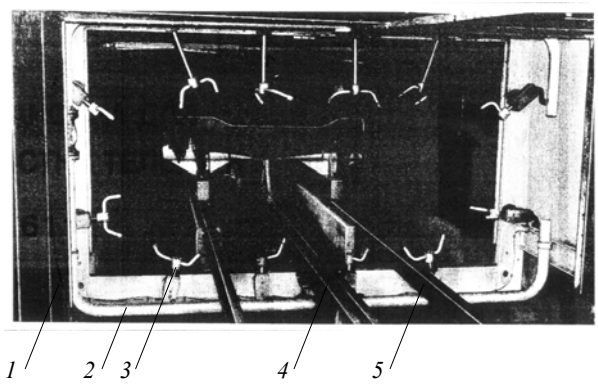


Рис. 2. Установка для очистки тележек:
1 – кабина; *2* – трубчатая рама; *3* – вращающаяся головка со струйными соплами; *4* – транспортная цепь; *5* – рельсовый путь

Установка состоит из кабины *1*, обшитой оцинкованным металлом, с эластичными прозрачными воротами, изготовленными из прочной на истирание пластмассы. Обмывочная камера, находящаяся в середине кабины, снабжена жестко смонтированной трубчатой рамой *2*, через которую вода подводится к вращающимся головкам со струйными соплами *3*. Головки со струйными соплами приводятся в действие смонтированными вне кабины электродвигателями посредством необслуживаемой цепной передачи. Насосный агрегат, подающий воду к струйным соплам, расположен вне кабины и может питаться как от системы водоснабжения, так и от очистительной установки оборотного водоснабжения. Тележки передвигаются как вперед, так и назад с помощью транспортной цепи *4*, находящейся посредине рельсов *5*.

Доработку установки для создания пульсирующих струй повышенной разрушительной способности, можно осуществить путем установки кавитационного генератора колебаний жидкости на входе в трубчатую раму.

Исходными данными для расчета генератора является давление подачи воды $P_1 = 4,0$ МПа и расход $Q = 30$ м^3/ч.

Площадь критического сечения кавитационного генератора определяется по формуле

$$F_{кр} = \frac{G_г}{\mu_г \sqrt{2g\gamma\left(P_1 - P_к\right)}}, \qquad (1)$$

где $G_г$ – секундный весовой расход жидкости (равный 8,33 кг/с); $\mu_г$ – коэффициент расхода генератора (принимается равным 0,96); $g = 981$ см/с^2 – ускорение свободного падения; $\gamma = 0,001$ кг/см^3 – удельный вес воды; $P_к$ – давление в кавитационной каверне принимается равным давлению насыщенных паров воды – 0,0024 МПа.

Площадь проходного сечения генератора, определенная по формуле (1), составляет 0,97 см^2, а диаметр критического сечения $d_{кр} = 11,0$ мм.

Остальные геометрические параметры генератора выбираются в соответствии с [2] и приведены на рис. 3.

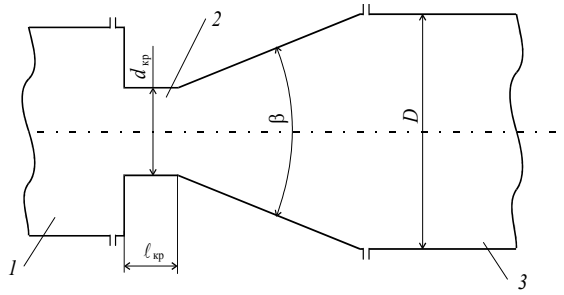


Рис. 3. Кавитационный генератор:
1 – входной трубопровод; *2* – генератор $d_{кр} = 11$ мм;
$\beta = 20°$; $D = 4d_{кр}$; $\ell = 0,6...2d_{кр}$; *3* – выходной трубопровод

На рис. 4 приведены расчетные зависимости [1] ожидаемых размахов и частоты колебаний жидкости, создаваемых генератором, который предлагается установить при доработке установки для очистки тележек.

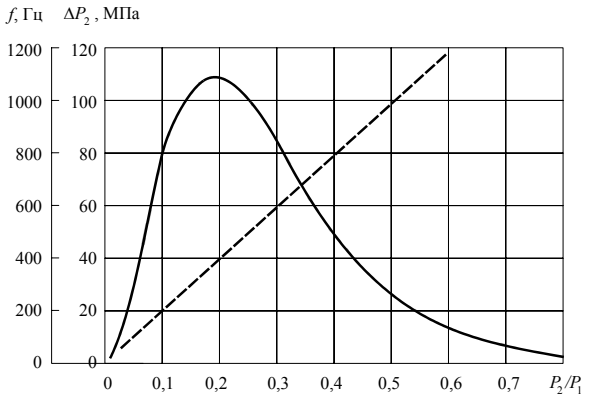


Рис. 4. Расчетные зависимости ожидаемых размаха и частоты колебаний жидкости на выходе из генератора:
(—) – ΔP_2; (----) – f

Из представленных результатов видно, что при правильном подборе суммарной проходной площади сопел, обеспечивающих значения подпора в диапазоне $P_2 = (0,15...0,25)P_1$, давление на выходе из сопел в импульсе в среднем превышает давление, создаваемое насосом, в 2,5…2,7 раза.

Формулу, связывающую параметры генератора колебаний и коллектора с соплами, можно получить, приравняв расходы через генератор колебаний и через все сопла [10].

Расход через генератор колебаний равен

$$G_г = \mu_г \cdot F_{кр} \sqrt{2g \cdot \gamma \cdot \Delta P_г}, \qquad (2)$$

где $\Delta P_г$ – перепад давления на генераторе колебаний.

Суммарный расход через сопла коллектора

$$G_{\Sigma ф} = n \cdot G_ф = n \cdot \mu_ф \cdot F_ф \sqrt{2g \cdot \gamma \cdot \Delta P_ф}, \qquad (3)$$

где n – количество сопел в коллекторе; $\mu_ф$, $F_ф$ – коэффициент расхода и площадь проходного сечения сопла; $\Delta P_ф$ – перепад давления на сопле.

Приравнивая (2) и (3), получили

$$\mu_г \cdot F_{кр} \cdot \sqrt{\Delta P_г} = n \cdot \mu_ф \cdot F_ф \sqrt{\Delta P_ф}. \qquad (4)$$

Принимая во внимание, что

$$\Delta P_г = P_1 - P_к, \quad \Delta P_ф = P_2 - P_а,$$

где $P_а$ – атмосферное давление.

С учетом того, что $P_к \ll P_0$ и $P_а \ll P_0$ приближенно можно записать, что

$$\Delta P_г \approx P_1, \ \Delta P_ф \approx P_2 \approx P_0 \tau,$$

где $\tau = \dfrac{P_2}{P_1}$ – параметр кавитации.

С учетом сделанных допущений выражение (4) приводится к виду

$$\mu_г F_{кр} \sqrt{P_0} = n \mu_ф F_ф \sqrt{P_0} \sqrt{\tau},$$

$$\mu_г F_{кр} = n \mu_ф F_ф \sqrt{\tau}$$

или

$$\frac{nF_ф}{F_{кр}} = \frac{\mu_г}{\mu_ф \sqrt{\tau}}. \qquad (5)$$

Выражение (5) весьма полезно для анализа системы «генератор-коллектор», сравнения расчетных и экспериментальных данных и т. п.

Из выражения (5) проходная площадь одного сопла трубчатого коллектора определяется как

$$F_{\text{ф}} = \frac{\mu_{\text{г}}}{n \cdot \mu_{\text{ф}}} \cdot \frac{F_{\text{кр}}}{\sqrt{\tau}}. \qquad (6)$$

Коэффициенты расхода генератора и сопел желательно определять проливками экспериментальных образцов, и по данным проливок уточняются проходные сечения генератора и сопел.

В табл. 2 приведены характеристики источника энергии и технологические характеристики: для стационарной струи – определенные по параметрам установки для очистки тележек; для пульсирующей струи – рассчитанные по формулам (1) и (6). Скорость истечения пульсирующей струи определялась по среднеинтегральному значению пульсации давления, а энергия удара за время действия импульса, $\Delta t = 1/3T$ (который определялся экспериментально и для $\tau = 0,2$ составлял $\approx 1/3$ периода колебания).

Таблица 2

Сравнительные оценочные характеристики стационарной и пульсирующей струй жидкости установки для очистки тележек вагонов

Показатели	Стационарная струя	Пульсирующая струя
Характеристики источника энергии		
давление подачи	4,0 МПа	4,0 МПа
производительность насоса	30 м^3/ч	30 м^3/ч
мощность приводного двигателя	55 кВт	55 кВт
Технологические характеристики		
критическое сечение генератора	–	$11 \cdot 10^{-3}$ м
максимальное давление в трубопроводном коллекторе	4,0 МПа	10,8 МПа (в импульсе)
проходное сечение сопла	$0,122 \cdot 10^{-4}$ м	$0,191 \cdot 10^{-4}$ м
длительность импульса	–	$8,3 \cdot 10^{-4}$ с
расход через сопло	0,694 кг/с	1,26 кг/с
скорость струи	56,9 м/с	66,0 м/с
энергия удара	1,86 Дж	4,56 Дж

Основным параметром воздействия жидкости на очищаемую поверхность является энергия удара. Для пульсирующей струи энергия удара составляет 4,56 Дж, а для стационарной – 1,86 Дж, т. е. энергия удара пульсирующей струи в 2,5 раза выше, чем энергия удара при стационарном истечении жидкости.

В работе [8] указывалось, что очистка поверхности пульсирующими струями повышенной разрушительной способности имеют большую производительность при одних и тех же характеристиках источника энергии. Также установлено, что ядро пульсирующей струи сохраняется на расстоянии в $\approx 2,5$ раза большем по сравнению со стационарной струей. Следует также отметить, что воздействие импульсной нагрузки приводит к уменьшению внутреннего трения и росту скорости деформации разрушаемого слоя, а следовательно, и к росту темпов очистки при прочих равных условиях.

Таким образом, использование генератора кавитационных колебаний понизит удельные энергозатраты в 2,5 и более раз за счет комплексного воздействия: увеличения энергии импульса, скорости деформации и уменьшения внутреннего трения при циклическом нагружении разрушаемого слоя.

Выводы

Приведенные доводы обосновывают целесообразность и перспективность использования гидродинамической кавитации в технологических процессах по чистке различных поверхностей при ремонте и модернизации элементов подвижного состава железной дороги.

Показано, что применение пульсирующих струй повышенной разрушительной способности позволит снизить удельные энергозатраты в 2,5 и более раз за счет комплексного воздействия – увеличения энергии импульса и уменьшению

сопротивляемости разрушаемого слоя при циклическом нагружении с высокими частотами.

Устройства для создания таких струй просты в изготовлении и эксплуатации. Они могут быть созданы путем простой доработки существующих гидроустановок, поскольку не имеют подвижных частей и не требуют дополнительных источников энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pilipenko V. V. Cavitation self-oscillations intensify technological processes / V. V. Pilipenko, I. K. Man'ko, V. A. Zadontsev // Proceedings of a Fluid Dynamics Panel Workshop. – K.: Ukraine. Report 827, 1998, – P. 32 (1)–32 (4).
2. А. с. 1232299 (СССР) «Генератор колебаний давления жидкости». Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Манько И. К., Жулай Ю. А. и Дзоз Н. А. Зарегистрировано 22.01.1986 г.
3. Пилипенко В. В. Исследование высокочастотных кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с трубкой Вентури / В. В. Пилипенко, В. А. Задонцев, И. К. Манько и др. // Кавитационные автоколебания в насосных системах, ч. 2. – К.: Наук. думка, 1976. – С. 103–113.
4. Манько И. К. Визуальные исследования кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с прозрачной трубкой Вентури // Кавитационные автоколебания в насосных системах. ч. 2. – К.: Наук. думка, 1976. – С. 113–118.
5. Манько И. К. Влияние угла диффузора трубки Вентури на частоту и уровень максимальных значений давления высокочастотных кавитационных автоколебаний // Кавитационные автоколебания и динамика гидравлических систем. – К.: Наук. думка. 1977. – С. 34–38.
6. Бурылов С. В. Условия повышения эффективности генерации высокоамплитудных кавитационных автоколебаний давления жидкости / С. В. Бурылов, Ю. А. Жулай // Зимняя школа по механике сплошных сред: Тез. докладов. – Пермь. 2003. – № 13. – С. 63.
7. Жулай Ю. А. Некоторые результаты исследований тонкой пульсирующей струи / Ю. А. Жулай, И. К. Манько, Л. И. Уварова // Кавитационные колебания и динамика двухфазных систем: Сб. науч. тр. – К.: Наук. думка, 1985. – С. 97–102.
8. Ю. А. Жулай. Возможность очистки путевой структуры пульсирующими кавитирующими струями воды при движении подвижного состава / Ю. А. Жулай, Н. А. Дзоз, В. А. Задонцев, и др. // Вестник Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вып. 8. – С. 151–155.
9. Жулай Ю. А. Об использовании гидродинамической кавитации в технологических процессах / Ю. А. Жулай, В. А. Задонцев, Ю. В. Демин // Залізничний транспорт України, – 2005. – № 3. (50), – С. 44–48.
10. Пилипенко В. В. Кавитационные автоколебания. – К.: Наук. думка, 1989. – 316 с.

Поступила в редколлегию 20.06.2006.

УДК 621.316.761.2

В. С. КЛИМАШ (Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия), С. В. ВЛАСЬЕВСКИЙ, А. М. КОНСТАНТИНОВ (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

ТРЕХФАЗНОЕ ВОЛЬТОДОБАВОЧНОЕ УСТРОЙСТВО С ОДНОФАЗНЫМ ЗВЕНОМ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Пристрій призначений для компенсації реактивної потужності мережі з одночасною стабілізацією напруги навантаження. У його склад входить високочастотний однофазний трансформатор, що включений між двома перетворювачами. Один перетворювач виконаний з ланкою постійного струму і підвищує частоту вище частоти мережі, а інший виконаний з безпосереднім зв'язком і знижує частоту до частоти мережі.

Устройство предназначено для компенсации реактивной мощности сети с одновременной стабилизацией напряжения нагрузки. В его состав входит высокочастотный однофазный трансформатор, который включен между двумя преобразователями. Один преобразователь выполнен со звеном постоянного тока и повышает частоту выше частоты сети, а другой выполнен с непосредственной связью и понижает частоту до частоты сети.

The device is intended for compensating the reactive capacity of circuit with simultaneous stabilization of the loading voltage. It includes a high-frequency single-phase transformer which is included between two converters. One of the converters is fitted with a d.c. link and raises frequency above that of the circuit, and the other one – with a direct communication, and lowers the frequency down to the frequency of circuit.

В настоящее время проблеме улучшения качества электроэнергии и энергосбережения уделяется исключительно большое внимание. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Возрастание цен на энергоносители, в частности на электроэнергию, а также ограничение возможностей увеличения мощности энергогенерирующих установок обуславливают пристальное внимание к данной проблеме. Она отражена в государственных и отраслевых программах России.

Рациональное электропотребление, а следовательно, и энергосбережение обеспечиваются не только экономичностью использования электроэнергии потребителями (в частности, электроприводами), но и зависит от качества электроэнергии питающей сети. Проблемой современного электроснабжения является постоянный рост количества и мощности электрооборудования, что приводит к превышению номинального значения сетевого тока и соответственно влияет на качество напряжения [1]. Отрицательное влияние этого явления испытывают все участники электроснабжения:

– на электростанциях происходят механические перегрузки генераторов, что снижает стабильность частоты их вращения;

– в распределительных сетях происходит перегрев изоляции линий электропередач и силовых трансформаторов, что повышает вероятность аварии или срабатывания защиты с прекращением подачи электроэнергии потребителю;

– потребители получают некачественную электроэнергию (преимущественно пониженное и искаженное напряжение), что может привести к неправильной работе или отказу электрооборудования.

Следует отметить, что в общем объеме нагрузок растет доля нелинейных нагрузок, содержащих ключевые преобразователи на входе. Они потребляют из сети несинусоидальный отстающий от напряжения ток, который вызывает несинусоидальные и несимметричные по фазам падения напряжения на сопротивлениях сети, которые, в свою очередь, искажают синусоидальную форму и фазную симметрию напряжения у потребителя.

В кривой напряжения появляются высшие гармоники, которые усиливают электрический и магнитный поверхностные эффекты, вызывают резонансы в фильтрах, ускоряют старение электротехнических материалов, искажают показания приборов учета расхода электроэнергии. Включение между питающей сетью и двигателем полупроводниковых (тиристорных или транзисторных) преобразователей, обеспечивающих управление и регулирование асинхронных двигателей оказывает существенное влияние на показатели качества электроэнергии питающей сети.

В результате потребители вынуждены использовать устройства, улучшающие качество электроэнергии. В частности, к таким устройствам относятся системы стабилизации напряжения с одновременной компенсацией реактивной мощности [2–5].

Существующие схемы компенсации реактивной энергии со стабилизацией напряжения (КРЭСТН) и схемы со стабилизацией напряжения (СТН), содержащие вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ), выполненные на частоту сети 50 Гц, несомненно, обладают рядом положительных качеств. Однако эти схемы требуют совершенствования, отвечающего современным требованиям. Одним из перспективных направлений такого совершенствования в условиях опережающего роста цен на электротехнические материалы по сравнению с полупроводниковыми является включение ВДТ в звено повышенной частоты.

Применительно к стабилизированным источникам переменного напряжения малой мощности это направление разрабатывается в Томском институте автоматизированных систем управления [2].

В основу построения быстродействующих вольтодобавочных устройств с улучшенными массогабаритными показателями был положен принцип модуляции и демодуляции переменного напряжения с широтно-импульсным регулированием добавочного напряжения в процессе прямого или обратного преобразования частоты. Однако к недостаткам этого принципа, прежде всего, следует отнести высокий уровень коммутационных потерь вследствие того, что частота модуляции добавочного напряжения равна частоте коммутации полностью управляемых ключей. Кроме того, эти устройства содержат большое количество полностью управляемых ключей с двухсторонней проводимостью тока, половина из которых включена в цепи нагрузки. Этот недостаток особенно проявляется при многозонном формировании добавочного напряжения для трехфазной сети. Эти устройства также имеют ограниченные функциональные возможности, которые не позволяют обеспечивать компенсацию реактивной энергии из-за отсутствия звена постоянного тока.

В развитие этого направления предложено новое построение вольтодобавочных устройств со звеном повышенной частоты [3-5], позволяющих компенсировать отклонения напряжения и реактивную мощность сети. Вольтодобавочное устройство (рис. 1) включается в цепь вторичной обмотки силового трансформатора (СТ) и содержит два преобразователя частоты. Первый преобразователь частоты повышает частоту и представляет собой трехфазно-однофазный преобразователь со звеном постоянного тока (ПЧсЗПТ).

В состав ПЧсЗПТ входят управляемый реверсивный выпрямитель (РВ) с системой управления (СУРВ) и инвертор напряжения (ИН) с системой управления (СУИН). Второй преобразователь частоты понижает частоту до частоты сети и выполнен по однофазно-трехфазной нулевой схеме непосредственного преобразователя частоты с естественной коммутацией (НПЧ), управление которым осуществляется системой управления (СУНПЧ). В звено повышенной частоты между этими преобразователями включен однофазный понижающий высокочастотный трансформатор (ОВТ).

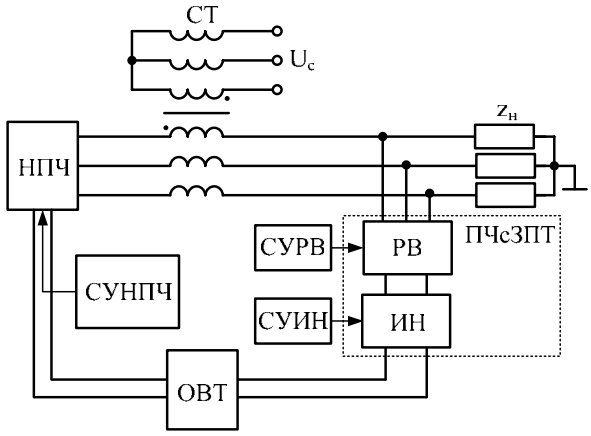


Рис. 1. Структурная схема включения компенсатора отклонений напряжения и реактивной мощности для трансформаторной подстанции:
СТ – силовой трансформатор; $z_н$ – трехфазная нагрузка

Предлагаемое устройство (рис. 1) работает следующим образом. ПЧсЗПТ из трехфазного напряжения на нагрузке формирует однофазное регулируемое напряжение высокой частоты. Это высокочастотное напряжение понижается ОВТ и подается на вход однофазно-трехфазного НПЧ. НПЧ с естественной коммутацией и ведомый сетью из однофазного регулируемого напряжения высокой частоты формирует три однофазных добавочных напряжения, которые, кроме общего регулирования при помощи РВ с системой управления СУРВ, могут дополнительно регулироваться независимо друг от друга за счет изменения угла задержки включения тиристоров каждой пары фазных вентильных групп.

Выходные фазные напряжения НПЧ вместе с соответствующими фазными напряжениями на вторичной обмотке СТ в сумме составляют трехфазное напряжение нагрузки $z_н$, которое стабилизируется на заданном уровне (например, номинальном) за счет воздействия сигналом управления на СУРВ.

Устройство производит регулирование фазных добавочных напряжений без сдвига их первых гармонических составляющих относительно соответствующих фазных напряжений вторичной обмотки СТ. Работа устройства в режиме вольтодобавки задается начальной фазой добавочного напряжения, 0 рад, а в режиме вольтовычета – π рад.

Выполнение СУИН и СУНПЧ с возможностью регулирования фазы высокочастотного напряжения и синхронизированного с сетью добавочного напряжения в сторону опережения относительно напряжения сети позволяет реализовать способ управления стабилизатором с компенсацией реактивной мощности СТ подстанции. В связи с чем увеличивается жесткость его внешней характеристики.

Так как основным составным звеном предлагаемого устройства является НПЧ, то рассмотрим его более подробно.

Значение тока фазы вторичной обмотки силового трансформатора

$$I_{ф1} = S_т / U_{2ф} \cdot m, \qquad (1)$$

где $S_т$ – величина мощности силового трансформатора, кВ·А; $U_{2ф}$ – значение номинального напряжения вторичной обмотки силового трансформатора, В; m – число фаз сети.

Максимальное значение тока через тиристоры НПЧ

$$I_{ф1макс} = k_1 \cdot I_{ф1}. \qquad (2)$$

Среднее значение тока через тиристор НПЧ:

$$I_{ср} = I_{ф1} / 2. \qquad (3)$$

Действующее значение тока вторичной обмотки силового трансформатора

$$I_{s2} = K_m \cdot I_{ф1} \sqrt{\frac{2 \cdot \left(1 + \frac{3\sqrt{3} \cdot \cos 2\varphi}{2 \cdot \pi}\right)}{p_{тр2}}}, \qquad (4)$$

где K_m – коэффициент выпрямления; $I_{ф1}$ – значение тока фазы вторичной обмотки силового трансформатора, А; φ – угол сдвига кривой тока нагрузки относительно кривой напряжения, эл. град.; $p_{тр2}$ – число вторичных обмоток силового трансформатора.

Максимальное значение напряжения на выходе НПЧ, исходя из представленной на рис. 2 векторной диаграммы:

$$U_{20} = \sqrt{\left(U_н + \Delta U_{ст} - U_с \cos\varphi\right)^2 + \left(U_с \sin\varphi\right)^2}, \qquad (5)$$

где $U_н$ – значение напряжения на нагрузке, В; $\Delta U_{ст}$ – значение падения напряжения на обмотке силового трансформатора, В; $U_с$ – значение максимального напряжения сети, В.

Максимальное значение напряжения на выходе вторичной обмотки силового трансформатора

$$U_{с2} = \frac{U_{20}}{K_{сх} \cdot \sqrt{1 + \frac{m}{2 \cdot \pi} \cdot \sin\frac{2 \cdot \pi}{m} \cdot \cos\alpha}}, \qquad (6)$$

где $K_{сх}$ – коэффициент схемы включения; m – число фаз выпрямления; α – угол регулирования НПЧ, эл. град.

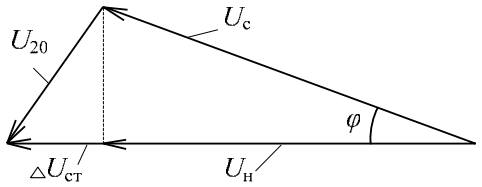


Рис. 2. Векторная диаграмма максимального значения напряжения U_{20} на выходе НПЧ

Таким образом, применение звена повышенной частоты позволяет уменьшить массогабаритные показатели компенсатора отклонений напряжения и реактивной мощности. При этом выбор рационального амплитудно-фазового управления преобразователями повышает качество электроэнергии для конкретных электроэнергетических объектов промышленности и транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головкин П. И. Энергосистема и потребители электрической энергии. – М.: Энергия, 1979, 368 с.
2. Кобзев А. В. Многозонная импульсная модуляция. – Новосибирск: Наука, 1979. – 304 с.
3. Климаш В. С. Трансформаторно-тиристорные преобразователи напряжения с импульсным, амплитудным и фазовым регулированием: Учебное пособие. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. техн. ун-т, 1998. – 62 с.
4. Климаш В.С. Вольтодобавочные устройства для компенсации отклонений напряжения и реактивной мощности с импульсным, амплитудным и фазным регулированием. ДВО РАН: Монография. – Владивосток: Дальнаука. ДВО РАН. 2002. – 141с.
5. Пат. 2138112 РФ, МКИ 6 H02M5/257, G05F1/455, G05F1/70. Стабилизатор трехфазного напряжения с однофазным звеном высокой частоты/ Климаш В.С. (Россия) - № 96101619/09; Заявлено 29.01.1996; Опубл. 20.09.1999.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.

УДК 621.331

В. Г. КУЗНЄЦОВ (ДІІТ)

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЗА НОРМОЮ ДЛЯ СТАЦІОНАРНИХ СПОЖИВАЧІВ НА ОСНОВНУ РОБОТУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Запропоновано регресійні залежності для визначення норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниць.

Предложены регрессионные зависимости для определения норм расхода электроэнергии для стационарных потребителей на основную работу железных дорог.

Regressive dependences are offered for determination of electric power consumption norms for stationary users to the basic operation of railways.

Узагальнюючими показниками ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів країни є питомі витрати первинної енергії на одиницю валового внутрішнього продукту країни (енергоємність ВВП).

На сьогодні енергоємність ВВП України складає 0,89 кг умовного палива на 1 долар США з урахуванням паритету реальної купівельної спроможності (ПКС), що у 2,6 разу перевищує середній рівень енергоємності розвинутих країн світу [6]. Причиною високої енергоємності є надмірне споживання в галузях економіки енергетичних продуктів на виробництво одиниці продукції, що обумовлює відповідне зростання імпорту вуглеводнів в Україну.

Висока енергоємність ВВП в Україні є наслідком суттєвого технологічного відставання у більшості галузей, впливу «тіньового» сектора та незадовільної галузевої структури національної економіки і, зокрема, імпортно-експортних операцій, що об'єктивно обмежує конкурентоспроможність національного виробництва і лягає важким тягарем на економіку – тим паче, за умов її зовнішньої енергетичної залежності. На відміну від розвинутих країн, де енергозбереження є елементом економічної та екологічної доцільності, для України це – питання виживання, оскільки досі не вирішено проблему збалансованого платоспроможного споживання як внутрішнього, так і щодо імпорту паливно-енергетичних ресурсів.

Низька енергоефективність стала одним з основних чинників кризових явищ в українській економіці. Дійсно, у структурі витрат на виробництво промислової продукції в першій половині 90-х рр. майже втричі зросла вартісна складова енергоресурсів у матеріальних витратах на цю продукцію, сягнувши 42 % їх загального обсягу.

Лише у результаті прийнятих на державному рівні зусиль в Україні, починаючи з 1997 р., розпочалися реальні зрушення, спрямовані на поліпшення ситуації, пов'язаної з енергоефективністю. Якщо енергоємність ВВП протягом 1990 – 1996 рр. зросла на 42 % і майже стабілізувалася у 1997–1999 рр., то з 2000 року спостерігалося її істотне зменшення, причому вперше в історії України зростання ВВП було досягнуто за одночасного скорочення споживання первинних паливно-енергетичних ресурсів.

Проте, слід зазначити, що, починаючи з 2002 року, темпи зниження енергоємності ВВП уповільнилися в зв'язку з тим, що в найбільш енергоємних галузях національної економіки, а саме, металургійній, машинобудівній, хімічній та нафтохімічній, а також у житлово-комунальній сфері динаміка зниження енергоємності валової доданої вартості зазнала негативних змін через погіршення технічного стану обладнання, яке за оцінкою експертів має ступінь фізичного зносу 65…70 %, і внаслідок цього підвищення питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів на деякі важливі види продукції зазначених галузей.

Фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії України. У цілому тут фокусуються проблеми як ефективності власне паливно-енергетичного комплексу, так і здатності останнього забезпечити ресурсами ефективне функціонування національної економіки.

У зв'язку з цим на даний час важливого значення набувають питання, пов'язані з впровадженням енергоефективних технологій та обладнання у всіх галузях національної економіки.

Економічно доцільний потенціал енергозбереження України у 2030 році визначено на рівні 65 % з урахуванням впливу технічного та структурного факторів енергозбереження на зниження обсягів енергоспоживання суб'єктами національної економіки відносно обсягів споживання паливно-енергетичних ресурсів у 2000 році, тобто, до 2030 року прогнозується збільшення обсягу виробництва ВВП у 2,7 разу, а споживання первинних енергоресурсів тільки на 35,8 % [6].

На даний час, основним фактором зниження енергоємності промислової продукції в усіх галузях національної економіки, є формування ефективно діючої системи державного управління сферою енергозбереження, наявність якої дасть змогу, в першу чергу, удосконалити структуру кінцевого споживання енергоресурсів, зокрема, за рахунок подальшого розширення та поглиблення електрифікації в усіх сферах економіки, що дозволить замістити дефіцитні види палива і підвищити продуктивність праці.

Основою державної політики енергозбереження в кожній галузі виробництва є система нормування витрат енергії. Відповідно до основних положень з нормування витрати палива, теплової та електричної енергії в народному господарстві [1] нормуванню підлягають всі витрати електричної енергії на основні і допоміжні виробничі та експлуатаційні потреби (опалення, вентиляція, освітлення, водозабезпечення та інше), включаючи втрати в мережі, незалежно від джерела електрозабезпечення.

Основним методом розробки норм витрати електричної енергії є розрахунково-аналітичний метод. Він передбачає визначення норм витрати електричної енергії розрахунковим методом по статтях витрати на основі прогресивних показників використання цих ресурсів у виробництві.

До норми витрати електроенергії на основний показник нормування для окремої залізниці та Укрзалізниці в цілому (загально-виробнича норма) входить витрата електроенергії на основні та допоміжні технологічні процеси; на допоміжні потреби виробництва (загально-виробничі цехові та деповські потреби, на освітлення, вентиляцію, опалювання та інше), а також технічно неминучі втрати енергії.

Нормування питомих витрат паливно-енергетичного ресурсів (ПЕР) в системі Мінтрансу Україні здійснюється відповідно до Закону України «Про енергозбереження», постанови Кабінету Міністрів України від 15 липня 1997 р. № 786 «Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві» і проводиться на всіх рівнях управління. Нормування питомих витрат ПЕР – це встановлення об'єктивно необхідної величини їх споживання на одиницю виробленої продукції, виконаних робіт або наданих послуг встановленої якості (далі – продукції) у конкретних умовах виробництва. Нормування питомих витрат ПЕР здійснюється з метою забезпечення раціонального їх використання і є основою економічного механізму енергозбереження. Воно використовується також для прогнозування обсягів споживання ПЕР на підприємствах, об'єднаннях, окремих галузях та в цілому по Мінтрансу.

Основним завданням нормування є встановлення об'єктивних показників енергоємності товарної продукції, посилення збалансованості та достовірності прогнозів, а також виявлення резервів та стимулювання підвищення ефективності виробництва. Нормуванню підлягають всі витрати ПЕР на основні та допоміжні виробничі процеси, включаючи втрати енергії, незалежно від обсягів споживання цих ресурсів та джерел енергопостачання.

До сьогоднішнього дня питомі норми витрат електроенергії для стаціонарних споживачів визначалися по [5]. Дані методичні вказівки, на думку автора статті, вже застаріли і не враховували багато структурних та технічних змін в стаціонарних споживачах. Так, наприклад, при нормуванні витрат електроенергії для пасажирської служби враховувалися лише вокзали і не враховувалися пасажирські вагонні депо, пункти технічного обслуговування.

При нормуванні витрат електроенергії для служби колії враховувалися лише дистанції колії і не враховувались колійно-машинні станції, заводи, рейкозварювальні потяги, дистанції лісонасаджень. Планування витрат електроенергії для служби комерційної роботи і маркетингу (М) здійснювалось лише за показниками роботи дезпромстанцій. Зовсім не було методики розрахунку витрати електроенергії для служби воєнізованої охорони. В даній статті зупинимося на плануванні витрат електроенергії на стаціонарні потреби залізниці і мережі залізниць.

У результаті досліджень фактичних витрат електроенергії стаціонарних споживачів за даними звітів ЕО-1 встановлено, що основними укрупненими чинниками, що впливають на витрати електроенергії на рівні мережі заліз-

ниць є сезонність електроспоживання, рівень технічної оснащеності та обсяг перевізної роботи залізниць. Характер сезонності споживання електроенергії залізницями зручно оцінювати за допомогою коефіцієнта сезонності, який чисельно рівний відношенню місячної витрати електроенергії залізниці до середньорічної витрати електроенергії. Технічна оснащеність враховується коефіцієнтом технічної оснащеності [5].

Витрати електроенергії за нормою для стаціонарних споживачів мережі залізниць (Укрзалізниці) можуть бути визначені за формулою

$$W_{\text{с}} = \omega_{\text{с}} n_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{n_d} W_{di} , \qquad (1)$$

де $\omega_{\text{с}}$ – норма витрати електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниць, кВт г/10^4 т·км брутто; $n_{\text{ср}}$ – річний обсяг основної роботи залізниць, 10^4 т·км брутто; n_d – кількість залізниць; W_{di} – витрата електроенергії за нормою для стаціонарних споживачів на основну роботу *i*-ї залізниці, кВт·г/рік.

Запропоновано визначати норму витрати енергії для стаціонарних споживачів на основну роботу Укрзалізниці за формулою (2), яка отримана шляхом регресійного аналізу під час дослідження фактичних даних про електроспоживання залізниць по звітам ЕО-1.

$$\omega_{\text{с}} = k_{\text{мс}} k_{\text{сс}} \left(37{,}261 - 3{,}515 \cdot 10^{-7} n_{\text{ср}}\right) = \frac{\sum_{i=1}^{n_d} W_{di}}{n_{\text{ср}}}, \qquad (2)$$

де $k_{\text{мс}}$ – коефіцієнт, який враховує вплив технічної оснащеності залізниць на питому витрату електроенергії; $k_{\text{сс}}$ – коефіцієнт сезонності (для загальнорічної норми $k_{\text{сс}} = 1{,}0$).

На рисунку наведено графік зміни коефіцієнта сезонності $k_{\text{сс}}$ для Укрзалізниці (отриманий шляхом аналізу даних про електроспоживання залізниць України на стаціонарні потреби за 2000–2005 рр.). Значення цього коефіцієнта залежить від місяця, на який планується витрата електроенергії.

Витрата електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниці,

$$W_d = \omega_d n_{d\text{р}} = \sum_{j=1}^{n_c} W_{\text{с}j} , \qquad (3)$$

де ω_d – норма витрати електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниці в цілому, кВт г/10^4 т·км брутто; $n_{d\text{р}}$ – річний обсяг перевізної роботи залізниці, 10^4 т·км брутто; $n_{\text{с}}$ – кількість споживачів-учасників виконання основної (перевізної) роботи залізниці; $W_{\text{с}j}$ – річна витрата електроенергії за нормою для *j*-го споживача залізниці – учасника виконання основної роботи залізниці, кВт год.

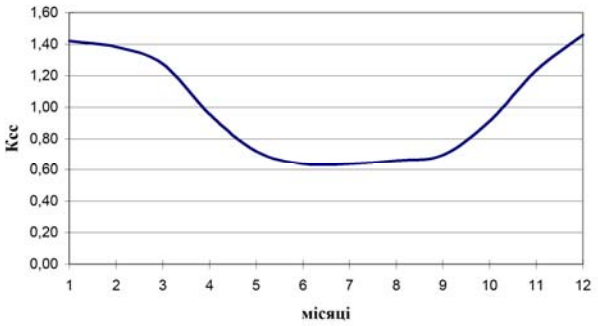


Рис. Коефіцієнт сезонності $k_{\text{сс}}$ для Укрзалізниці в цілому

Норму витрати електроенергії для стаціонарних споживачів на основну роботу залізниці в цілому, кВт г/10^4 т·км брутто, запропоновано визначати за наступною формулою

$$\omega_d = k_{\text{м}d} k_{\text{с}d} k_{\text{з}d} \left(A_d - B_d \cdot n_{d\text{р}}\right) = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{с}}} W_{\text{с}j}}{n_{d\text{р}}}, \qquad (4)$$

де $k_{\text{м}d}$ – коефіцієнт, який враховує вплив рівня технічної оснащеності всіх об'єктів, які входять до складу залізниці на зміну питомої витрати електроенергії; $k_{\text{с}d}$ – коефіцієнт сезонності, значення якого визначають з табл. 1 (значення коефіцієнтів отримані при аналізі витрати електроенергії на стаціонарні потреби залізниць за 2001–2005 рр.); $k_{\text{з}d}$ – коефіцієнт, який враховує вплив температури зовнішнього повітря на зміни питомої витрати електроенергії [5]; A_d та B_d – коефіцієнти, що відповідають конкретній залізниці (табл. 2).

Таблиця 1

Значення коефіцієнтів k_{cd} для залізниць України

Місяць	Залізниця					
	Придніпровська	Донецька	Південна	Південно-Західна	Одеська	Львівська
Січень	1,42	1,44	1,44	1,45	1,4	1,35
Лютий	1,45	1,37	1,18	1,46	1,42	1,37
Березень	1,41	1,2	1,12	1,33	1,3	1,25
Квітень	0,94	0,95	0,89	0,98	0,99	1,01
Травень	0,68	0,76	0,73	0,66	0,74	0,79
Червень	0,59	0,62	0,67	0,61	0,67	0,74
Липень	0,62	0,64	0,66	0,59	0,66	0,7
Серпень	0,64	0,66	0,67	0,63	0,69	0,71
Вересень	0,66	0,7	0,76	0,65	0,72	0,71
Жовтень	0,91	0,99	0,96	0,85	0,85	0,88
Листопад	1,25	1,22	1,25	1,28	1,2	1,17
Грудень	1,43	1,44	1,68	1,5	1,37	1,33

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів A_d та B_d

Найменування залізниці	Значення коефіцієнтів	
	A_d	B_d
Придніпровська	34,773	$1,371 \cdot 10^{-6}$
Донецька	39,747	$1,310 \cdot 10^{-6}$
Південно-Західна	35,552	$1,961 \cdot 10^{-6}$
Південна	49,824	$4,832 \cdot 10^{-6}$
Львівська	38,793	$3,670 \cdot 10^{-6}$
Одеська	30,614	$1,432 \cdot 10^{-6}$

Висновки

1. Досліджено вплив на витрату електроенергії для стаціонарних споживачів на рівні залізниці та Укрзалізниці різних чинників – сезонності, технічної оснащеності і обсягу перевізної роботи.

2. Складені регресійні рівняння для визначення норм питомих витрат електроенергії для залізниць і Укрзалізниці.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Основные положения по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве. – М.: Атомиздат, 1980. – 16 с.
2. Поплавский А. Н. Рациональное использование электроэнергии в деповском хозяйстве. – Электрическая и тепловая тяга, 1980, – № 9, – С. 29–31.
3. Поплавский А. Н, Электроэнергетика предприятий железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1981. – 267 с.
4. Номенклатура витрат по основній діяльності залізниць України. – К.: Транспорт України, 1996. – 134 с.
5. Методичні вказівки щодо визначення норм витрати електроенергії для стаціонарних споживачів залізниць / Міністерство транспорту України. – К., 1997. – 68 с.
6. http://www.necin.gov.ua/index.htm. Матеріали офіційного сайту Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів.

Надійшла до редколегії 27.06.2006.

УДК 681.3.06

А. А. МАТУСЕВИЧ (ДИИТ)

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Запропоновано модель захисту інформації телемеханічних комплексів керування пристроями електропостачання залізниць. Обрано раціональний варіант побудови системи захисту інформації.

Предложена модель защиты информации телемеханических комплексов управления устройствами электроснабжения железных дорог. Выбран рациональный вариант создания системы защиты информации.

A model of protecting the information of telecontrol complexes for operating railway power supply devices has been offered and a rational option of creating the system of information protection has been selected.

Четкая организации перевозного процесса на железных дорогах предъявляет повышенные требования к системам автоматики и телемеханики управления устройствами электроснабжения. Основными определяющими требованиями являются: обеспечение безопасности движения, непрерывное электроснабжение, надежность устройств и систем управления, обеспечение высоких скоростей движения. Для автоматизации управления устройствами электроснабжения железных дорог Украины сегодня применяются в основном старые системы телемеханики, созданные в 60–70 гг. прошлого столетия.

В последние пять лет на отдельных участках электрифицированных железных дорог Украины начали применять современные информационно-управляющие телемеханические комплексы (ИУТК). За базовую в Украине принята интегрированная система управления устройствами электроснабжения «Гранит-микро», которая построена на новой технологической основе и современных технологических средствах. Система обеспечивает не только автоматизацию управления технологическим процессом, но и позволяет решить вопросы организационно-экономического управления, диагностики оборудования тяговых подстанций, анализа информации и формирования энергооптимальных управляющих решений. Системные и схемные решения «Гранит-микро» защищены 20 патентами [3; 4].

Современные ИУТК, в том числе «Гранит-микро», строятся по принципам SCADA systems (Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерских систем с супервизорным управлением при сборе данных. Аппаратные и программные средства ИУТК образуют автоматизированный оперативно-информационный комплекс (АОИК) со вставками для реализации автоматизированных рабочих мест диспетчера (АРМ-Д) и обслуживающего персонала (АРМ-ОП). Обрабатывающий центр (ОЦ) ЦППС выполняется на ПЭВМ [5]. Следовательно, в такой автоматизированной системе управления (АСУ) формируется информационная система (ИС), которая должна быть защищена от случайных или преднамеренных воздействий [1; 2].

Система информационной безопасности должна представлять собой регулярный процесс, осуществляемый на всех этапах жизненного цикла информационной системы. При построении такой системы необходимо объединить все средства, методы и мероприятия, используемые для защиты информации, в единый целостный механизм – систему защиты информации (СЗИ) [6–8].

Однако необходимость системного подхода к вопросам обеспечения безопасности информационных технологий современных ИС пока еще не находит должной поддержки и понимания со стороны руководства железных дорог. В настоящее время нет руководящих документов и методических указаний по созданию СЗИ, а также методик по организации проведения комплексных мероприятий защиты информации в автоматизированных системах управления устройствами электроснабжения железных дорог Украины [3; 11; 12].

Сегодня специалисты из самых разных областей знаний занимаются вопросами обеспечения информационной безопасности. Это обусловлено тем, что мы живем в обществе (среде) информационных технологий, куда переходят все социальные проблемы человечества, в том числе и вопросы информационной безопасности. Каждый из указанных специалистов по-

своему решает задачу обеспечения информационной безопасности и применяет свои способы и методы для достижения заданных целей и каждый из них в своем конкретном случае находит свои совершенно правильные решения. Но, как показывает практика, совокупность таких правильных решений не дает в сумме положительного результата – система безопасности в общем и целом работает неэффективно. Такое положение дел обусловлено отсутствием системного подхода, который определил бы взаимные связи (отношения) между существующими понятиями, определениями, принципами, способами и механизмами защиты. Все сказанное касается и проблем защиты информации в АСУ электроснабжения железных дорог Украины при применении современных ИУТК.

Система защиты информации лишь тогда станет системой, когда будут установлены логические связи между всеми ее составляющими. Следовательно, для обеспечения информационной безопасности и надежности аппаратуры информационно-управляющих телемеханических комплексов электроснабжения железных дорог необходимо создавать модель СЗИ. Существует многообразие вариантов построения информационных систем и каждая из них порождает необходимость создания различных систем защиты, учитывающих индивидуальные особенности каждой из них. В то же время, большой объем имеющихся публикаций не позволяет сформировать четкое представление о том как же приступить к созданию системы защиты информации для конкретной информационной системы, с учетом присущих ей особенностей и условий функционирования.

Практическая задача обеспечения информационной безопасности и надежности аппаратуры ИУТК состоит в разработке модели представления системы (процессов) информационной безопасности (ИБ), которая на основе научно-методического аппарата, позволяла бы решать задачи создания, использования и оценки эффективности СЗИ для проектируемых и существующих ИС ИУТК управления устройствами электроснабжения железных дорог.

Из анализа существующего многообразия вариантов построения моделей СЗИ (международные, европейские, американские, украинские, российские стандарты), основной задачей модели является научное обеспечение процесса создания системы информационной безопасности за счет правильной оценки эффективности принимаемых решений и выбора рационального варианта технической реализации системы защиты информации [2; 9; 10]. Исходя из вышеизложенного, упрощенный вид создаваемой модели системы информационной безопасности (СИБ) ИУТК может иметь вид, представленный на рис. 1.

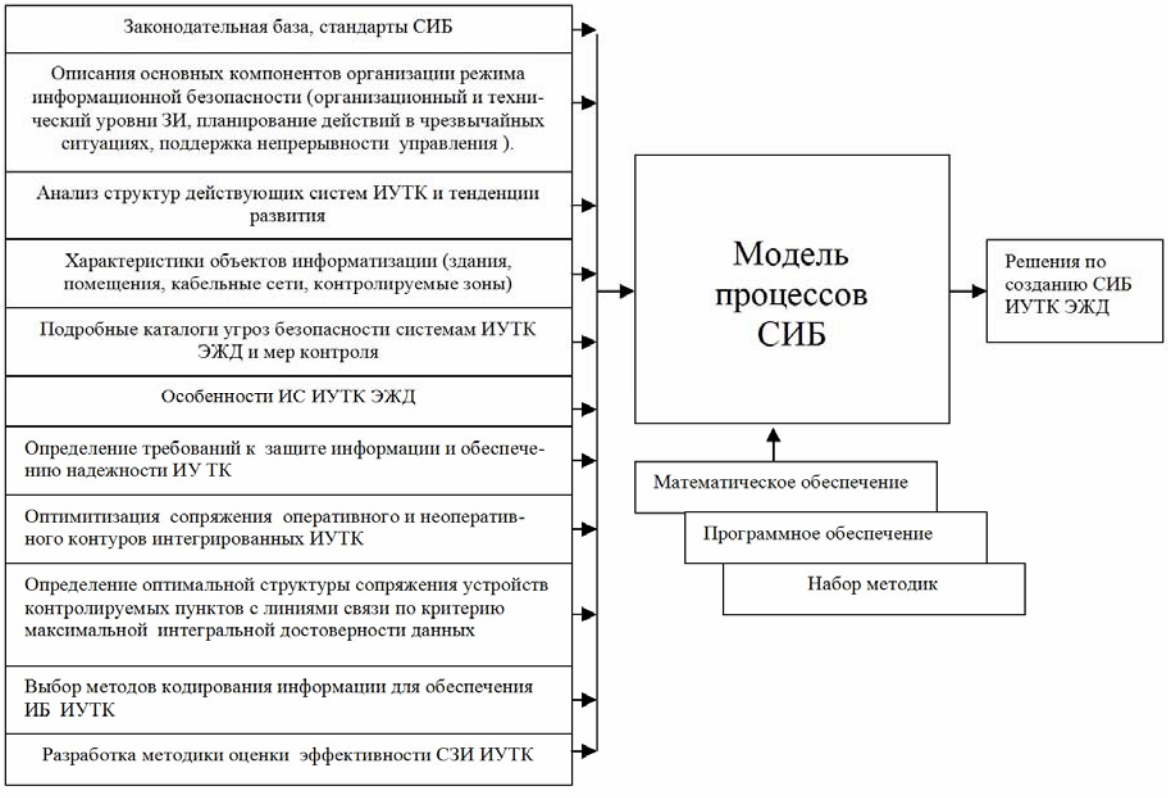


Рис. 1. Упрощенный вид модели СИБ ИУТК

Предлагаемая модель может использоваться для разработки методических указаний по созданию СИБ ИУТК, а также методик оценки ИБ и надежности ИУТК, создания модели для проведения исследований.

Для решения этой задачи модель должна обладать следующими свойствами: функционировать в условиях высокой неопределенности исходной информации; простота использования, универсальность, комплексность, наглядность, практическая направленность, возможность наращивания знаний. Возможности модели должны позволять: оперативно реагировать на изменения условий функционирования ИУТК и задавать различные уровни защиты; контролировать состояние СИБ ИУТК; объединить усилия различных специалистов единым замыслом; установить взаимосвязь между показателями СИБ и надежности ИУТК; применять различные методики оценок СИБ и надежности ИУТК управления устройствами электроснабжения ж. д.

Формирование имитационной модели для исследования различных систем дискретных параллельных асинхронных процессов разрабатываются на основе различных подходов. Наиболее распространенными являются системы и сети массового обслуживания (СМО), в последнее время виден рост интереса к таким моделям и методам: стохастические автоматы, сети Мерлина, стохастические сети Петри, семантические схемы (с позиций структурной иерархии, функциональной иерархии, причинно-следственной иерархии) и т. д. В последнее время появились публикации построения различных имитационных моделей на основе матриц знаний.

Этот метод отличается своей наглядностью и дает возможность: оперативно реагировать на изменения условий функционирования ИС; задавать различные уровни защиты; регулировать взаимные связи между элементами защиты; применять существующие программы автоматизации создания СЗИ и разрабатывать новые.

Для применение этого метода необходимо охватить все основные аспекты СЗИ, а это возможно только при рассмотрении проблемы с разных сторон (объемное построение системы информационной безопасности), в этом случае человек получает наиболее полное представление об интересующем его явлении.

В этом направлении проведенный анализ существующих методик (последовательностей) работ по созданию СЗИ позволяет выделить три группы составляющих модели [6; 8; 12].

Первая группа – основные методы создания СЗИ: организационные; технические; программные.

Вторая группа – направления создания СЗИ: защита диспетчерских (ДП) и контролируемых пунктов (КП) как объектов ИС; защита каналов связи; повышение надежности ИУТК; защита автоматизированного оперативно-информационного комплекса (АОИК) ПУ и ПЭВМ КП; защита ИС ИУТК от силовых воздействий и подавление побочных ЭМИ.

Третья группа – последовательность (этапы) создания СЗИ: определение информации, подлежащей защите, и предполагаемых отказов аппаратуры ИУТК; выявление угроз и каналов утечки информации, обнаружение факта отказа аппаратуры; оценка угроз и рисков для информационных ресурсов (информации); определение требований к СЗИ; выбор способа и средств защиты аппаратуры и информации; применение выбранных мер, способов и средств защиты; контроль целостности СЗИ, управление защитой. Если рассмотреть составляющие модели второй группы, то каждое направление создания СЗИ базируется на составляющих первой группы модели. К примеру, направление под названием «Защита каналов связи» необходимо рассматривать по всем методам создания СЗИ, а именно: организационные методы защиты каналов связи; технические и программные методы защиты каналов связи.

Аналогично можно рассматривать остальные направления по всем методам создания СЗИ.

Следовательно, для формирования общего представления о конкретной системе защиты необходимо ответить минимально на

$$K = M_i \cdot N_j$$

самых простых вопросов. Здесь M_i – количество составляющих первой группы; N_j – количество составляющих второй группы. В нашем случае $M_i = 3$, $N_j = 5$, следовательно,

$$K = 3 \cdot 5 = 15 .$$

Однако в разрабатываемой модели СЗИ необходимо рассмотреть также последовательность (этапы) создания СЗИ – третья группа составляющих модели. Составляющие этой группы необходимо реализовать в равной степени для каждого в отдельности метода создания СЗИ с учетом второй группы составляющих модели.

Таким образом, количество рассматриваемых вопросов может быть определено из соотношения

$$K = M_i \cdot N_j \cdot P_k , \qquad (1)$$

где P_k – количество составляющих третьей группы. Следовательно, при $M_i = 3$, $N_j = 5$, $P_k = 7$

$$K = 3 \cdot 5 \cdot 7 = 105 \qquad (2)$$

Из анализа существующих методик по созданию СЗИ, рассматриваемые вопросы можно представить в виде элементов матрицы (рис. 2.) [8].

<<< Последовательность	Направления >>>	010 Защита объектов ИС			020 Защита каналов связи			030 Защита ПВЭМ и программ			040 Защита от СВ и ЭМИ			050 Повышение надежности		
	Методы >>>	Организационные	Технические	Программные	Организационные	Технические	Программные	Организационные	Технические	Программные	Организационные	Технические	Программные	Организационные	Технические	Программные
		011	012	013	021	022	023	031	032	033	041	042	043	051	052	053
100	Определение информации, подлежащей защите	111	112	113	121	122	123	131	132	133	141	142	143	151	152	153
200	Выявление угроз и каналов утечки инф., отказа аппарат.	211	212	213	221	222	223	231	232	233	241	242	243	251	252	253
300	Оценка уязвимости, факт. отказа аппаратуры и рисков	311	312	313	321	322	323	331	332	333	341	342	343	351	352	353
400	Определение требований к СЗИ	411	412	413	421	422	423	431	432	433	441	442	443	451	452	453
500	Выбор способов и средств защиты аппар. и информац.	511	512	513	521	522	523	531	532	533	541	542	543	551	552	553
600	Внедрение и использование выбранных способов и средств	611	612	613	621	622	623	631	632	633	641	642	643	651	652	653
700	Контроль полноты и управление защитой	711	712	713	721	722	723	731	732	733	741	742	743	751	752	753

Рис. 2. Матрица взаимосвязи составляющих создаваемой СЗИ

В нашем случае общее количество элементов матрицы равно 105. Элементы матрицы имеют соответствующую нумерацию. Знакоместо (X00) – соответствует номерам составляющих третьей группы, знакоместо (0X0) – соответствует номерам составляющих второй группы, знакоместо (00X) – соответствует номерам составляющих первой группы.

Информация каждого элемента матрицы описывает взаимосвязь составляющих модели СЗИ. Круг вопросов создания СЗИ, оценки ее возможности рассматриваются путем анализа различных групп элементов матрицы в зависимости от поставленных целей и решаемых задач. Например, рассматривая элементы матрицы 111–711, 121–721, 131–731, 141–741, 151–751, можно отдельно оценить качество нормативной базы организационных мероприятий, создаваемой (созданной) СИБ. Рассматривая элементы 211–253, можно оценить качество мероприятий по выявлению угроз и каналов утечки информации. Рассматривая элементы 131–733, можно оценить защищенность ПЭВМ, процессов и программ и т. д. Можно рассматривать также содержание информации в отдельных элементах матрицы.

Для описания каждого элемента матрицы создан перечень вопросов и проведены необходимые математические расчеты, а для сложных элементов дополнительно созданы свои матрицы знаний. Чтобы оценить защищенность существующей СИБ и в случае определения требований для разработки новой системы необходимо проводить оценку защищенности ИУТК по всем направлениям.

Для автоматизации процессов создания и оценки процессов СЗИ можно использовать программу «Протект» (рис. 3.) [8]. Автором статьи разработана программа оценки эффективности СЗИ в виде таблиц Excel.



Рис. 3. Интерфейс ввода данных

Выводы

Предложенная модель СЗИ позволяет оперативно реагировать на изменения условий функционирования ИУТК и задавать различные уровни защиты, регулировать взаимные связи между элементами защиты, а также может выступать в роли руководства по созданию СЗИ.

На базе модели возможно проводить оценку эффективности принимаемых решений и выбрать рациональный вариант технической реализации системы защиты информации ИУТК управления устройствами электроснабжения железных дорог.

Модель может использоваться для разработки методических указаний по созданию СИБ ИУТК, а также методик оценки ИБ и надежности ИУТК, создания модели для проведения исследований. Данным вопросам будут посвящены следующие статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про захист інформації в автоматизованих системах».
2. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ Захист інформації. ДСТУ 3396.0-96.
3. Корниенко В. В. Электрификация железных дорог. Аналитический обзор / В. В. Корниенко, А. В. Котельников, В. Т. Доманский. – К.: Транспорт Украины, 2004. – 195 с.
4. Портнов М. Л. Современные средства телемеханики, организация рабочих мест и щитов управления: Доклад на пятом специализированном семинаре – выставке. – М., 2004.
5. Информационный материал по проектированию применению информационно-управляющего телемеханического комплекса «Гранит-микро» (товарный знак МИКРОГРАНИТ). Редакция 5, 2004 г. Научный руководитель СНПП «Промэкс», канд. техн. наук Портнов М. Л. – 93 с.
6. Хорошко В. А. Методы и средства защиты информации / В. А. Хорошко, А. А. Чекатков. – К.: Юниор, 2003. – 501 с.
7. Security Architecture for Open Systems Interconnection for CCITT Applications. Recommendation X.800. – CCITT, Geneva, 1991.
8. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. – М., DiaSoft, 2004. – 975 с.
9. http://www.intuit.ru. Интернет университет информационных технологий. Стан охорони державної таємниці та технічного захисту інформації в Україні.
10. http://www.intuit.ru. Интернет университет информационных технологий. Методические основы защиты информационных активов компании. Сергей Петренко.
11. Матусевич А. А. Повышение информационной безопасности и достоверности данных систем управления устройствами электроснабжения железных дорог: Доклад на 65 Международной НПК / А. А. Матусевич, М. Л. Портнов. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д, трансп. им. акад. В. Лазаряна. 2005.
12. Матусевич А. А. Основные направления и методы защиты аппаратуры автоматики и телемеханики железных дорог от внутренних и внешних воздействий: Доклад на третьем Международном симпозиуме eltrans 2005 ПГУПС, Санкт-Петербург, 2005.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

УДК 621.3.01

Т. Н. МИЩЕНКО (ДИИТ)

НЕКОТОРЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЕ ОТ ТОКОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК СИЛОВОЙ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ЭЛЕКТРОВОЗА ДЭ 1

На основі результатів теоретичних досліджень запропоновано збільшити індуктивність шунтувальної вітки двигунів, а також застосовувати її відключення перед відновленням напруги на пантографі в режимі «зняття–відновлення».

На основе результатов теоретических исследований предложено увеличить индуктивность шунтирующей ветви двигателей, а также применять ее отключение перед восстановлением напряжения на пантографе в режиме «снятие–восстановление».

On the basis of theoretical research, it is offered to increase inductance of the shunting branch of tractive motor and also to use its switching-off before restoration of voltage on the current collector in the «removal–restoration» mode.

Согласно предыдущим нашим исследованиям [1], в аварийном режиме «отключение–восстановление» напряжения U на токоприемнике электровоза ДЭ 1 в его силовых цепях возникают броски токов, максимальные значения которых достигают опасных по коммутационной устойчивости величин. В частности, в режимах параллельного соединения тяговых двигателей при ОВ-4, индуктивности индуктивных шунтов $L_{\text{ш}} = 4 \cdot 10^{-3}$ Гн, времени снятия напряжения $t_{\text{сн}} = 1{,}5$ с и величине восстанавливаемого напряжения $U_{\text{ном}} = 3000$ В максимальные значения токов составляют (рис. 1): в обмотке якоря $I_{\text{я. max}} = 2536{,}9$ А, в обмотке возбуждения $I_{\text{в. max}} = 1884$ А, в шунтирующей ветви $I_{\text{ш. max}} = 1482$ А.

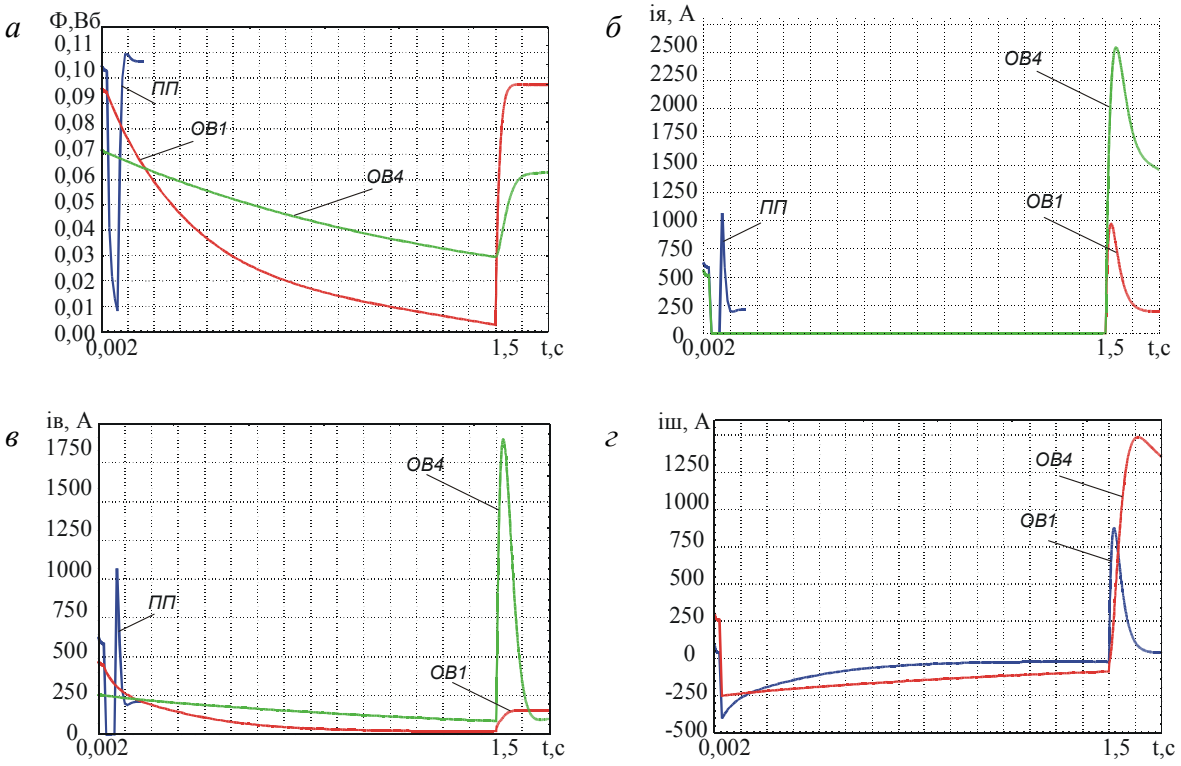


Рис. 1. Временные зависимости изменения переходных магнитного потока при различных степенях ослабления магнитного поля (*а*), тока якоря (*б*), тока обмотки возбуждения ОВ 4 (*в*), ток в шунтирующей ветви (*г*) при номинальном напряжении на токоприемнике и начальном токе якоря

Защита силовых тяговых цепей от токовых перегрузок осуществляется быстродействующим выключателем с током установки $I_{уст} = 2500$ А и собственным временем срабатывания $t_{срб} = 15$ мс. Одновременно согласно рис. 1, *б*, в наиболее неблагоприятном режиме работы время нарастания $t_{нрс}$ переходного тока якоря (электровоза) $i_я(t)$ составляет приблизительно 10 мс. Тогда за суммарное время 25 мс переходной ток $i_я(t)$ может достичь опасных значений.

Пространственные зависимости, в частности, амплитуды броска тока якоря $I_{я.\max}$ в функции от напряжения на токоприемнике U, ослабления возбуждения главных полюсов ОВ, начального тока $I_{нач}$ и времени снятия $t_{сн}$ напряжения приведены на рис. 2.

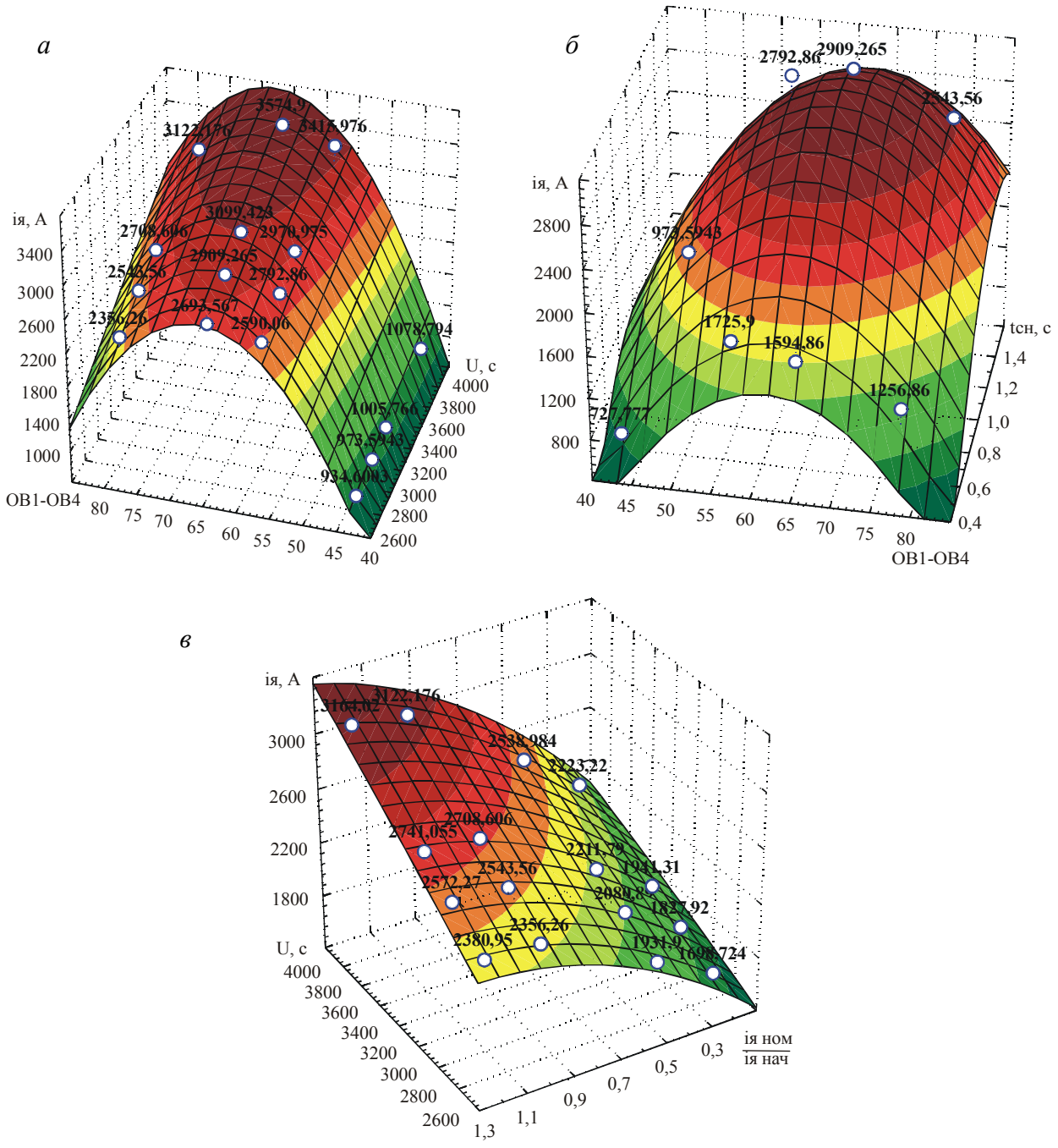


Рис. 2. Пространственные зависимости амплитуды броска тока якоря в функции:
а – от напряжения на токоприемнике, ослабления возбуждения главных полюсов ОВ-4; *б* – от ослабления возбуждения главных полюсов ОВ-4, а также времени снятия напряжения; *в* – от напряжения на токоприемнике, кратности начальных условий по току якоря

Большие значения амплитуд токов, в частности, $I_{я.max}$ обусловлены, по нашему мнению, недостаточной индуктивностью $L_ш$ работающих на электровозах индуктивных шунтов типа ИШ-87 Д: величина $L_ш$ составляет всего лишь $4 \cdot 10^{-3}$ Гн на последовательно соединенные обмотки возбуждения двух тяговых двигателей. Значение $L_ш$ должно быть увеличено, по меньшей мере, в 2…2,5 раза. Действительно, согласно рис. 3, при $L_ш = 8 \cdot 10^{-3}$ Гн максимальное значение тока якоря электровоза снижается до 1750 А $= 3{,}1 I_{ном}$, т. е. до значения, не опасного для тягового двигателя (т. к. круговой огонь по коллектору двигателя возможен при $4 I_{ном}$ [2]).

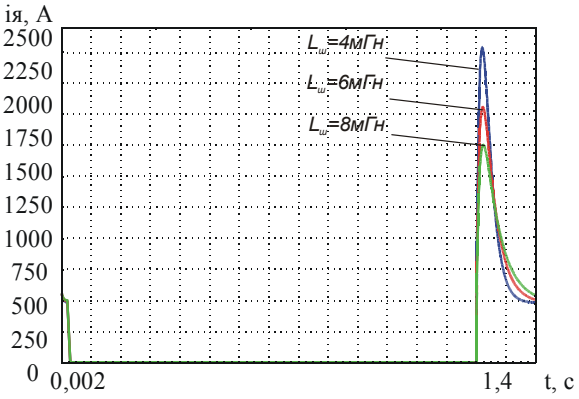
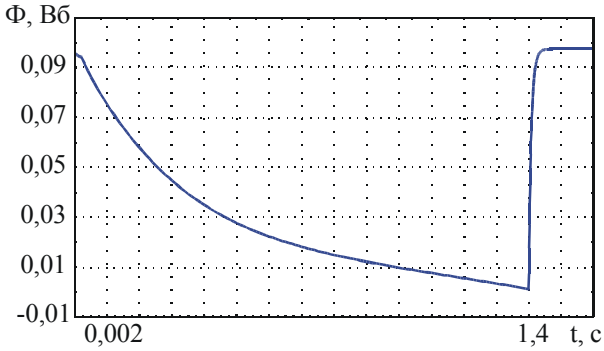


Рис. 3. Временные зависимости изменения переходных токов якоря при различных индуктивностях шунтирующей ветви

Кроме этого, эффективной мерой защиты тяговых двигателей в режиме ослабления возбуждения, обеспечиваемого шунтирующей ветвью с малой индуктивностью, является также перевод работы тяговых двигателей на полное поле перед аварийным режимом. Для этого в период снятия напряжения шунтирующая ветвь отключается от обмоток возбуждения двигателей и снова подключается к ним только после окончания переходного процесса, обусловленного восстановлением напряжения U на токоприемнике. Практически это означает, что восстановление U происходит на полном поле, так как за время переходного процесса, обусловленного восстановлением U, магнитный поток быстро восстанавливается до начального установившегося значения рис. 6, *а*. Как показывают численные расчеты по математическим моделям максимальное значение броска тока обмоток возбуждения якоря в этом случае не превышает номинального значения (рис. 6, *б*).

а



б

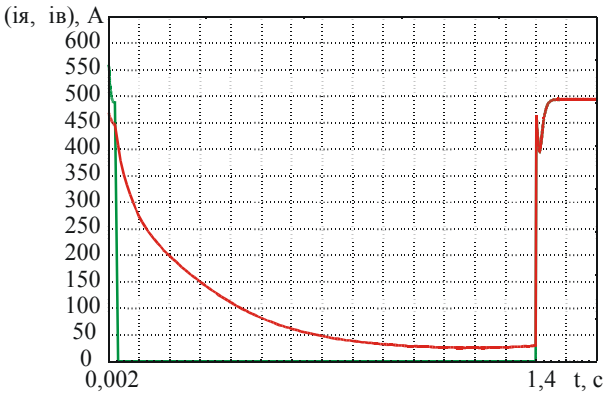


Рис. 4. Временные зависимости изменения переходных магнитного потока, токов якоря и обмотки возбуждения при переводе работы тяговых двигателей на полное поле перед аварийным режимом с ОВ-4

В заключение также подчеркнем, что результаты теоретических исследований показывают, что рассмотренное отключение шунтирующей ветви необходимо осуществлять только при длительном снятии напряжения. При $t_{сн} < 0{,}1$ с магнитный поток уменьшается не более чем на 18…20 %, затем быстро восстанавливается и амплитуда броска тока якоря не превышает 1000 А ($1{,}44 I_{ном}$), а обмотки возбуждения – 500 А.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Т. М. Міщенко Перехідні електромагнітні процеси при внутрішньому короткому замиканні в силових колах електровоза ДЕ 1 / Т. М. Міщенко, М. О. Костін // Електротехніка і електроенергетика. – 2005. – № 2 – С. 64–69.
2. Клейменов В.В. Исследование переходных процессов в цепи тяговых электродвигателей магистральных электровозов / В. В. Клейменов , П. А. Золотарев , А. Г. Назикян // Электровозостроение. Т. 8, 1964, – С. 35–37.

Поступила в редколлегию 04.07.2006.

УДК 621.313.333

О. И. САБЛИН (ДИИТ)

СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА – СИСТЕМА НЕПОСТОЯННОГО ТОКА

Розглядається необхідність використання коефіцієнта потужності електрорухомого складу постійного струму, як енергетичної характеристики системи тяги постійного струму. Як приклад аналізуються результати розрахунку величини λ електровоза ДЕ1 у тяговому режимі.

Рассматривается необходимость использования коэффициента мощности электроподвижного состава постоянного тока, как энергетической характеристики системы тяги постоянного тока. В качестве примера анализируются результаты расчета величины λ электровоза ДЭ1 в тяговом режиме.

The work examines the need of using the power ratio of d.c. electric rolling-stock as a power characterictic of d.c. traction system. As an example, the results of calculation of the λ value of DE1 electric locomotive in the tractive mode are analysed.

На сегодняшний день около 46 % электрических железных дорог Украины электрифицированы по системе электрической тяги постоянного тока с номинальным напряжением 3000 В. Соответственно и эксплуатирующийся на них магистральный электроподвижной состав (ЭПС) принято считать ЭПС постоянного тока.

Однако силовые электрические цепи ЭПС постоянного тока, имея свое название лишь по роду питающего напряжения (постоянного), фактически являются нелинейными цепями переменного тока, так как традиционно не учитывается тот факт, что реальный тяговый ток $I(t)$, потребляемый из сети, является резко переменным во времени. Кроме этого, и напряжение на токоприемнике $U(t)$ по роду постоянное, фактически таким не остается, а подвержено значительным колебаниям.

Например, как показали исследования, напряжение на токоприемнике электровозов ДЭ1, эксплуатирующихся на Приднепровской железной дороге, изменяется в пределах 2 130…4 100 В. Такие изменения тока и напряжения во времени носят непериодический случайный характер и зависят от многих факторов, основные из которых: масса поезда, изменение профиля пути, необходимая скорость движения и др.

На рис. 1 для примера приведены экспериментально полученные временные диаграммы изменения величин $U(t)$ и $I(t)$ первого украинского магистрального электровоза ДЭ1 при его эксплуатации на одном из участков Приднепровской железной дороги.

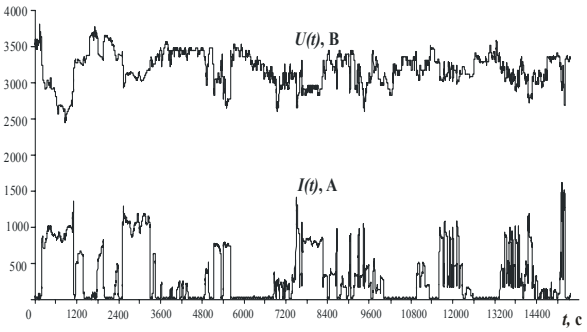


Рис. 1. Временная диаграмма изменения тягового тока и напряжения на токоприемнике электровоза ДЭ1

С учетом изложенного и с точки зрения систем электроснабжения любая единица ЭПС постоянного тока является нелинейной случайно-параметрической нагрузкой, технологически искажающей формы напряжения на токоприемнике и тягового тока. При этом традиционно, до настоящего времени считается, что в таких системах реактивная мощность отсутствует, понятие коэффициента мощности к ним не используется, и поэтому электропотребление определяют лишь по расходу активной энергии. Ошибочность таких подходов, по нашему мнению, связана с тем, что не учитываются упомянутые выше и фактически существующие непрерывные изменения постоянных тягового тока $I(t)$ и питающего напряжения $U(t)$.

В связи с вышесказанным необходимо: во-первых, обратить внимание на то, что системы электрического транспорта постоянного тока по своей сущности являются системами переменного тока, и поэтому требуют энергетического анализа с позиций теории цепей переменного тока; во-вторых, ввести понятие коэф-

фициента мощности применительно к ЭПС постоянного тока и показать наличие неактивной составляющей мощности в рассматриваемых системах.

Общеизвестно, что коэффициент мощности является важнейшей энергетической характеристикой любой электротехнической (электромеханической) системы потребления электроэнергии. Он определяет влияние этой системы или устройства на эффективность транспортирования электроэнергии системой электроснабжения или степень использования энергии источника потребителем. В практических задачах коэффициент мощности всегда определяют, во-первых, для систем с переменными токами, во-вторых, для установившегося режима их работы.

Не проводя детального исследования характера и поведения случайных функций тягового тока $I(t)$ и напряжения на токоприемнике $U(t)$ (частот, входящих в спектры $I(t)$ и $U(t)$), а лишь учитывая сам факт переменности $I(t)$ и $U(t)$, можно рассчитать и проанализировать величину коэффициента мощности электроподвижного состава постоянного тока. Для этого в данной работе были использованы статистические данные по изменению тягового тока и напряжения на токоприемнике электровоза постоянного тока ДЭ1 в его режимах работы на трех участках Приднепровской железной дороги.

Запись значений тока и соответствующего ему напряжения на токоприемнике была осуществлена непосредственно с дисплеев бортовых компьютеров работающих электровозов, данные фиксировались через каждые 5 секунд. Обработке подверглись 40 реализаций тягового тока $I(t)$ и соответствующего ему напряжения на токоприемнике $U(t)$, зарегистрированные в сорока поездках. Для каждой поездки (режима роботы) коэффициент мощности определялся отдельно.

Как известно [1], а также согласно ДСТУ 2843-94 и ДСТУ 3120-95, для электрических цепей с детерминированными периодическими несинусоидальными электрическими величинами $u(t)$ и $i(t)$ коэффициент мощности λ устройства (системы) в общем случае определяют как отношение активной мощности P, потребляемой устройством в рассматриваемом режиме, к его полной мощности S

$$\lambda = \frac{P}{S}, \qquad (1)$$

где в общем случае активную мощность P определяют как среднее значение мгновенной мощности $p(t)$

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)i(t)\,dt. \qquad (2)$$

В случае, если же ток и напряжение заданы рядами Фурье, то P определяют как сумму активных мощностей всех гармоник рядов Фурье величин $u(t)$ и $i(t)$

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} U^{(k)} I^{(k)} \cos\varphi^{(k)}, \qquad (3)$$

а полную мощность S как

$$S = UI, \qquad (4)$$

где действующие значения U и I периодических несинусоидальных величин, соответственно $u(t)$ и $i(t)$, в общем случае находят как среднеквадратические за период от мгновенных функций напряжения и тока

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2(t)\,dt}, \qquad (5)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i^2(t)\,dt}. \qquad (6)$$

Аналогично, если ток и напряжение заданы гармониками, то их действующие значения определяются по выражениям:

$$U = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U^{(k)2}}, \qquad (7)$$

$$I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I^{(k)2}}, \qquad (8)$$

где в выражениях (3), (7) и (8) $U^{(k)}$, $I^{(k)}$ – действующие значения k-тых гармоник рядов Фурье напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$.

Поскольку, как следует из приведенных выражений, коэффициент мощности λ определяется величинами P, U и I, тогда задача определения λ ЭПС постоянного тока сводится к определению указанных величин. Однако формулы (2), (3) и (5)–(8) непосредственно неприменимы для определения P, U и I, а значит и для нахождения λ по (1), поскольку переменные $U(t)$ и $I(t)$ являются непериодическими, а случайными функциями, аналитические выражения которых неизвестны и их разложение в ряд Фурье в общем случае невозможно.

Поэтому определим мощность P исходя из общего понятия, что активная мощность равна среднему значению за период мгновенной мощности $p(t)$. А так как $U(t)$ и $I(t)$ – непериодические функции, то заменим интеграл (2) конечной суммой и найдем P как среднее арифметическое от суммы дискретных значений p_n мгновенной мощности за время поездки по данному участку

$$P = \frac{1}{T}\sum_{n=1}^{N} p_n \Delta t_n = \frac{1}{T}\sum_{n=1}^{N} U_n I_n \Delta t_n , \qquad (9)$$

где T – длительность реализации $U(t)$ и $I(t)$ (длительность поездки); U_n, I_n – n-е значения напряжения на токоприемнике и тока электровоза, которые находят при временном через Δt квантовании и дискретизации зависимостей $U(t)$ и $I(t)$ (рис. 2); Δt_n – промежуток времени между регистрируемыми значениями тока и напряжения; N – общее число точек квантования за одну поездку на данном участке.

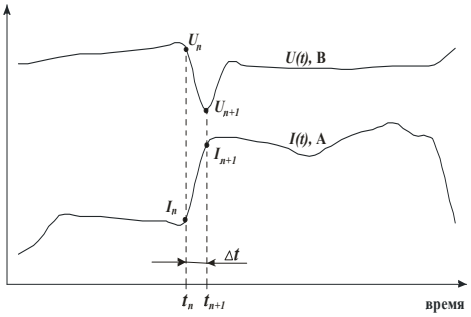


Рис. 2. Дискретизация реализации тягового тока и напряжения на токоприемнике

Поскольку регистрация значений $U(t)$ и $I(t)$ велась через равные промежутки времени $\Delta t = 5$ с, тогда

$$T = \sum_{n=1}^{N} \Delta t_n = N\Delta t$$

и выражение (9) можно записать так:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^{N} p_n}{N} = \frac{\sum_{n=1}^{N} U_n I_n}{N} . \qquad (10)$$

Действующие значения напряжения U и тока I (для нахождения λ по (1)) определим, заменяя интегралы (5), (6) (как это выполнялось для выражения (9)) суммами, как среднеквадратические значения за время поездки:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} U_n^2}{N}} , \qquad (11)$$

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^{N} I_n^2}{N}} . \qquad (12)$$

Таким образом, после расчета величин P, U и I по приведенным выражениям (10)–(12) далее по формуле (1) определим величину коэффициента мощности для каждой пары реализации тягового тока и напряжения на токоприемнике (реализаций режимов работы) электровоза постоянного тока.

Анализ полученных результатов расчета позволяет сделать следующие выводы:

1. Коэффициент мощности λ электровозов ДЭ1 в тяговом режиме составляет 0,75…0,87 (рис. 3), что заметно ниже величины 1,0, на которую рассчитывается энергопотребление электрической тяги постоянного тока. Вероятно, близкие к этим значениям будут значения λ и для других серий электровозов (ВЛ8, ВЛ10, ВЛ11), эксплуатирующихся на железных дорогах Украины. На рис. 4 представлены значения полной S и соответственно активной P мощностей для каждой из 20 поездок, вычисленные соответственно по формулам (4) и (10).

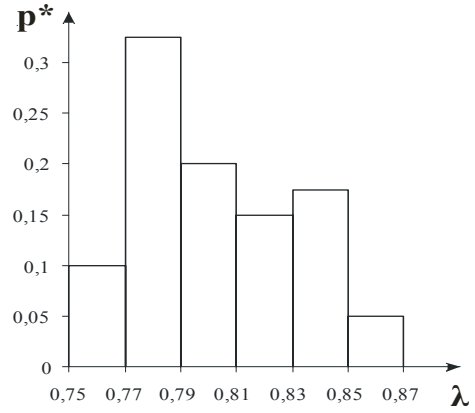


Рис. 3. Гистограмма коэффициента мощности

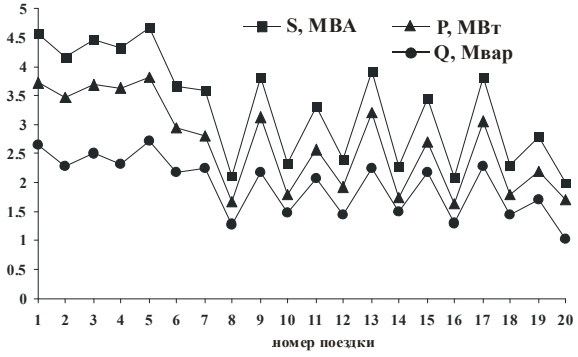


Рис. 4. Зависимости мощностей электровоза ДЭ1 от поездки

2. Коэффициент мощности является случайной величиной, зависящей от многих факторов, основные из которых: профиль пути участ-

ка, масса поезда (составляла 1188…5165 т) и режим ведения поезда, т. е. квалификация машиниста. Подчеркнем, что последний фактор не является второстепенным: например, на одном и том же участке (Нижнеднепровск Узел–Пятихатки), при одинаковой практически массе поезда (4841…4920 т), для одного и того же номера электровоза (ДЭ1-011), но управляемого разными машинистами, коэффициент мощности был различным и составил 0,77…0,83. Следовательно, возникает задача разработки карт режимов ведения поездов, оптимальных по величине коэффициента мощности на участках различного профиля.

3. Превалирующее влияние на величину λ оказывает резко переменный случайный характер тягового тока электровоза. Влияние изменения напряжения на токоприемнике даже в пределах 2 130…4 100 В менее заметно.

4. Существующие подходы и методики определения энергопотребления системой электрической тяги постоянного тока являются неверными, так как не учитывают перетоков реактивной мощности в системе электроснабжения. Не учитывается также влияние высших гармоник и интергармоник, реально существующих в напряжении $U(t)$ и токе $I(t)$.

Установим, за счет каких составляющих реактивной мощности – мощности накопления (обмена) или мощности искажения (сдвига) – коэффициент мощности электровоза меньше единицы. Как известно [2; 3], основными признаками наличия реактивной мощности в цепи есть: неравенство активной P и полной S мощностей; наличие режима возврата электроэнергии из нагрузки в генератор; изменение во времени значения мгновенного полного сопротивления $z(t)$ (или проводимости $y(t)$) на входных зажимах нагрузки. Проверим, выполняются ли эти признаки для цепей ЭПС постоянного тока.

По результатам расчета коэффициента мощности электровоза ДЭ1, а также рис. 4 видно, что первый признак наличия выполняется.

Наличие режима возврата электроэнергии из нагрузки в источник (как второго признака наличия реактивной мощности) для линейных цепей синусоидального тока в классическом варианте оценивают, как известно, по характеру изменения знака мгновенной мощности $p(t)$: если $p(t) > 0$, то возврат электроэнергии отсутствует. Однако такой подход оценки обменных процессов в нелинейных цепях несинусоидального тока неправомерен [2; 4]. Более того, в таких цепях даже классическое интегральное выражение реактивной мощности цепи несинусоидального тока

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U^{(k)} I^{(k)} \sin\varphi^{(k)} \qquad (13)$$

не позволяет в полной мере описывать энергетические процессы, протекающие между источником и потребителем, а в рассматриваемом случае стохастического изменения $U(t)$ и $I(t)$ формула (13) вообще не применима. Очевидно, наиболее (если не единственно) возможны те методы, которые позволяют находить реактивную мощность исходя из мгновенных значений случайных функций напряжения $U(t)$ и тока $I(t)$. То есть необходимо рассмотрение собственно мгновенной реактивной мощности $q(t)$ [5; 6; 8]. Один из подходов определения $q(t)$ базируется на концепции С. Фризе [7]. В этом случае выражение для $q(t)$ имеет вид [5; 6]:

$$q(t) = p(t) - \frac{P}{U^2} U^2(t) = U(t)I(t) - \frac{P}{U^2} U^2(t). \qquad (14)$$

Так как $q(t)$ определяет скорость изменения электромагнитной энергии в системе, это значит, что в интервалы времени, когда $q(t) \neq 0$, между потребителем и источником происходят процессы обмена электромагнитной энергией, а когда $q(t) = 0$ – они отсутствуют.

В качестве примера, для одной реализации $U(t)$ и $I(t)$ (см. рис. 1) электровоза ДЭ1, были определены мгновенные: сопротивление $R(t) = \dfrac{U(t)}{I(t)}$ (рис. 5, *а*), мощность $p(t) = U(t)I(t)$ (рис. 5, *б*) и реактивная мощность $q(t)$ по (14) (рис. 5, *в*).

Изменение во времени мгновенного сопротивления $R(t)$ (рис. 5, *а*) свидетельствует о соблюдении третьего признака наличия реактивной мощности в рассматриваемой системе. Однако, судя по знаку мгновенной мощности ($p(t) > 0$), режим возврата электроэнергии из нагрузки в источник отсутствует и свидетельствует об отсутствии обменных процессов. Однако такой обменный процесс должен быть, так как силовые цепи электровоза имеют мощные нелинейные реактивные элементы: индуктивности обмоток якоря, обмоток главных и дополнительных полюсов тяговых двигателей, индуктивных шунтов.

Обнаруженное несоответствие знака мгновенной мощности и наличия обменных процессов лишний раз подтверждает, что классические суждения об обменных процессах неприменимы для нелинейных цепей с несинусоидальными токами и напряжениями. В этой связи необходимо согласиться с мнением [6],

что для полного описания обменных электромагнитных процессов необходимо рассматривать мгновенную реактивную мощность $q(t)$ (рис. 5, *г*). Поскольку $q(t)$ характеризует скорость изменения электромагнитной энергии

$$q(t) = \frac{dW}{dt},$$

и она не равна нулю в течение времени потребления электроэнергии (см. рис. 4, *в*), то в системе электрической тяги постоянного тока происходят обменные энергетические процессы (через контактную сеть) между источником и силовыми цепями электровоза.

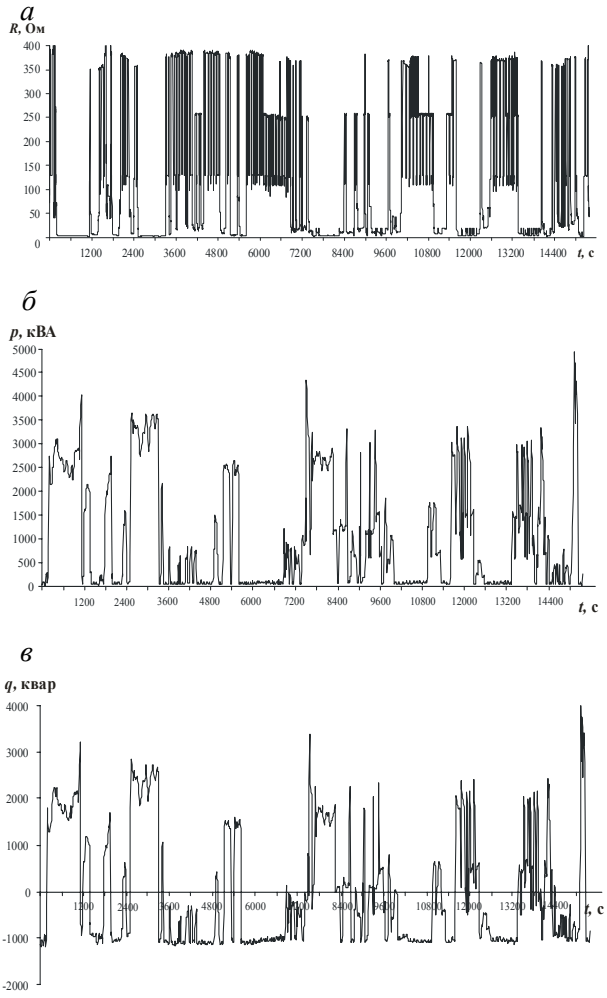


Рис. 5. Графики мгновенных:
а – сопротивления $R(t)$; *б* – мощности $p(t)$;
в – реактивной мощности $q(t)$

Следовательно, коэффициент мощности ЭПС постоянного тока меньше единицы как за счет реактивной мощности искажения (тягового тока и напряжения в контактной сети), так и вследствие реактивной обменной мощности, обусловленной нелинейными индуктивностями силовой цепи электровоза. Таким образом, подвижной состав электрического транспорта постоянного тока является потребителем неактивной составляющей полной мощности.

Как известно, низкие значения коэффициента мощности свидетельствуют о повышенном потреблении неактивной составляющей полной мощности ЭПС постоянного тока. Следствием этого является дополнительная нагрузка тяговой сети и электрооборудования ЭПС реактивным током, а также увеличенный расход электроэнергии на тягу поездов.

Следовательно, для улучшения энергетических показателей системы тягового электроснабжения постоянного тока последующими задачами должны быть, во-первых, оценка реактивной мощности конкретных видов ЭПС постоянного тока и, во-вторых, разработка мероприятий по уменьшению этой мощности. При этом следует иметь ввиду, что для нелинейных цепей, какими являются силовые цепи электровозов, в режимах несинусоидального тока общепринятое понятие реактивной мощности является некорректным, а следовательно, существующие методы ее компенсации неприменимы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники. Том первый / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян – Л.: Энергоиздат, 1981. – 534 с.
2. Тонкаль В. Е. Баланс энергий в электрических цепях / В. Е. Тонкаль, А. В. Новосельцев и др. – К.: Наук. думка, 1992. – 312 с.
3. Денисюк С. П. Енергетичні процеси в електричних колах з ключовими елементами // Автореф. дис. … д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 – теоретична електротехніка / ІЕД НАН України. – К., 2002, – 35 с.
4. Маевский О. А. Энергетические показатели вентильных преобразователей. – М.: Энергия, 1978. – 320 с.
5. Жежеленко И. В. Современная концепция реактивной мощности / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко // Вестник Приазовского гостехуниверситета, Мариуполь, 1995. – С. 192–197.
6. Саєнко Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання з нелінійними навантаженнями // Автореф. дис.… д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 – теоретична електротехніка / НУ «Львівська політехніка». – Львів, 2003, – 36 с.
7. Fryse S. Wirk – Blind – und Schein – leistung in elektrischen stromkreisen min nichtsinusformigen Verfaf von Strom und Spannung // Elektrotechn. Z. – 1932. – 25. – S. 596–599; 26. – S. 625–627; 29. – S. 700-702.
8. Демирчян К. С. Реактивная мощность на случай несинусоидальных функций // Изв. РАН. Энергетика, 1992, – № 1. – С. 3–18.

Поступила в редколлегию 12.05.06.

УДК 656.2.073

Е. Е. ТЕН, А. А. ПАНЧЕНКО (Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия)

АНАЛИЗ ВЕСОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ

Аналіз негативних факторів існуючих систем статичного і динамічного зважування залізничного транспорту та їхній вплив на пропускну здатність.

Анализ негативных факторов существующих систем статического и динамического взвешивания железнодорожного транспорта и их влияние на пропускную способность.

The analysis of negative factors of existing systems of static and dynamic weighing of railway vehicles and their influence on the throughput capacity has been performed.

В условиях рыночной экономики основным показателем успешности предприятия является его рентабельность. Для железной дороги основным показателем являются грузоперевозки. Поэтому одна из основных задач реформирования железнодорожной отрасли – это улучшение процесса перевозок. Данная задача является комплексной и требует решения технических, организационных, информационных и социальных вопросов, т. е. охватывает многие области деятельности организации.

Постоянный рост грузопотоков предъявляет все более высокие требования к пропускной способности транспортных коридоров. Поэтому снижение потерь времени на взвешивание грузов, как одного из наиболее продолжительного по времени процесса, является одной из приоритетных задач железных дорог – крупнейшего перевозчика грузов.

Сокращение времени взвешивания вагона, локомотива и состава решается путем внедрения автоматизированных весоизмерительных систем на железнодорожном транспорте. И хотя механические весоизмерительные устройства постепенно вытесняются электромеханическими, но их показатели пока еще далеки от требований сегодняшних реалий. При исследовании характеристик весов отечественных и зарубежных производителей было выделено три группы:

– платформенные весы для статического взвешивания вагонов с расцепкой;

– платформенные весы для статического и динамического взвешивания вагонов без расцепки;

– прокатные весы для динамического взвешивания вагонов без расцепки, в которых платформа заменена грузоприемным устройством или используется измерительный участок рельса.

Платформенные (статические) весы наиболее точные при измерении веса вагона, локомотива и др. Вес определяется с погрешностью измерения, не превышающей несколько десятков килограмм, что является преимуществом этого типа весов. В настоящее время выпускаются весы этой группы, соответствующие классу точности 0,2; 0,5 по ГОСТ 30414 – 96. Эта группа весов хорошо подходит для измерения тарного веса. Недостатком этих весов является необходимость расцепки вагонов и отсутствие информации о распределении центра массы груза загруженного вагона, что не позволяет применять их на основных путях, а только на подъездных или второстепенных путях и является главным недостатком.

Платформенные (динамические) весы для взвешивания в движении и статике являются достаточно точными при измерении веса вагона, локомотива и состава. В настоящее время выпускаются весы этой группы, соответствующие классу точности 0,2; 0,5; 1 по ГОСТ 30414-96.

В данной группе весов реализуется принцип потележечного взвешивания вагонов. Существует возможность установки нескольких (от одной до трех) весоизмерительных платформ. Информация о распределении центра массы груза загруженного вагона не полная, из-за того, что боковые смещения груза не определяются. Еще одним недостатком весов данной группы является их малая пропускная способность, т. к. скорость прохождения состава при взвешивании (2…10 км/час) и без взвешивания (до 20 км/час), что ограничивает их использование (только на второстепенных путях).

Прокатные (динамические) весы уступают в точности и погрешности измерения платформенным, но дают полную информацию о рас-

пределении центра массы груза загруженного вагона. Динамические весы выполняются в двух вариантах: с *X*-образной врезкой платформы или с применением измерительного рельсового участка. В обоих случаях требуется упрочнение подрельсового полотна. Однако существующие весы имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение:

– наличие грузоприемного устройства;

– врезка в участок железнодорожного полотна или применение измерительного участка рельса, что ограничивает скорость прохождение подвижного состава без измерения веса до 20 км/час, исключение составляют весы ВД – 30 (ЗАО «Эталон-Тензо», ЗАО «Авитек-Плюс», Россия) [5];

– ограничение скорости измерения до 12 км/час при измерении веса подвижного состава;

– невысокая точность измерения веса подвижного состава.

Основываясь на данной классификации, была составлена таблица российских и зарубежных производителей и поставщиков [5–23]. В таблицу вошли модели железнодорожных весов для измерения в движении и универсальные (в статике и в движении).

Таблица

Характеристики железнодорожных весов для измерения в движении различных производителей и поставщиков

Фирма производитель / поставщик, модель	Характеристика вагонных весов
ЗАО «ЭТАЛОН-ТЕНЗО», Россия, г. Москва ВД-30 НПО «Валентина», Россия ВД-30-1 ЗАО «Авитек-Плюс», Россия, г. Екатеринбург, ВД-30, ВД-30-1, ВД-30-2, ВД-30-1М ЗАО «Alex Scale & Equipment», Россия, г. Москва; Бєларусь, г. Минск; Молдова, г. Кишинев; Украина, г. Киев, ВД-30 и модификации	Наибольший предел взвешивания – 200 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,2; 05 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – до 10 км/ч; скорость движения без взвешивания – без ограничений; потележечное, повагонное взвешивание 2-х, 4-х, 6-ти, 8-осных вагонов; грузоприемное устройство – 1,7 т
ЗАО «ТЕНЗО-М», Россия, Московская обл. г. Люберцы, РД-Д, РД-Т ЗАО «МОНИТОР», Россия, г. Москва, РД-Д, РД-Т ЗАО «Альфа-Эталон», Россия, г. Москва ЗАО «Эталон-Брест», Беларусь, г. Брест, РД-Д, РД-Т	Наибольший предел взвешивания – 150 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,2; 0,5 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – до 7 км/ч; скорость движения без взвешивания – без ограничений; поосное взвешивание вагонов
ООО «ФИЗТЕХ», Россия, г. Москва; ВЖДП-150,ВЖДТ-150, ВЖУ-150-4,ВЖУ-150-8 ЗАО НПО «ТЕХНОКОМ»; Россия, г. Москва ЗАО «Дом Весов»; Россия, г. Воронеж; ВЖДП-150,ВЖДТ-150; ВЖУ-150-4,ВЖУ-150-8	Наибольший предел взвешивания – 150 т; дискретность – 50/100 кг; класс точности – 0,5; 1 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч; скорость движения без взвешивания – до 40 км/ч; потележечное, повагонное взвешивание
ООО «Мир Весов»; Россия, г. Москва; М8300Т-150-2(5-3,5-5)-р65	Наибольший предел взвешивания – 100 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,5; 1 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч
НИПВФ «ТЕНЗОР», Россия, г. Ростов-на-Дону, ВВ-2-2	Наибольший предел взвешивания – 160 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 1; 2 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч, (4 класс точности для скорости до 20 км/ч); скорость движения без взвешивания – не оговаривается; потележечное, повагонное взвешивание; грузоприемное устройство – 3,9 т каждая платформа
ЗАО «Измерительная техника», Россия, г. Пенза, ВВД-160М, ВВЭ-Д-НП	Наибольший предел взвешивания – 160 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,2; 0,5 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании- до 7 км/ч; скорость движения без взвешивания – без ограничений; поосное, потележечное взвешивание вагонов

Окончание табл.

Фирма производитель / поставщик, модель	Характеристика вагонных весов
ЗАО «Локомотив-Сервис»; Россия, Архангельская обл., г. Котлас; ВВБ-СД, ВВД-Д	Наибольший предел взвешивания – 100/150 т; дискретность – 50/100 кг; класс точности – 1; 2 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч; скорость движения без взвешивания – до 20 км/ч; потележечное, повагонное взвешивание; платформа 8650х2900х850мм
ЗАО НПО «ВЕСЫ»; Россия, г. Екатеринбург; ВД-50/0,5	Наибольший предел взвешивания – 50 т на ось; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,5 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании и движении не оговоревается; платформа 2900х1700 мм с измерительными рельсами
Корпорация «АСИ»; Россия, г. Кемерово; РТВ-Д, ТРИАДА-Д, ВЕСТА-СД ЗАО «ПРОЭКТ»; Россия, г. Иркутск; РТВ-Д; ВЕСТА – СД100/2	Наибольший предел взвешивания – 100/ 150 / 200 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,5; 1 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч; скорость движения без взвешивания – до 20 км/ч; потележечное, повагонное взвешивание; платформа или взвешивающий рельс 1,8 м
ЗАО «Сибтензоприбор»; Россия, г. Кемерово; ВЭМВ-Д	Наибольший предел взвешивания – 120 т; дискретность – 10 кг; класс точности – 0,5;1;2 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – 3…10 км/ч; скорость движения без взвешивания – до 20 км/ч; потележечное, повагонное взвешивание; платформа
КИП «Луч»; Казахстан, г. Курчаток; ВАКЖ-4; ВАКЖ-4х2	Наибольший предел взвешивания – 75/150 т; дискретность – 10 /50 кг; класс точности – 0,5; 1 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – до 7 км/ч; скорость движения без взвешивания – не оговаривается; потележечное, повагонное взвешивание; грузоприемное устройство – 9 т каждая платформа
ТН-ПЦ «ТОМ»; Украина, г. Одесса; 23ХХВВ и модификации	Наибольший предел взвешивания – 100/150/200 т; дискретность – 50 кг; класс точности – 0,2;0,5; 1 по ГОСТ 30414-96; скорость движения при взвешивании – до 15 км/ч; скорость движения без взвешивания – не оговаривается; потележечное, повагонное взвешивание; одна, две или три платформы
Mettler Toledo; Представительство в г. Москве; 7260M, 7260SM	Наибольший предел взвешивания – 200 т; дискретность – 20/50/100 кг; класс точности – средний (1 – по ГОСТ 30414-96); скорость движенияпри взвешивании – 3…10 км/ч; одна, две или три платформы

Лидерами в разработке железнодорожных весов являются производители, расположенные в городах России: Москва, Екатеринбург и Кемерово. Весы разработчиков ЗАО «Авитек-Плюс» и ЗАО «Тензо-М» имеют преимущество в том, что отсутствует ограничение в скорости прохождения подвижного состава без взвешивания [5; 18].

Отмечая достоинства наилучших моделей производителей весоизмерительных устройств, приведем и «слабые» стороны этой техники.

В модели ВД-30 используется специальный измерительный рельс, который увеличивает межшпальное расстояние до 1 040 мм. Аналогичный метод измерения и подобное решение используется в модели РТВ-Д.

В моделях железнодорожных весов для взвешивания в движении типа РД-Д, ВЖДП-150 и др. используются вставки измерительного рельса. Использование весов подобного типа на главных магистралях затруднено из-за ограничения скорости прохождения по весам.

Таким образом, в результате анализа весоизмерительных систем железнодорожного транспорта можно сделать следующие выводы:

– в существующих весах всегда присутствуют грузоприемные устройства (платформа или весоизмерительный рельс);

– существующие весы имеют низкую скорость измерения в движении, что ограничивает их применение на главных магистралях;

– в конструктивном, аппаратном и программном решениях весоизмерительных систем просматривается консерватизм мышления, связанный с разработкой платформенных весов;

– производство и последующая эксплуатация весоизмерительной техники для железных дорог экономически эффективно на региональном уровне;

– в Забайкалье и Дальневосточном регионах нет производителей весоизмерительных устройств, при очевидных потребностях и росте грузопотоков из стран АТР.

Отсюда следует, что необходимо провести комплекс исследовательских, технико-конструкторских и организационных мероприятий, с учетом указанных выше факторов, которые позволили бы повысить точность и снизить погрешности измерений, увеличить возможную скорость прохождение состава при взвешивании и сквозного прохождения, что позволит повысить пропускную способность магистральных линий, изучить вопрос взвешивания несыпучих грузов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новачук Я. А. Схемотехника измерителя веса подвижного состава / Я. А. Новачук, А. А. Панченко, А. Д. Дикий и др. // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока: Сб. тез. докл. региональной конф., Ч. 2. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1997. –150 с.
2. А. А. Панченко Установка диагностирования и регулировки жесткости элементов рессорного подвешивания локомотивов / А. А. Панченко, Д. А. Федосеев, И. И. Онучин. Научно-технические и экономические проблемы эффективности транспорта: Сб. тез. докл. региональной конференции. Т. 1 – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – С. 37–38.
3. Панченко А. А. Тензометрические измерительные системы для определения веса статических и динамических объектов / А. А. Панченко, Д. А. Федосеев, И. И. Онучин // Сб. тез. докл. региональной конференции. Научно-технические и экономические проблемы эффективности транспорта. Т.1 – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – С. 39–40.
4. Власьевский С. В. Проблемы измерения веса подвижного состава на скоростных магистралях / С. В. Власьевский, А. А. Панченко // Электромеханические преобразователи энергии: Сб. тез. докл. международной конференции. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. – С. 278–279.
5. http://www.avitec.ru.
6. http://www.dom-vesov.ru.
7. http://www.etalon.brest.by.
8. http://www.etalontenzo.nm.ru.
9. http://www.mega.kemerovo.su.
10. http://www.midural.ru.
11. http://www.mir-vesov.ru.
12. http://www.monitor.vsi.ru.
13. http://www.mtrus.com.
14. http://www.itves.ru.
15. http://www.phystech.ru.
16. http://www.npovalentina.ru.
17. http://www.tenzosib.ru.
18. http://www.tenzo-m.ru.
19. http://www.tenzo-pribor.ru.
20. http://www.tenzor.match.rsu.ru.
21. http://www.rusprice.ru.
22. http://www.isasi.ru.
23. http://www.vesy.forever.kz.

Поступила в редколлегию 23.06.2006.

УДК 625.1.03

И. А. БОНДАРЕНКО (ДИИТ)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО СЛОЯ

Для розглядання питань із забезпечення умов міцності, стійкості та деформативності введено поняття стабілізуючого шару. Залежно від вимог з деформативності колії розроблені рекомендації щодо розрахунку параметрів стабілізуючого шару.

Для рассмотрения вопросов по обеспечению условий прочности, устойчивости и деформативности введено понятие стабилизирующего слоя. В зависимости от требований по деформативности пути разработаны рекомендации по расчету параметров стабилизирующего слоя.

For the purpose of considering the issues of safeguarding the conditions of strength, stability and susceptibility to deformations, there has been introduced a concept of stabilizing layer. Depending on the requirements to track susceptibility to deformations, recommendations have been developed for calculating the parameters of stabilizing layer.

Под термином «стабилизирующий слой» будем понимать слой, укладываемый между элементами конструкции пути или слой, являющийся составной частью одного из элементов конструкции пути, толщина которого должна выбираться в зависимости от конкретных характеристик и назначения пути таким образом, чтобы обеспечивались требования прочности и деформативности пути.

Основные требования, предъявляемые к стабилизирующему слою: хорошо распределять нагрузку, стабилизировать вибрации, иметь высокую несущую способность, не пропускать воду и быть устойчивым к промерзанию. Конструкция стабилизирующего слоя определяется геометрическим, физико-механическим и технико-экономическим расчетами. Может состоять из одного или нескольких слоев. Крутизна откосов соответствует крутизне откосов, установленной для данного материала согласно нормативным документам (СНиП II-39-76, ТУМ 34, 31, 25 и др.).

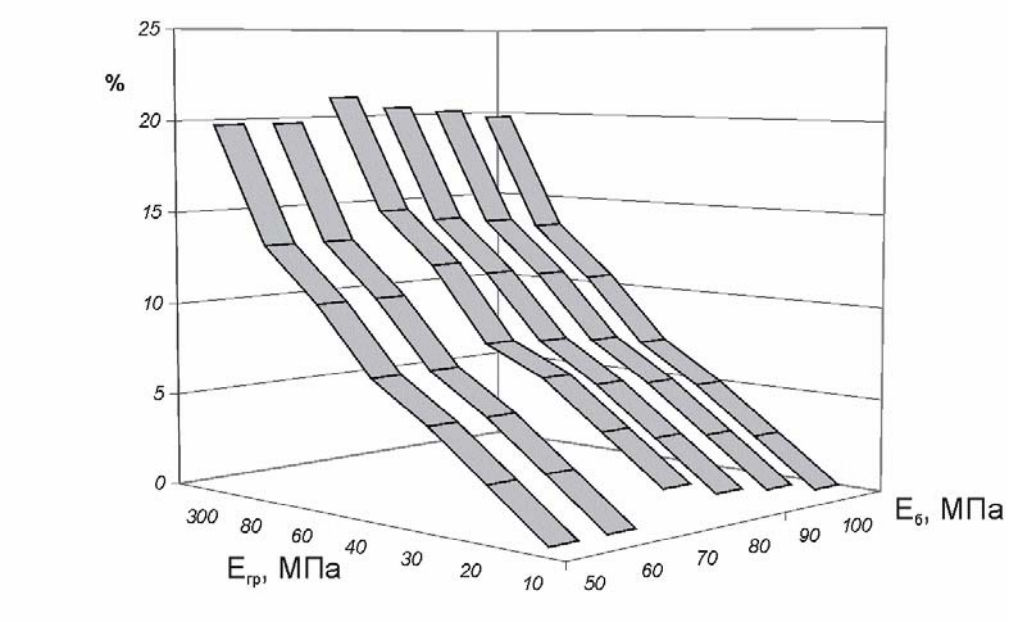
На основании моделирования исследовалось влияние различных факторов на формирование деформативности железнодорожного пути [1; 2]. В качестве исследуемых факторов рассматривались тип и эпюра шпал, тип скреплений, род, толщина и состояние балласта, род и состояние грунта. Был составлен алгоритм исследований и выбраны базовые конструкции пути. Все расчеты по исследованию влияния того или иного фактора проводились для базовых конструкций или относительно них.

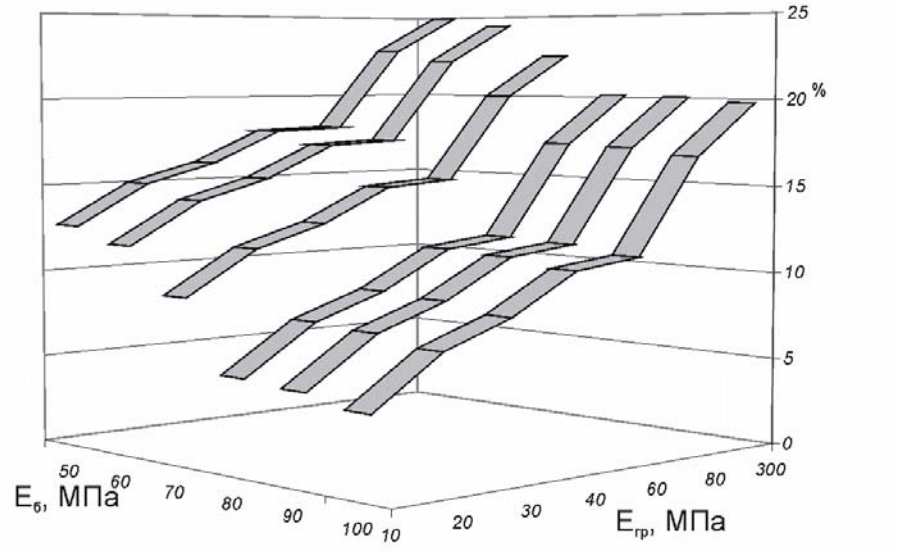
При исследовании существенности влияния различных факторов на формирование деформативности железнодорожного пути рассматривались изменения прогибов и напряжений всех элементов конструкции пути, а также приведенные массы и процентные соотношения прогибов этих элементов.

В результате исследования было установлено, что основными факторами, влияющими на деформативность пути, является род и состояние грунта. Влияние характеристик грунта и балласта на соотношение прогибов элементов для пути на железобетонных шпалах приведены на рис. 1, где $E_{\text{тр}}$ – модуль деформации грунта, составляющего земляное полотно; $E_{\text{б}}$ – модуль деформации щебня. Так, при неподготовленном земляном полотне доля прогибов земляного полотна составляет 86…96 %, рельсошпальной решетки – 2…4 %, балластного слоя – 2…10 %. А при подготовленном земляном полотне доля прогибов земляного полотна составляет 52…60 %, рельсошпальной решетки – 20…23 %, балластного слоя – 20…25 %.

Деформативность пути - возникновение упругих деформаций в нагруженной конструкции пути, вызванных как упругими изменениями формы или размеров элементов конструкции пути или их частей, так и обусловлены этими изменениями перемещения отдельных точек конструкции пути. Главным параметром деформативности пути является модуль упругости подрельсового основания железнодорожного пути. В процессе теоретических исследований была предложена качественная оценка деформативности пути.

Главным критерием стабилизирующего слоя при оценке и нормировании деформативности пути выступает модуль деформации слоя ($E_{\text{слоя}}$). В зависимости от назначения железнодорожного пути требования, предъявляемые по условиям обеспечения деформативности к нему, а следовательно, и к модулю деформации стабилизирующего слоя различны.





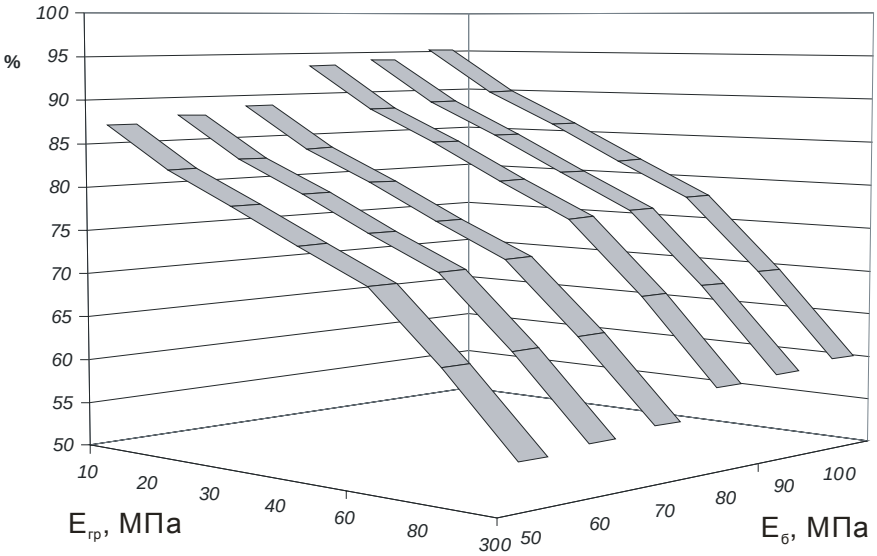


Рис. 1. Графики соотношений прогибов рельсошпальной решетки (*а*), балласта (*б*), земляного полотна (*в*) от модулей деформации грунта и балласта

В процессе эксплуатации имеются участки пути, конструкция которых отличается от типовой конструкции. К этим участкам можно отнести и конструкцию, составляющей которой, является слой загрязненного балласта, образовавшийся в результате проведенных ремонтов; и конструкцию пути усиленную геотекстильными материалами. В любом случае, наличие еще одной составляющей конструкции пути влияет на формирование модуля упругости, а значит и на его напряженно-деформированное состояние.

На основе предложенной методики расчета модуля упругости подрельсового основания [3], разработана методика расчета характеристик «стабилизирующего слоя» и произведен учет влияние этого слоя на формирование модуля упругости. Учитывая предложенную ранее методику определения значений модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости [3], предлагается в формулы определения указанной величины ввести коэффициент τ_3, учитывающий изменения модуля упругости подрельсового основания пути при наличии стабилизирующего слоя:

$$\left.\begin{aligned} U^{I} &= U_{\min}\tau_1\tau_2\tau_3, \\ U^{II} &= U_{\max}\tau_1\tau_2\tau_3. \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Если стабилизирующий слой формируется из одного материала ($E = \text{const}$), то значения коэффициента τ_3 берутся соответственно предлагаемым значениям $\tau_i^{/}$ в зависимости от его материала (E), толщины ($h_{\text{слоя}}$) и модуля деформации земполотна ($E_{\text{тр}}$), на которое опирается слой (рис. 2). Если стабилизирующий слой состоит из нескольких слоев, то коэффициент τ_3 определяется как

$$\tau_3 = \prod_{i=1}^{n} \tau_i^{/}, \qquad (2)$$

где $\tau_i^{/}$ - коэффициенты, что учитывают изменение модуля упругости подрельсового основания пути наличием каждого слоя и показывают эффективность его использования; n - количество слоев, что составляют стабилизирующий слой.

Главным параметром деформативности пути является модуль упругости подрельсового основания (U). При рассмотрении причинно-следственной связи для оценки технического эффекта нормирования жесткости пути получаем следующий результат. Чем меньше значения модуля упругости, тем больше прогиб, а чем больше прогиб, тем больше амплитуды, что быстрее приводит к расстройству пути. Кроме этого, на определенной стадии возникает следующая зависимость, чем больше модуль упругости, тем жестче путь, и тем менее рентабельны вложения на усиливающий слой. Таким образом, возникает необходимость в нормировании значений модуля упругости подрельсового основания железнодорожного пути. Сущность нормирования состоит в использовании дополнительного качественного критерия по оценке работоспособности пути. Согласно предлагаемой методике расчета [3] определяют минимальные или же максимальные показатели деформативности пути. Сравнивают с фактическими значениями и принимают решение о необходимости мероприятий по изменению жесткости пути.

Используя строительные нормы, можно установить ограничение по величине модуля упругости земполотна, то есть грунты, составляющие его, должны иметь значение модуля деформации не ниже 20 МПа. При принятии этого условия, с учетом зависимости между силами, действующими на рельс, и его деформациями, можно утверждать, что каждой конструкции пути будет отвечать свое минимально-допустимое значение модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости $U_{\min\text{доп}}$. Таким образом, каждой конструкции пути при влиянии нагрузки на рельс P будут отвечать свои максимально-допустимые значения прогибов рельсов $y_{\max\text{доп}}$. Прогибы рельсов зависят как от деформаций элементов конструкции, так и от наличия люфтов между ними. Максимальный суммарный прогиб люфтов $y_{\max\text{люфт}}$, устанавливаемый для каждой конструкции пути с учетом геометрических норм и допусков составных его элементов, может служить интегральной оценкой содержания верхнего строения пути. А суммарный прогиб без люфтов может служить интегральной оценкой состояния земполотна. Таким образом, можно контролировать деформативность пути.

Для принятых за базовые конструкций пути, минимально-допустимые значения модулей упругости в вертикальной плоскости при $E_{\text{тр}} = 20$ МПа, по расчетам посредством программного обеспечения, основанного на использовании метода конечных элементов: для деревянных шпал $U_{\min\text{доп}} = 21{,}3$ МПа, а для железобетонных шпал $U_{\min\text{доп}} = 22{,}4$ МПа.

Используя предложенную методику по определению модуля упругости подрельсового основанмя пути в вертикальной плоскости, можно определить ограничивающие значения модулей упругости $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}$, $U^{\text{II}}_{\max\text{доп}}$ для других конструкций подставляя в (1) вместо, $U_{\min} - U_{\min\text{доп}}$, а вместо $U_{\max} - U_{\max\text{доп}}$.

Значения максимальных прогибов рассчитываются

$$y_{\max\text{доп}} = \frac{P}{\sqrt[4]{64EIU^3_{\min\text{доп}}}}. \qquad (3)$$

Оценивать деформативность пути можно следующим способом:

1. На опытном участке пути измерять статический прогиб от нагрузки $y_{\text{изм}}$ (при нагрузках 60…160 кН), прогиб от наличия люфтов $y_{\text{л}}$ (при нагрузках до 40…50 кН). Определить чистый прогиб $y = y_{\text{изм}} - y_{\text{л}}$.

2. Рассчитать минимально-допустимые значения модулей упругости подрельсового основания колеи $U_{\min\text{доп}}$ и максимально-допустимые значения прогибов $y_{\max\text{доп}}$ и $y_{\max\text{люфт}}$ для данной конструкции.

3. Сравнить допустимые и измеряемые величины:

а) по условию: $y_{\max\text{доп}} \ge y$, $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}} \le U$ (условие деформативности земполотна), $y_{\max\text{люфт}} \ge y_{\text{л}}$ (условие деформативности верхнего строения пути) считать, что путь отвечает требованиям деформативности;

б) по условию: $y_{\max\text{доп}} < y$, $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}} > U$, $y_{\max\text{люфт}} < y_{\text{л}}$ считать, что путь не отвечает требованиям деформативности и принимать решение по повышению его жесткости: либо усилению земполотна, либо жесткости режима содержания верхнего строения пути.

В процессе теоретических исследований на основании влияния модуля деформации грунтов можно предложить для базовых конструкций на деревянных и железобетонных шпалах показатели деформативности пути, приведенные в таблице. Для других конструкций ограничивающие значения модулей упругости $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}$ и $U^{\text{II}}_{\max\text{доп}}$ рассчитывают по (1). Но окончательное решение для принятия границ по критерию деформативности нужно принимать после экспериментальных испытаний, которые бы учитывали не только влияние грунта, но и других элементов конструкции пути, комфортность езды и количество отказов элементов пути, целесообразность и рентабельность усиления.

Таблица

Качественная оценка деформативности пути для базовых конструкций

Оценка	Для базовой конструкции на деревянных шпалах		Для базовой конструкции на железобетонных шпалах	
	Модуль упругости подрельсового основания, МПа	Модуль деформации грунта, МПа	Модуль упругости подрельсового основания, МПа	Модуль деформации грунта, МПа
Отлично	$38 \le U < 78$	$30 \le E_{\text{гр}} < 60$	$46 \le U < 71$	$50 \le E_{\text{гр}} < 120$
Хорошо	$21 \le U < 38$	$20 \le E_{\text{гр}} < 30$	$22 \le U < 46$	$20 \le E_{\text{гр}} < 50$
Удовлетворительно	$11 \le U < 21$	$10 \le E_{\text{гр}} < 20$	$12 \le U < 22$	$10 \le E_{\text{гр}} < 20$
	$U^{II}_{\max\text{доп}} \ge 78$	$E_{\text{гр}} \ge 60$	$U^{\text{II}}_{\max\text{доп}} \ge 71$	$E_{\text{гр}} \ge 120$
Неудовлетворительно	$U^{I}_{\min\text{доп}} < 11$	$E_{\text{гр}} < 10$	$U^{\text{I}}_{\min\text{доп}} < 12$	$E_{\text{гр}} < 10$

Кроме того, методика определения характеристик стабилизирующего слоя применима и при обратной задаче, то есть при подборе конструкции и материалов при проектировании стабилизирующего слоя для изменения жесткости пути:

- при необходимости усиления жесткости конструкции пути

$$\tau_3 = \frac{U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}}{U^{I}} = \frac{U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}}{U}, \qquad (4)$$

где $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}$, $U^{\text{I}}_{\min\text{доп}}$, U – соответственно минимально и максимально допустимые по классификации деформативности пути и фактическое значение модуля упругости подрельсового основания пути в вертикальной плоскости. Указанная методика унифицирует многовариантность при выборе конструкции стабилизирующего слоя (рис. 2).

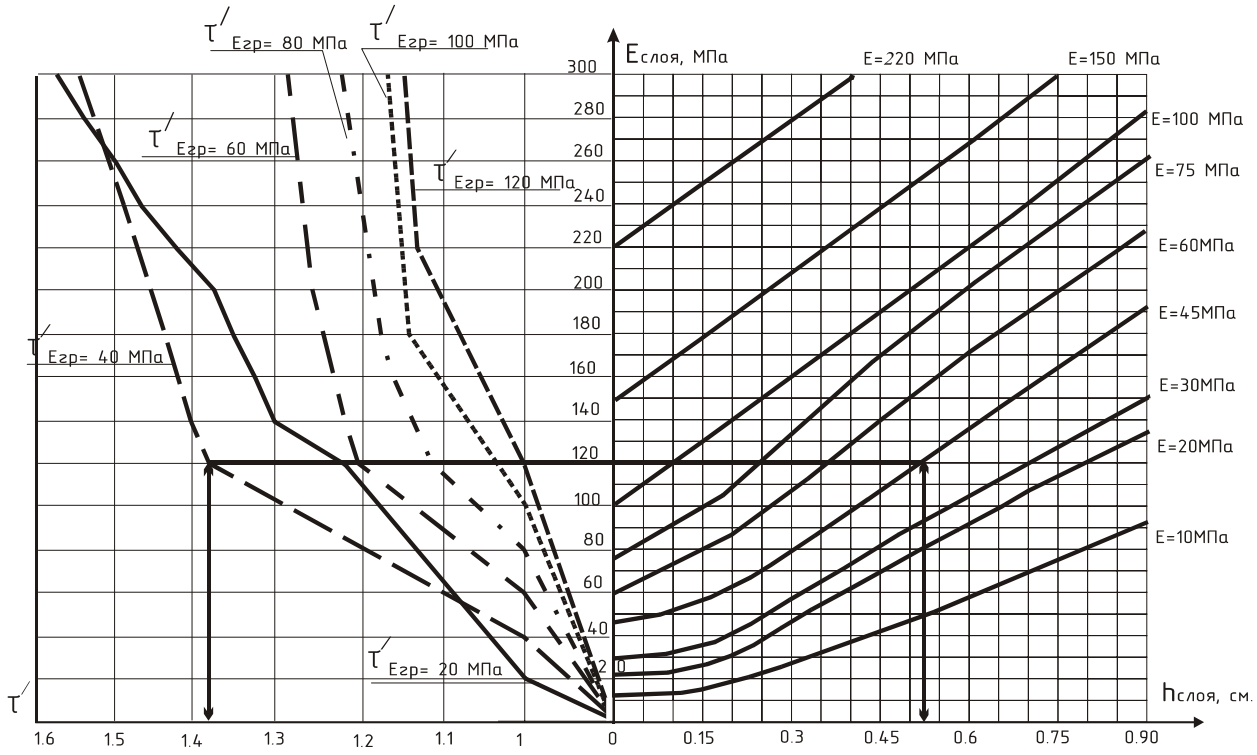


Рис. 2. Номограмма использования различных материалов для устройства стабилизирующих слоев

Использование качественной оценки деформативности пути и методики расчета значений модуля упругости подрельсового основания позволяет в каждом конкретном случае в зависимости от конструкции пути устанавливать рациональный режим эксплуатации данного участка (скорости обращения для вагонов и локомотивов из условия непревышения допустимых и рекомендуемых напряжений в элементах пути и установленного критерия деформативности пути); и наоборот, дает возможность для заданных условий эксплуатации определять оптимальную по критерию деформативности конструкцию пути, проводить расчеты и проектирование различных конструкций защитных слоев для повышения несущей способности основной площадки при разработке мероприятий по стабилизации или усилению железнодорожного пути.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данович В. Д. Влияние параметров грунта на значения вертикального модуля упругости пути / В. Д. Данович, В. В. Рыбкин, А. М. Патласов, И. А. Бондаренко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 2. – С. 151–154.
2. Рыбкин В. В. О корректировке правил расчетов железнодорожного пути на прочность / В. В. Рыбкин, И. А. Бондаренко // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт, № 2 (9). – Гомель, 2004. – С. 42–44.
3. Бондаренко И. А. К вопросу определения модуля упругости пути в вертикальной плоскости. // Транспортні системи і технології, – К.: КУЕТТ, 2004. – Вип. 5, – С. 16–27.

Поступила в редколлегию 25.06.2006.

УДК 625.173

И. П. КОРЖЕНЕВИЧ (ДИИТ)

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СЪЕМКИ ПЛАНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ

Розглянута комбінація існуючих методів знімання кривих і надані рекомендації щодо зрівнювання результатів вимірювань.

Рассмотрена комбинация существующих методов съемки кривых и даны рекомендации по уравниванию результатов измерений.

The combination of existing methods of surveying curves has been considered and recommendations on leveling-off the results of measurements have been given.

Возрастающие требования к точности содержания пути требуют в первую очередь повышения точности получения информации о положении пути в плане [1].

При повышении точности съемки плана железнодорожной линии возникает проблема выбора способа съемки.

Традиционные способы съемки (стрел, Гоникберга) позволяют получить достаточно точное взаимное положение близко расположенных точек пути, но дают большую погрешность [2] в определении планового положения участка в целом за счет накопления ошибки со скоростью арифметической прогрессии. Особенно опасным становится применение метода стрел для анализа длинных участков с мелким шагом съемки (путерихтовочные машины, путеизмерители).

Модифицированный способ съемки [3] за счет внутреннего уравнивания частично снимает проблему неточности метода стрел, но тоже не может считаться идеальным решением данной проблемы.

Полярный способ съемки плана позволяет получить достаточно точное положение всего участка в целом, но оценка кривизны для близко расположенных точек может давать существенную погрешность. Кроме того, реальная точность полярной съемки отдельных точек пути, как правило, находится в пределах 10…20 мм, что явно недостаточно для оценки сдвигов, которые могут быть близкими по своему значению к этой погрешности.

Единственным выходом, позволяющим повысить точность информации о положении пути в плане, является использование комбинации полярного способа с традиционными или модифицированным. В этом случае сплошная съемка делается традиционными способами, а отдельные точки, кроме того, снимаются полярным способом.

В результате получается избыточная информация и это дает право использовать для поиска координат точек пути методы уравнивания измерений. Корректировка рассчитанных координат осуществляется по вектору ΔX :

$$\Delta X = \left(B^T K_{\ell\ell}^{-1} B\right)^{-1} B^T K_{\ell\ell}^{-1} \Delta\ell ,$$

где $\Delta\ell$ – изменение вектора измеренных величин; ΔX – вектор определяемых координат; B – матрица производных $\partial\ell/\partial x$; $K_{\ell\ell}$ – дисперсионная матрица измеренных величин; B^T – транспонированная матрица производных.

В вектор измеренных величин включаются последовательно все данные съемки. Для способа стрел и модифицированного это стрелы в точках пути, расстояния между точками, известные координаты отдельных точек пути. Для метода Гоникберга в вектор добавляются данные о снятых углах поворота.

По откорректированным координатам рассчитываются уравненные значения измеренных величин. Анализ этих значений позволяет оценить точность съемки в отдельных точках и принять решение о необходимости повторной съемки отдельных точек.

Данная методика реализована в составе программы RWPlan 1.2 и прошла апробацию при съемке нечетного пути на участке Игрень-Илларионово Приднепровской железной дороги. В качестве примера приведены результаты уравнивания для модифицированного способа на одной кривой. В табл. 1 приведены результаты уравнивания для стрел и длин, а в табл. 2 – для координат отдельных точек кривой.

Таблица 1

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
1	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0	0,5	5,000	5,003	5,003
2	0,2	–0,2	–0,5	0,5	1,0	0,5	5,003	5,003	5,003
3	–0,3	–0,7	–0,2	0,5	1,0	0,0	5,003	5,003	5,003
4	–0,8	–0,8	–1,0	0,0	1,0	0,0	5,003	5,003	5,001
5	–0,3	–0,9	–0,2	0,0	0,5	1,5	5,003	5,001	5,001
6	–0,8	–0,3	–0,4	0,0	1,5	1,0	5,001	5,001	5,001
7	–0,3	–1,0	–1,4	0,0	0,5	0,5	5,001	5,001	5,001
8	–0,3	–0,2	1,5	0,5	1,0	2,0	5,001	5,001	5,001
9	–0,1	1,6	–0,1	0,5	2,5	1,0	5,001	5,001	5,003
10	2,3	1,2	1,9	2,5	2,5	2,5	5,001	5,003	5,003
11	0,3	2,3	1,7	1,0	3,0	2,0	5,003	5,003	5,003
12	0,9	–0,8	–3,6	1,0	0,0	0,0	5,003	5,003	5,003
13	1,2	1,2	7,8	1,0	0,0	8,0	5,003	5,003	5,003
14	2,0	10,5	4,6	1,0	10,5	4,5	5,003	5,003	4,998
15	11,2	8,1	6,2	11,0	8,5	6,5	5,003	4,998	4,998
16	2,5	6,2	5,6	2,0	6,0	5,5	4,998	4,998	4,998
17	7,6	10,8	9,1	7,0	11,0	9,0	4,998	4,998	4,998
18	9,3	13,7	10,7	9,0	13,0	10,0	4,998	4,998	4,998
19	11,7	15,9	12,4	11,0	15,0	12,0	4,998	4,998	5,001
20	12,7	17,6	13,6	11,5	16,5	12,5	4,998	5,001	5,001
21	14,9	20,8	17,1	16,0	21,5	13,5	5,001	5,001	5,001
22	16,6	23,4	17,0	16,0	24,5	16,5	5,001	5,001	5,001
23	20,4	27,3	23,8	21,0	26,0	22,0	5,001	5,001	5,001
24	21,3	32,1	22,7	20,0	33,0	22,0	5,001	5,001	5,000
25	26,7	33,1	26,3	25,0	32,5	26,0	5,001	5,000	5,000
26	24,0	34,8	26,0	24,0	34,0	25,5	5,000	5,000	5,000
27	28,3	37,1	28,6	28,5	37,0	28,5	5,000	5,000	5,000
28	30,3	43,4	36,3	30,0	42,5	35,0	5,000	5,000	5,000
29	36,0	52,0	38,6	36,0	51,0	38,0	5,000	5,000	5,001
30	39,7	50,2	35,3	39,0	50,0	35,0	5,000	5,001	5,001
31	38,0	50,7	42,9	38,0	50,5	42,0	5,001	5,001	5,001
32	38,6	56,8	39,9	39,0	56,5	40,0	5,001	5,001	5,001
33	45,1	55,0	41,9	46,0	54,5	41,0	5,001	5,001	5,001
34	39,2	55,4	42,8	39,0	55,0	42,5	5,001	5,001	5,000
35	44,4	59,9	45,3	44,0	60,0	45,0	5,001	5,000	5,000
36	44,8	59,5	43,5	45,0	59,5	43,5	5,000	5,000	5,000
37	43,7	56,7	42,2	44,0	56,5	42,0	5,000	5,000	5,000
38	41,9	56,3	43,1	42,0	56,5	42,5	5,000	5,000	5,000
39	45,1	62,6	50,3	45,0	62,0	50,0	5,000	5,000	5,000
40	47,9	66,0	46,1	47,0	66,0	46,0	5,000	5,000	5,000

Продолжение табл. 1

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
41	49,7	61,4	46,8	50,0	61,5	46,5	5,000	5,000	5,000
42	43,0	59,8	44,2	43,0	59,5	44,0	5,000	5,000	5,000
43	46,9	61,6	47,5	47,0	61,5	47,5	5,000	5,000	5,000
44	46,5	64,4	48,7	46,0	64,0	48,0	5,000	5,000	5,000
45	49,1	64,8	47,5	48,0	64,0	47,0	5,000	5,000	5,000
46	47,1	61,2	45,2	46,0	60,0	44,0	5,000	5,000	5,000
47	44,9	59,7	45,2	45,0	59,0	46,0	5,000	5,000	5,000
48	45,6	62,0	47,6	44,5	60,5	48,5	5,000	5,000	5,000
49	46,7	62,6	45,3	46,0	59,0	44,5	5,000	5,000	5,000
50	45,3	57,3	41,3	46,5	56,0	40,0	5,000	5,000	5,000
51	42,0	55,9	44,6	43,0	56,0	45,0	5,000	5,000	5,000
52	41,3	57,3	40,1	40,0	56,5	40,0	5,000	5,000	5,000
53	44,6	55,9	44,4	44,5	55,5	44,0	5,000	5,000	5,000
54	40,0	57,1	41,3	40,5	57,0	41,0	5,000	5,000	5,000
55	45,8	58,8	46,2	45,0	58,0	45,5	5,000	5,000	5,000
56	41,7	57,9	40,5	42,0	58,0	40,5	5,000	5,000	5,000
57	43,7	53,8	40,8	43,0	53,0	41,0	5,000	5,000	5,000
58	40,6	58,1	47,8	39,0	58,0	46,0	5,000	5,000	5,000
59	47,2	66,6	48,5	46,0	65,0	48,0	5,000	5,000	5,000
60	51,5	65,5	49,0	50,0	64,5	48,0	5,000	5,000	5,000
61	46,3	62,2	45,4	46,5	62,0	45,0	5,000	5,000	5,000
62	48,3	64,0	51,1	48,0	64,0	51,5	5,000	5,000	5,000
63	48,4	68,1	49,7	48,0	68,0	49,0	5,000	5,000	5,000
64	53,7	69,3	53,6	54,0	69,0	54,0	5,000	5,000	5,000
65	50,4	69,4	50,5	51,0	69,0	51,0	5,000	5,000	5,000
66	52,2	66,6	49,4	51,5	65,5	49,0	5,000	5,000	5,000
67	46,0	60,4	42,8	45,5	60,0	43,0	5,000	5,000	5,000
68	43,0	53,9	39,8	42,0	52,5	38,0	5,000	5,000	5,000
69	38,3	51,5	39,1	37,0	49,0	37,0	5,000	5,000	5,000
70	40,0	54,4	42,2	38,5	53,0	41,5	5,000	5,000	5,000
71	39,9	53,2	36,6	40,0	53,0	35,5	5,000	5,000	5,000
72	38,7	47,4	36,2	37,0	46,5	36,0	5,000	5,000	5,000
73	35,0	50,1	40,2	35,0	50,0	40,0	5,000	5,000	5,000
74	41,7	58,4	44,8	41,0	57,5	45,0	5,000	5,000	5,000
75	43,5	56,6	38,6	43,0	56,0	39,0	5,000	5,000	5,000
76	43,3	55,3	46,8	43,0	54,0	46,0	5,000	5,000	5,000
77	41,2	61,9	44,2	40,0	61,5	44,0	5,000	5,000	5,000
78	48,2	58,0	41,3	47,0	56,5	39,0	5,000	5,000	5,000
79	38,4	50,2	37,4	37,0	47,5	36,0	5,000	5,000	5,000
80	36,0	47,3	34,0	34,0	46,0	33,0	5,000	5,000	5,000
81	33,5	42,4	30,6	33,0	42,0	30,0	5,000	5,000	5,000

Окончание табл. 1

№ хорды	Уравненные стрелы, мм			Измеренные стрелы, мм			Уравненные длины, м		
	т. 2	т. 3	т. 4	т. 2	т. 3	т. 4			
82	29,2	37,7	27,5	28,5	37,0	27,0	5,000	5,000	5,000
83	26,1	33,4	23,5	26,0	33,5	23,5	5,000	5,000	5,000
84	23,3	29,4	21,9	23,5	29,0	22,0	5,000	5,000	5,000
85	21,4	29,3	22,8	21,0	30,0	22,5	5,000	5,000	5,000
86	21,8	29,2	20,3	21,5	29,0	20,0	5,000	5,000	5,000
87	20,2	24,0	16,5	20,0	24,0	17,0	5,000	5,000	5,000
88	16,1	20,8	16,5	15,5	20,0	15,0	5,000	5,000	5,000
89	14,6	20,2	13,5	14,0	18,5	13,0	5,000	5,000	5,000
90	13,6	14,9	9,4	13,0	14,0	8,5	5,000	5,000	5,000
91	10,0	13,1	12,3	10,0	12,5	12,0	5,000	5,000	5,000
92	8,3	12,6	5,5	8,0	12,5	5,5	5,000	5,000	5,000
93	10,1	8,6	8,9	9,5	8,0	8,0	5,000	5,000	5,000
94	4,5	10,7	7,8	4,5	10,0	8,0	5,000	5,000	5,001
95	9,1	9,0	4,0	8,5	9,0	3,5	5,000	5,001	5,001
96	3,7	2,5	2,2	4,0	2,5	1,5	5,001	5,001	5,001
97	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	5,001	5,001	5,001

Таблица 2

№ точки	Уравненные координаты		Измеренные координаты		ΔX , мм	ΔY , мм
	X	Y	X	Y		
190	6644,868	2978,326	6644,868	2978,326	0	0
195	6628,617	2997,339	6628,617	2997,343	–0	4
200	6612,375	3016,350	6612,377	3016,348	2	–2
205	6596,124	3035,366	6596,120	3035,373	–4	7
210	6579,828	3054,313	6579,833	3054,312	5	–1
215	6563,379	3073,143	6563,376	3073,141	–3	–2
220	6546,648	3091,720	6546,650	3091,721	2	1
225	6529,486	3109,901	6529,483	3109,900	–3	–1
230	6511,821	3127,590	6511,822	3127,590	1	–0
236	6489,925	3148,098	6489,926	3148,100	1	2
240	6474,907	3161,307	6474,909	3161,309	2	2
245	6455,699	3177,311	6455,688	3177,299	–11	–12
250	6436,046	3192,759	6436,052	3192,764	5	4
260	6395,319	3221,751	6395,321	3221,753	2	2
270	6352,983	3248,346	6352,985	3248,350	1	3
280	6309,442	3272,925	6309,442	3272,927	–0	2
285	6287,462	3284,831	6287,463	3284,829	1	–2
290	6265,426	3296,644	6265,424	3296,643	–2	–1

Для уменьшения объема полевых работ целесообразно определить на каком расстоянии следует брать координаты отдельных точек.

Координаты точек пути при съемке методом стрел могут определяться следующим образом:

$$X_{i+1} = X_i + a \cdot \cos \sum_{j=1}^{i} \alpha_j;$$

$$Y_{i+1} = Y_i + a \cdot \sin \sum_{j=1}^{i} \alpha_j,$$

где a – шаг разбивки, м; α – угол поворота участка разбивки.

На данном этапе можно считать значения косинусов близкими к единице и независящими от точности съемки стрел, а значения углов поворота приблизительно принять равными

$$\frac{2 f_j}{a},$$

где f_j – стрела прогиба в соответствующей точке. Если принять все стрелы равными, то получим, что при погрешности измерения одной стрелы Δf погрешность определения координаты Y в точке n будет равна

$$\Delta Y_n = 2 \cdot \Delta f \left(1 + 2 + ... + n\right).$$

Поскольку в скобках мы получаем арифметическую прогрессию, то можно записать

$$\Delta Y_n = \Delta f \cdot n \cdot \left(1 + n\right).$$

Пользуясь этим соотношением, можно определить количество точек, при котором погрешности определения координаты будут несущественно влиять на погрешности стрел в процессе уравнивании. Например, для погрешности координат 10 мм и погрешности стрел 0,5 мм получаем $n = 4$, т. е. координаты следует брать не чаще, чем на каждой пятой точке. В противном случае погрешности координат могут существенно исказить картину кривизны точек пути. Для погрешностей соответственно 20 и 0,5 мм получаем $n = 6$. Для гарантированного устранения влияния координат на взаимную кривизну соседних точек можно давать координаты только каждой десятой точки.

Выводы

Достаточная точность съемки плана железнодорожного пути может быть обеспечена только при комбинации полярного и традиционных способов съемки.

Информация, полученная в ходе съемки, обязательно должна уравниваться.

Для получения разумного компромисса между точностью и трудоемкостью достаточно снимать полярным методом каждую десятую точку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корженевич И. П. Обеспечение точности съемки кривых при возрастании скоростей движения поездов / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач // Вісник наук. пр. ДІІТ, – 2003, – Вип. 2. – С. 174–177.
2. Корженевич И. П. Оценка точности и оптимизация процедур съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник наук. пр. ДІІТу, – 2006. – Вип. 11, – С. 44–50.
3. Корженевич И. П. Новые способы съемки железнодорожных кривых // Вісник наук. пр. ДІІТу, – 2006. – Вип. 12, – С. 45–49.
4. Корженевич И. П. Исследование точности полярного способа съемки железнодорожных кривых / И. П. Корженевич, Н. Г. Ренгач, Н. А. Лошкарев // Вісник наук. пр. ДІІТу, – 2006. – Вип. 13, – С. 53–57.

Поступила в редколлегию 25.06.2005.

УДК 625.1.03

М. С. ТИХОВ, Ю. С. РОМЕН, А. В. БЕЛОУСОВ (Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта, Россия)

ВЫБОР МЕСТ УСТАНОВКИ ПРИБОРОВ И КОЛИЧЕСТВА ЗАЕЗДОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ НА ПУТЬ

Проведено аналіз існуючих підходів визначення місць установлення приладів та кількості заїздів для отримання достатньої інформації під час проведення випробувань рухомого складу для визначення сил та напруги в елементах рейкової колії.

Наведено метод коректування числа заїздів, вибору місць установлення приладів на дослідній ділянці.

Проведен анализ существующих подходов определения мест установки приборов и количества заездов для получения достаточной информации во время проведения испытаний подвижного состава для определения сил и напряжения в элементах рельсовой колеи.

Приведен метод корректировки числа заездов, выбора мест установки приборов на опытном участке.

An analysis of existing approaches to defining the sites of installation of measuring devices and the number of runs for getting reliable information in rolling stock track impact tests has been performed.

A method of correction of the number of runs and selection of the sites for installation of measuring devices on the tested track section has been offered.

Современная методика испытаний по воздействию на путь [1] включает в себя непосредственное измерение следующих показателей: напряжений в наружной и внутренней кромках подошвы рельсов, горизонтальных и вертикальных нагрузок, передаваемых колесами на рельсы, и передаваемых шпалой на подкладку, отжатий и просадок рельсов. Обычно исходя из условий проведения испытаний подобные измерения выполняются на протяжении 2–3 рельсовых звеньев длиной 25 м в 8…16 сечениях пути.

Традиционный метод обработки экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии пути под воздействием подвижного состава состоит в следующем. Данные, полученные по одному и тому же показателю воздействия в разных сечениях пути, объединяются в одну статистику для каждой оси испытуемого экипажа. Объединяются данные, полученные во всех опытных заездах, проведенных в одном направлении и при одной скорости движения. По скорости разброс может достигать 5 км/ч. Для полученной совокупности значений вычисляются первые четыре центральных момента, после чего определяются максимально вероятные значения величины по двум распределениям – нормальному и Чебышева–Эрмита (Лапласа–Шарлье) с вероятностью 0,994, соответствующей в случае нормального распределения квантили математического ожидания плюс 2,5 среднеквадратического отклонения. Из двух распределений выбирается то, которое более точно описывает экспериментальную выборку. В том случае, если теоретические кривые распределения не соответствуют экспериментальным данным, в качестве оценки показателя выбирается среднее из трех максимальных наблюденных значений.

На рис. 1 приведены вероятные и наблюденные характеристики напряжений в наружной кромке подошвы рельсов при воздействии на путь первой оси при движении в кривой радиусом 350 м. Опытные поездки производились со скоростями 40, 60 и 80 км/ч методом челнока в двух направлениях движения на перегоне Ханская-Майкоп.

Во всех вариантах выбранные максимальные вероятные значения оказывались выше, чем средние из трех максимально наблюденных величин. В отдельных случаях выше оказались максимальные наблюденные значения. Особенно это характерно для ненабегающих осей тележек, когда возникает значительный разброс наблюдаемых значений.

Аналогичная картина наблюдается и для боковых нагрузок на рельсы в двух опытных участках пути (рис. 2). В целом, оценка экспериментальных данных теоретическим вероятностным законом дает увеличение до 5 %, что при определении допустимой скорости позволяет использовать ее в качестве величины, характеризующей всю генеральную совокупность данных.

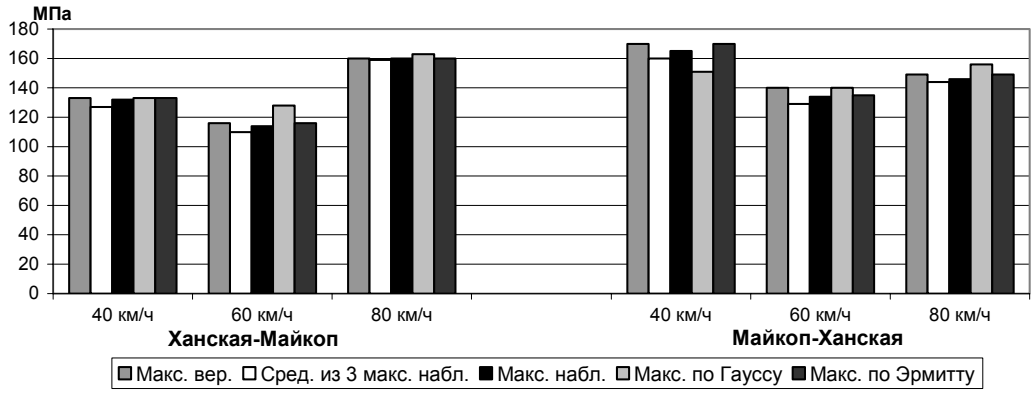
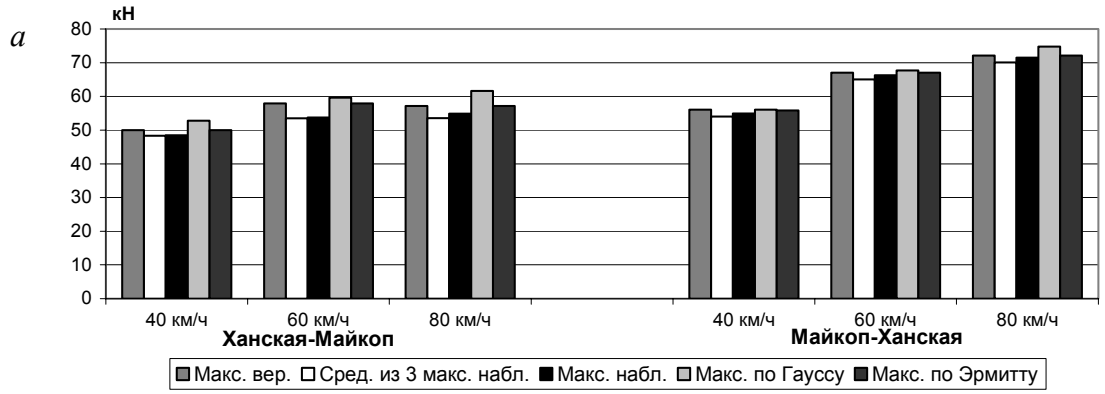


Рис. 1. Максимальные вероятные и наблюденные значения напряжений в кромках подошвы рельсов под грузовым полувагоном в кривой радиусом 350 м



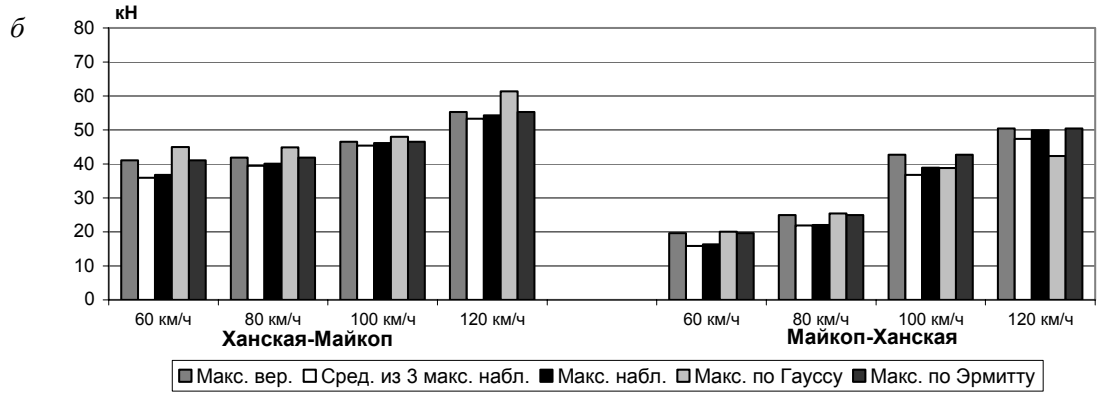


Рис. 2. Максимальные вероятные и наблюденные значения боковых сил под грузовым полувагоном:
а – в кривой радиусом 350 м; *б* – в кривой радиусом 650 м

Для получения максимально достоверных данных по максимальным измеренным величинам на опытном участке необходимо определить не только количество заездов, но и приборов, а также места их расположения. Выбор мест установки датчиков в пределах определенного опытного участка представляет собой отдельную задачу. Согласно принятой методике должны быть выбраны сечения, где подвижной состав оказывает на путь максимальное воздействие.

Показателями для выбора таких сечений могут являться отступления в геометрии пути и величины показателей динамики подвижного состава. Так как все рассматриваемые процессы являются случайными, то другой серьезной проблемой испытаний по воздействию на путь является определение количества проводимых опытных заездов. Их должно быть достаточно для обеспечения достоверности полученных результатов, но проведение избыточных заездов приводит к удорожанию и затягиванию испытаний. В настоящее время количество заездов определяется с учетом полученных в предыдущих испытаниях средне-

квадратических отклонений показателей воздействия на путь. Такой метод был обусловлен тем, что ранее обработка экспериментальной информации по всей совокупности данных при ручной расшифровке осциллограмм обычно занимала несколько недель, что делало невозможным проведение оценок во время испытаний.

Существующие в настоящее время методы измерений и обработки опытных данных, основанные на использовании современных технических средств, позволяют получать результаты практически в реальном масштабе времени. Это позволяет поставить задачу оценки достаточности полученной экспериментальной информации во время проведения эксперимента.

Наиболее трудоемким этапом обработки являлась расшифровка опытных записей с выделением воздействия от каждой оси опытных экипажей. Применение автоматизированных программ обработки дает возможность значительно ускорить данный процесс.

На рис. 3 приведен пример обработки записи боковых нагрузок при испытаниях грузовых вагонов в кривой радиусом 350 метров. Опытный поезд состоял из трех опытных полувагонов, полувагона-эталона, двух локомотивов и вагон-лаборатории.

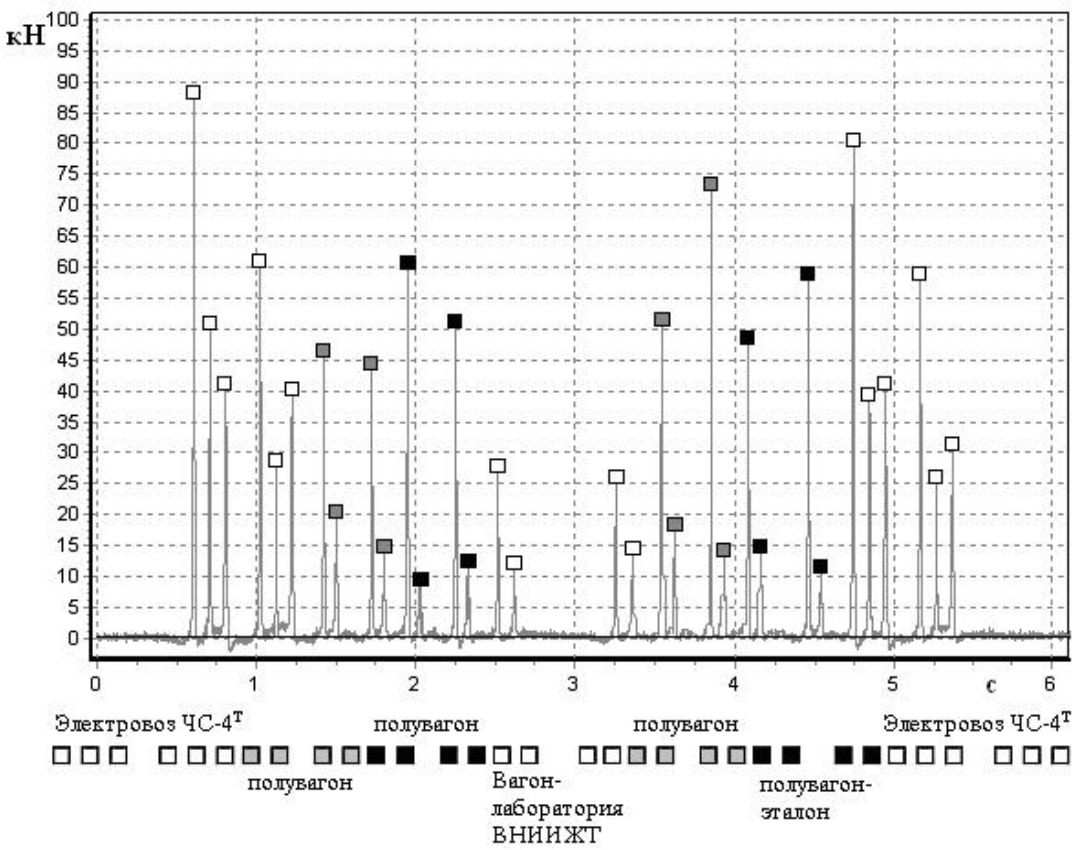


Рис. 3. Пример обработанной записи боковых сил

Запись каждого прибора в одном заезде представляет собой совокупность отдельных импульсов, соответствующих возникающим в одном и том же сечении пути напряжениям и нагрузкам под всеми осями опытного поезда. На приведенном рисунке хорошо видны величины боковых нагрузок на рельс в опытном сечении, возникающие при воздействии на него каждой колесной пары.

Следующим этапом обработки экспериментальных данных является объединение полученных значений по всем приборам одного типа, количество которых обычно составляет 12-16, согласно принятой методике в одну статистику. Отдельно рассматриваются скорости и направления движения, а также воздействие от каждой оси экипажей, входящих в опытный поезд.

При испытаниях грузовых вагонов были проведены расчеты по определению математического ожидания и среднеквадратического отклонения (СКО) показателей воздействия на путь в зависимости от количества заездов и приборов в выборке. Для определения достаточности полученного экспериментального материала была использована оценка величины изменения среднего значения и дисперсии показателей напряженно-деформируемого состояния пути под воздействием на него опытного экипажа.

Для проведения анализа были выбраны варианты движения с максимальной скоростью в двух опытных участках, именно эти случаи характеризуются большим разбросом случайных величин, которыми в общем случае являются регистрируемые показатели взаимодействия.

На рис. 4 приведены зависимости характеристик напряжений в кромках подошвы рельсов по всем приборам в зависимости от количества проведенных заездов. На рис. 5 – в зависимости от количества используемых приборов по всем заездам. На приведенных графиках в качестве границы взято 0,02 значения ожидаемого показателя.

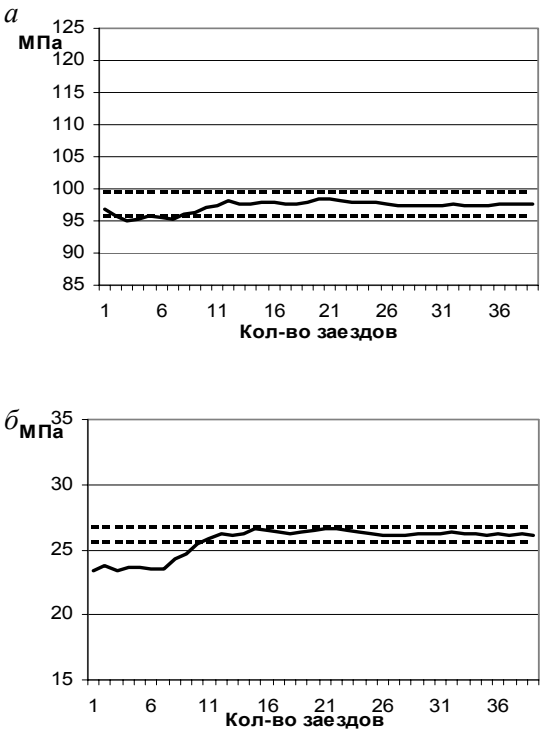


Рис. 4. Напряжения в кромках подошвы рельсов в кривой радиусом 350 м при скорости движения 80 км/ч в зависимости от количества заездов:
а – среднее значение; *б* – среднеквадратическое отклонение

Как видно из рис. 4 по заездам в рассматриваемом случае наблюдается достаточно хорошая повторяемость экспериментальных данных. После 11 заездов и среднее значение, и среднеквадратическое отклонение не выходят за границы выделенной области. Таким образом, проведение всех последующих заездов дает уточнение не превышающее 4 %.

Из рис. 5 видно, что значение отдельных приборов может оказываться более значительным. Движение вагона в общем случае описывается сложной нелинейной колебательной системой [2; 3]. Возникающие при наличии колебаний перемещения центра необрессоренных масс тележки поперек рельсовой колеи приводят к значительным изменениям воздействия вагона на путь в горизонтальной плоскости.

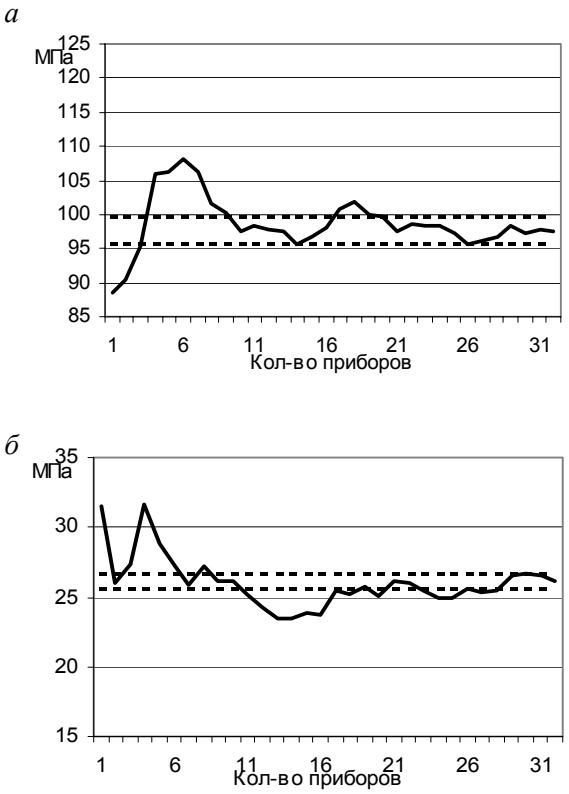


Рис. 5. Напряжения в кромках подошвы рельсов в кривой радиусом 350 м при скорости движения 80 км/ч в зависимости от количества приборов:
а – среднее значение; б – среднеквадратическое отклонение

Разница в показателях воздействия в разных сечениях пути приводит к тому, что среднее значение напряжений в кромках подошвы рельсов (см. рис. 5) оказывается в пределах заданной области только после включения в совокупность 18 приборов, среднеквадратическое значение лишь при рассмотрении практически всей экспериментальной информации. Наличие достаточно резких скачков свидетельствует о появлении в выборки приборов, показания по которым значительно отличаются от основной совокупности.

Полученные результаты свидетельствуют, что после проведения определенного количества заездов, наблюдаются только незначительные изменения характеристик случайных величин. Таким образом, проведение подобного анализа во время испытаний позволит установить необходимое количество заездов для получения достоверной информации с определенной точностью.

Алгоритм определения достаточного количества заездов должен включать следующие шаги:

– задание желаемой точности до проведения опытных поездок;

– проведение цикла поездок на одной скорости;

– обработка экспериментальных данных по каждому прибору с выделением воздействия от всей осей опытных экипажей (см. рис. 3);

– вычисление характеристик рассматриваемых случайных величин в зависимости от количества заездов в выборке (см. рис. 4 и 5);

– принятие решение о достаточности полученной информации в том случае, если по всем рассматриваемым показателям, изменение характеристик происходит в рамках заданной точности, в противном случае – продолжение опытных поездок.

Более сложным является вопрос определения количества приборов, которое затруднительно увеличивать при проведении испытаний. Полученные результаты показывают, что добавление в выборку дополнительного прибора может привести к резким изменениям среднего значения и среднеквадратического отклонения до 5 и 10 % соответственно в зависимости от места установки.

Оценка необходимого количества заездов и приборов до заездов производится по методике описанной в [4]. Для полученной максимальной вероятной величины с заданной точностью Δ количество значений N данных как по заездам, так и по приборам, в выборке должно быть не менее чем:

$$N \geq \frac{9{,}375 \cdot S^2}{\Delta},$$

где S – ожидаемое среднеквадратическое отклонение, определяемое по предыдущим испытаниям подвижного состава близкого по конструкции к испытуемому.

При таком методе обеспечивается вероятность 0,994.

В рассматриваемых испытаниях при движении в кривой радиусом 350 м со скоростью 80 км/ч для обеспечения точности измерения 5 МПа необходимо было провести 254 измерения (по прошлым испытаниям среднеквадратическое отклонение составило 26 МПа). Как видно из графиков для рассматриваемого вагона СКО оказалось несколько ниже ожидаемого, но при этом наблюдалось значительное изменение СКО от количества приборов, включенных в выборку.

Таким образом, различные варианты количества заездов и приборов могут давать принципиально разные результаты, что не учитывается используемой оценкой. Она может применяться только в тех случаях, когда количество приборов остается неизменным.

Обычно в качестве мест установки приборов выбирают участки с наибольшими отступлениями в плане и профиле пути. Но иногда места размещения приборов определяются по результатам предварительных поездок опытного поезда с измерением рамных сил, которые принимаются в качестве основных индикаторов для выявления экстремальных мест. Обусловлено это тем, что максимальные силы взаимодействия далеко не всегда возникают в местах с максимальными отступлениями в пути.

Для анализа существующих подходов проведено сопоставление опытных записей по динамике вагонов и по воздействию на путь для вариантов движения с максимальной скоростью. Эти варианты были выбраны по двум основным причинам: на них было реализовано наибольшее количество опытных заездов, в них достигается максимальное непогашенное ускорение, при котором воздействие на наружную нить кривой является наибольшим.

Для каждого сечения пути, где были установлены приборы, были построены гистограммы распределения рамных сил, измеряемых на вагонах, и боковых сил, действующих на рельсы по всей совокупности заездов. Они были сведены в график (рис. 6) по координатам пути, где также приводятся ширина колеи и стрела изгиба по ручным промерам кривой, проведенным во время испытаний. Исследуемые сечения пути на графиках боковых и рамных сил разделены на две группы для лучшего отображения. Отдельно показаны нечетные и четные сечения пути.

На рис. 6 представлены данные, полученные при движении грузового полувагона в кривой радиусом 650 метров со скоростью 120 км/ч. Этот вариант был выбран, как характеризующийся наибольшим разбросом величин рамной силы на опытном участке.

Результаты сопоставления максимальных рамных сил на опытном участке, боковых нагрузок на рельсы и отступлений в геометрии рельсовой колеи показывают, что наибольшие силы взаимодействия могут быть смещены относительно наибольших отступлений (рис. 6).

Рамная сила может быть определена, как сумма боковых нагрузок от колесной пары на две рельсовые нити. При скорости движения 120 км/ч реализуется непогашенное ускорение 0,7 м/с^2 и происходит почти постоянное набегание первой колесной пары на наружную нить кривой. При скорости движения 80 км/ч, близкой к равновесной для данной кривой, положение колесной пары в кривой меняется в больших пределах. При этом боковая нагрузка на внутренний рельс кривой, определяемая силой трения, может оказывать большее влияние на изменение рамной силы в круговой части кривой.

а

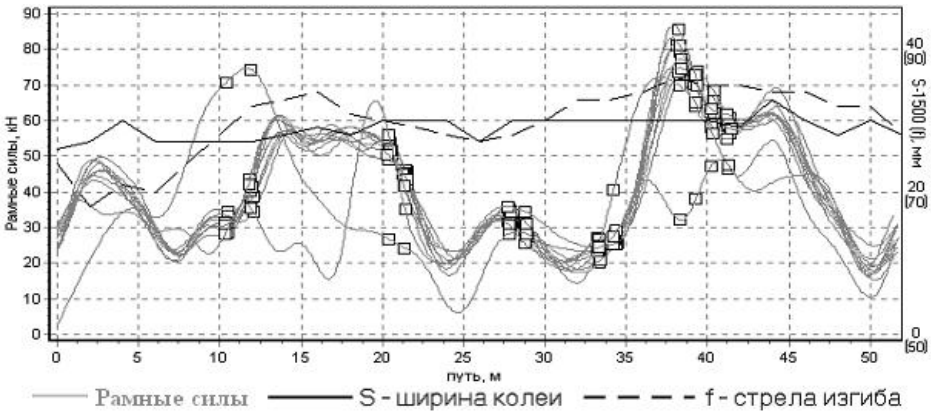


Рис. 6. Рамные силы 1-й оси полувагона и боковые силы на рельсах при воздействии на путь этой оси при движении в кривой 650 м при скорости движения 120 км/ч в направлении Майкоп-Ханская:
а – рамные силы на опытном участке, ширина колеи и стрела изгиба по данным ручных промеров;
б – гистограммы распределения рамных сил в сечениях пути, соответствующих приборам;
в – гистограммы распределения боковых сил на опытном участке (см. стр. ,)

б

в

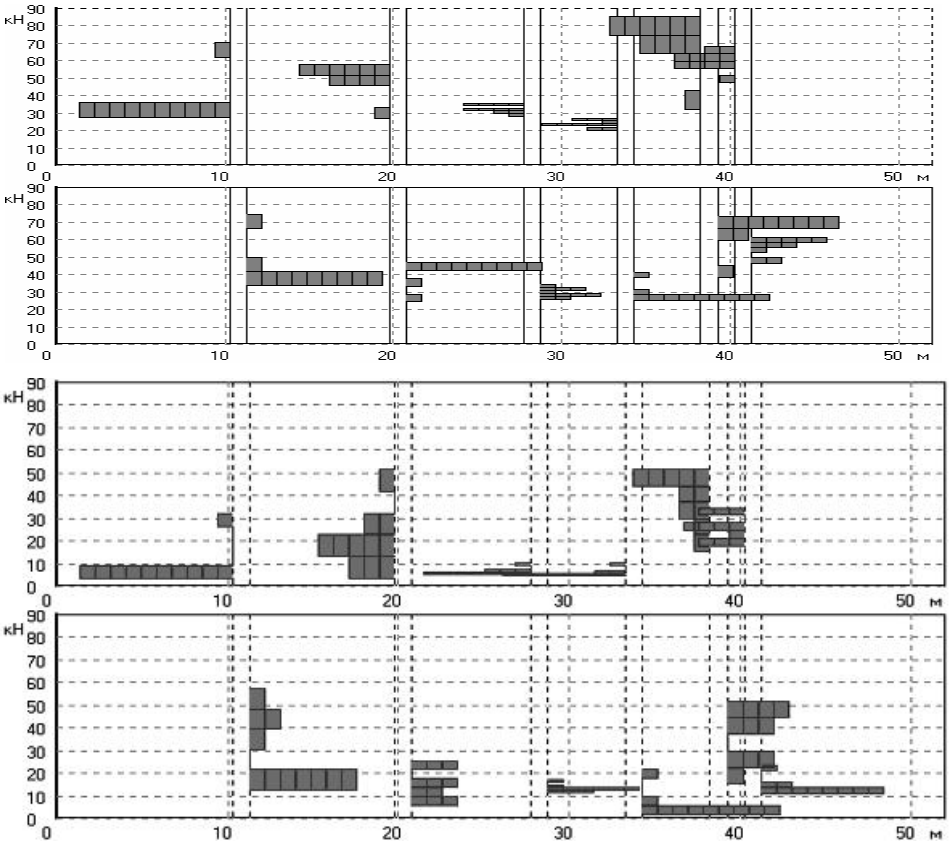


Рис. 6. Окончание

Рамная сила (см. рис. 6, *а*) на опытном участке имеет два выраженных максимума в районе участков с наибольшей кривизной. Почти во всех опытных поездках рамная сила достаточно хорошо воспроизводилась, разница составляла не более 10 кН. Однако в одном заезде произошло значительное изменение как по уровню, так и по характеру – сместился участок, где достигается максимальное значение.

Между рамными силами на вагоне и боковыми нагрузками на рельсы существует зависимость (см. рис. 6, *б* и *в*). Она проявляется в одновременном достижении максимумов, значительном отличии одного заезда от остальных, меньшим разбросом значений в середине участка.

Как известно, в частности, из работ ВНИИЖТа [5; 6] максимальное боковое воздействие на путь в зоне горизонтальной неровности может не совпадать с максимумом неровности. Величина смещения определяется как параметрами самой неровности и участка пути, так и параметрами полувагона.

Было проведено моделирование движения полувагона на тележках 18-100 в кривой радиусом 650 м при одиночной горизонтальной неровности пути и движении со скоростями 80 и 120 км/ч. Целью данного исследования являлось определение влияния отступления в пути на места появления наибольших значений рамных и боковых сил. Результаты моделирования и заданная неровность приведены на рис. 7.

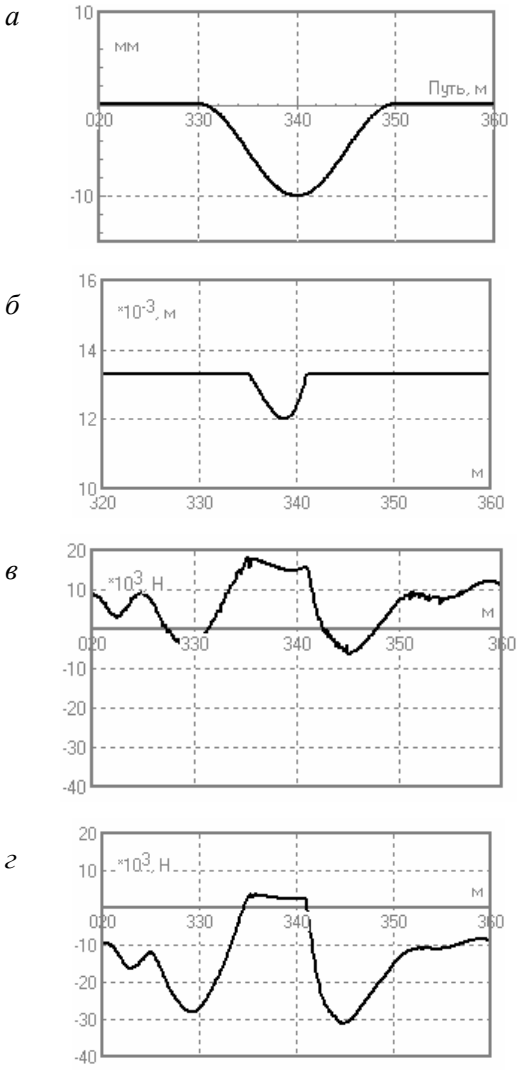


Рис. 7 – Моделирование движения полувагона на тележках 18-100 в кривой радиусом 650 м:
а – горизонтальная неровность; *б* – боковое смещение колеса относительно рельса при скорости 80 км/ч;
в – рамные силы при скорости движения 80 км/ч;
г – боковые силы на наружной рельсовой нити при скорости движения 80 км/ч

Как видно из рис. 7 между максимумом неровности и наибольшими силами взаимодействия пути и вагона наблюдается смещение, примерно равное 2…4 м. Кроме того, на графике рамной силы при скорости 80 км/ч видна область, в которой рамная сила направлена в противоположную сторону. В этом случае набегания колеса происходит (см. рис. 7, *б*), боковая сила на наружном рельсе может быть меньше, чем на внутреннем. Подобное явление вносит дополнительную неопределенность в корреляции рамных и боковых сил.

Таким образом, делать выводы по одной рамной силе о местах максимального воздействия на наружную нить кривой можно только с определенными ограничениями. Кроме того, определение мест установки приборов по рамной силе затруднительно в испытаниях, где одновременно испытываются два и более объектов, так как для них возможны разные места возникновения максимальных рамных сил.

Так как обычно, исходя из условий эксперимента возможно оборудование приборами 2–3 рельсовых звеньев длиной 25 м, то на этом участке следует определить 2–3 зоны с максимальными отступлениями в геометрии пути. С учетом смещения максимума боковой силы от вершины неровности протяженность каждой зоны может составить 10…12 м. В этих выбранных участках следует располагать приборы с равномерным шагом в 1…2 м.

В том случае, если количество приборов превосходит измерительные возможности, возможно проведение установки дополнительных приборов и дополнительных заездов перед основным циклом испытаний с выявлением сечений пути, где показатели воздействия наибольшие. Для исключения лишних приборов имеет смысл применять предложенный ранее метод оценки среднего значения и СКО выборки. Кроме того, дополнительным индикатором может также являться и рамная сила с учетом неизвестной составляющей боковой силы на втором рельсе.

Выводы

1. Применяемая оценка необходимого количества измерений не учитывает отдельно количество заездов и приборов и может использоваться только при одной и той же совокупности приборов.

2. Количество и места установки приборов могут значительно влиять на результаты испытаний даже на пути хорошего состояния.

3. Повторяемость результатов по заездам, по показателям динамики вагона и воздействия на путь достаточно велика.

4. Оценка по максимально вероятным величинам, определяемым с вероятностью 0,994, при обработке в большинстве случаев дают оценку сверху.

5. Между местами наибольших отступлений в пути и экстремальными значениями показателей взаимодействия пути и подвижного состава наблюдается смещение, зависящее от параметров участка пути и экипажа.

6. Сечения для установки приборов на пути должны определяться по отступлениям в геометрии пути; по результатам промеров пути следует выделять две-три зоны протяженностью 10…12 м, в которых равномерно размещаются приборы; возможно проведение вспомогательных заездов для выделения сечений, где воздействие на путь наибольшее.

7. Применение современных технических средств позволяет проводить оценку в реальном масштабе времени и корректировать необходимый объем данных для получения достоверных результатов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М. Ф. Вериго, А. Я. Коган. – М., 1986.
2. Ромен Ю. С. О нелинейных колебаниях железнодорожного экипажа в кривых произвольного очертания // Сб. трудов ВНИИЖТ, – 1967. – Вып. 347, – С. 5–26.
3. Коган А. Я. Диссипативность в большом нелинейных колебаний четырехосного грузового вагона / А. Я. Коган, Ю. С. Ромен // Сб. трудов ВНИИЖТ, – 1967, – Вып. 347, – С. 27–32.
4. Вериго М. Ф. Методическое пособие по применению математической статистики в обработке опытных данных. – Новосибирск, 1964.
5. Чибизова Н. Г. Решение на АВМ частной задачи бокового воздействия полувагона на путь в кривой в зоне горизонтальной неровности // Сб. трудов ВНИИЖТ, – 1967, – Вып. 347. – С. 33–37.
6. Чибизова Н. Г. Исследование на АВМ воздействия грузового полувагона на путь в кривых с неровностями в плане // Сб. трудов ВНИИЖТ, – 1967, – Вып. 347, – С. 38–53.

Поступила в редколлегию 14.07.2006.

УДК 656.213.073.23

А. А. БОСОВ, Н. А. МУХИНА (ДИИТ), А. И. КУЗЬМЕНКО (Академия таможенной службы Украины)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ПЕРЕХОДЕ С КОЛЕИ 1 435 ТА 1 520 мм

Запропоновано удосконалений метод розрахунку основних показників одноканальної СМО з ерланговським вхідним потоком та експоненційним часом обслуговування її раціонального завантаження.

Предложен усовершенствованный метод расчета основных показателей одноканальной СМО с эрланговским входящим потоком и экспоненциальным временем обслуживания и её рациональной загрузки.

The advanced method is offered of calculation of main factors of a singular channel quene system with Erlang incomer flow and exponential service time and its rational load.

Исследованию потока поездов посвящено достаточно много публикаций, укажем на работы [1; 2], в которых особое внимание уделяется моделированию потока поездов как случайного потока с распределением интервалов времени между поездами по закону Эрланга с дифференциальной функцией распределения

$$f(t)=\frac{\lambda(\lambda t)^{k-1}}{(k-1)!}e^{-\lambda t},$$

где λ и k – параметры распределения.

Отметим, что при $k=1$ распределение Эрланга переходит в экспоненциальное, а при $k\geq 9$ приближается к нормальному. Если $k\to\infty$, то получим регулярный поток [1].

Имея в виду применение результатов моделирования на транспорте, рассмотрим отдельные технические устройства пограничной передаточной станции (сортировочную горку или вытяжной путь, пункт перегруза, пункт перестановки тележек, напольное устройство SUW-2000) как одноканальную систему массового обслуживания (СМО) с эрланговским входящим потоком и временем обслуживания, распределенным по экспоненциальному закону с параметром μ, установившийся режим которой подробно рассматривается в [3].

В данной статье предлагается новый способ расчета установившегося режима такой системы и решение задачи определения рациональных параметров с позиции минимизации потерь от простоя СМО и пребывания поездов в очереди на обслуживание.

Прежде чем рассмотреть поток Эрланга с произвольным k, положим $k=3$.

В этом случае граф возможных состояний можно представить в виде рис. 1.

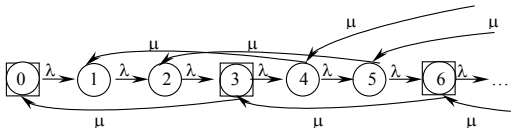


Рис. 1. Граф состояний и переходов в СМО при $k=3$

На рис. 1 кружками обозначены состояния простейшего потока, а квадратики отражают состояния СМО для потока Эрланга при $k=3$.

Дифференциальные уравнения для вероятностей состояний системы представлены в виде:

$$\frac{dP_0}{dt}=-\lambda P_0+\mu P_k;$$

$$\frac{dP_m}{dt}=-\lambda P_m+\lambda P_{m-1}+\mu P_{m+k},\ m<k;$$

$$\frac{dP_m}{dt}=-(\lambda+\mu)P_m+\lambda P_{m-1}+\mu P_{m+k},\ m\geq k,$$

…….

Установившийся режим определится следующей системой алгебраических уравнений:

$$\begin{cases}0=-\lambda P_0+\mu P_3;\\ 0=-\lambda P_1+\lambda P_0+\mu P_4;\\ 0=-\lambda_2 P_2+\lambda P_1+\mu P_5;\\ 0=-\lambda_2 P_2+\lambda P_1+\mu P_5;\\ *0=-(\lambda+\mu)P_3+\lambda P_2+\mu P_6;\\ *0=-(\lambda+\mu)P_4+\lambda P_3+\mu P_7;\\ *0=-(\lambda+\mu)P_5+\lambda P_4+\mu P_8;\\ *0=-(\lambda+\mu)P_6+\lambda P_5+\mu P_9;\\ .....,\end{cases}\qquad(1)$$

к которой необходимо добавить начальное условие

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i = 1 . \qquad (2)$$

Решение системы, составленной из уравнений, помеченных (*), будем искать в виде $P_v = y^v$, где произвольное уравнение может быть представлено следующим образом:

$$-(\lambda+\mu)P_n + \lambda P_{n-1} + \mu P_{n+\kappa} = 0 . \qquad (3)$$

После подстановки $P_v = y^v$ в (3) получим

$$-(\lambda+\mu)y^n + \lambda y^{n-1} + \mu y^{n+k} = 0.$$

Поделив уравнение на y^{n-1} и положив при этом $r = \lambda/\mu$, получим

$$-(r+1)y + r + y^{\kappa+1} = 0 ,$$

Учитывая, что $k = 3$, приходим к уравнению

$$y^4 - (r+1)y + r = 0 . \qquad (4)$$

Легко убедиться, что $y = 1$ является решением уравнения (4), следовательно, его можно представить в виде

$$(y-1)\left(y + y^2 + y^3 - r\right) = 0 ,$$

а так как значение $y = 1$ нельзя взять для определения P_v в силу условия (2), то с необходимостью приходим к решению уравнения

$$y + y^2 + y^3 = r .$$

Для произвольного k имеем

$$\sum_{v=1}^{\kappa-1} y^v = r .$$

Данное уравнение при $r < k$ имеет единственный положительный корень, меньший 1.

В общем случае при $v \ge k$ вероятности P_v могут рассчитываться по формуле (5)

$$P_v = cy^v . \qquad (5)$$

Постоянный множитель c в этом случае определяется из первого уравнения системы (1)

$$-rP_0 + cy^3 = 0$$

или в общем случае

$$-rP_0 + c \cdot y^{\kappa} = 0 ,$$

откуда

$$c = \frac{r}{y^{\kappa}} \cdot P_0 ,$$

что позволяет представить произвольное P_n через P_0 в виде

$$P_n = rP_0 y^{n-\kappa}, \quad n \ge \kappa .$$

Значение P_0 определим из условия (2) с учетом того, что

$$P_v = \frac{P_0\left(1 - y^{v+1}\right)}{1-y} \quad \text{при} \quad \nu = 1, 2, ..., k-1 ,$$

где P_v – решения системы уравнений (2), не помеченных звездочкой.

Условие (2) через P_n представим в виде

$$P_0 + \sum_{v=1}^{\kappa-1} P_v + \sum_{n=\kappa}^{\infty} P_n = 1$$

или

$$P_0 + \frac{P_0}{1-y}\sum_{v=1}^{\kappa-1}\left(1 - y^{v+1}\right) + rP_0 \sum_{n=\kappa}^{\infty} y^{n-\kappa} = 1 ,$$

откуда

$$P_0 = \frac{1-y}{k - y - \dfrac{y^2 - y^{\kappa+1}}{1-y} + r} . \qquad (6)$$

В выражении (6) y является решением уравнения

$$y + y^2 + \ldots + y^{\kappa-1} = r .$$

Для решения данного уравнения воспользуемся пакетом символьных вычислений [4].

Рассмотрим пример, когда $k = 3, r = 3{,}5$, а $y = 0{,}883379$.

Положим

$$\vartheta_0 = P_0 + P_1 + ... + P_{\kappa-1};$$

$$\vartheta_1 = P_{\kappa} + P_{\kappa+1} + \ldots + P_{2\kappa-1}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\vartheta_m = P_{m\cdot\kappa} + P_{m\cdot\kappa+1} + ... + P_{(m+1)\kappa-1}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots,$$

тогда среднее число поездов в СМО будет равно

$$\bar{m} = \sum_{m=0}^{\infty} m\vartheta_m = \sum_{m=0}^{\infty} m \cdot \sum_{v=0}^{\kappa-1} P_{m\kappa+v} .$$

После элементарных преобразований получим

$$\bar{m} = \frac{rP_0}{\left(1 - y^{\kappa}\right)(1-y)} .$$

Затраты от простоя СМО и пребывания поездов в очереди будем учитывать по формуле

$$Z = P_0 + c\bar{m},$$

где c – отношение стоимости поезда-часа к стоимости СМО-часа.

Зависимость функции затрат z от параметра r при заданных κ и c представлена на рис.2.

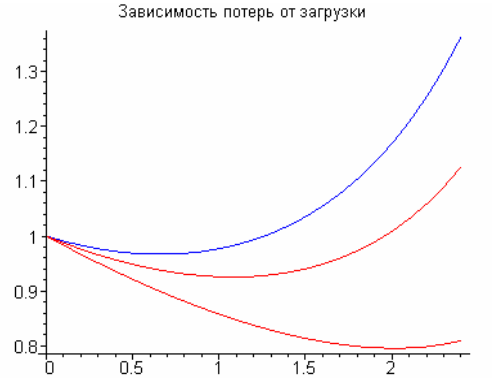


Рис.2. Зависимость $z(r)$ при трех значениях c и $k = 3$

Как следует из рисунка, при фиксированных c и k функция $z(r)$ имеет минимум.

На рис. 3 представлена зависимость параметра r как функции c, при котором z принимает минимальное значение.

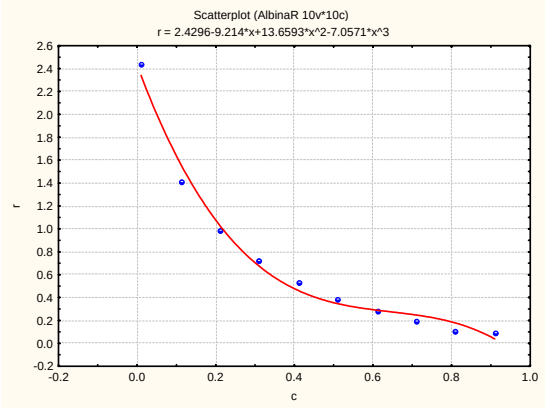


Рис. 3. Зависимость минимальных затрат $r(c)$, при которой реализуется $\min\limits_{r} Z$

На рис. 4 представлена зависимость минимальных затрат как функция от параметра c.

С достаточной степенью точности данная зависимость может быть описана полиномом третьей степени

$$\min_r Z(r,c) = 0,0626 + 1,1217 \cdot c - 1,6892 \cdot c^2 + 0,8683 \cdot c^3,$$

а значение параметра $r(c)$, при котором z достигает своего наименьшего значения равно

$$r(c) = 2,4296 - 9,214\ c + 13,6593c^2 - 7,0571c^3.$$

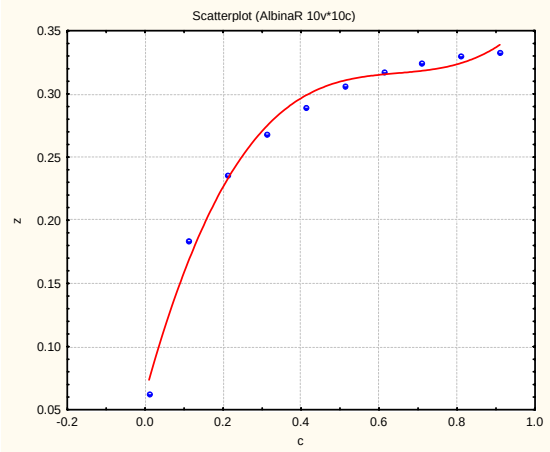


Рис. 4. Зависимость минимальных потерь z от параметра c

Для построения аналогичных зависимостей, (см. рис. 3, 4), при произвольном k предлагается программа на языке Maple.

Программа (в среде Maple8)

```
> restart:with(plots):
  Warning, the name changecoords has been redefined
> k:=3:
> f:=x->sum(x^i,i=1..k);
```

$$f := x \to \sum_{i=1}^{k} x^i$$

```
> MZS:=proc(A,B,E,F) local a,b,e,x1,x2,f1,f2,f;global y;a:=A:e:=E:f:=F:b:=B:x1:=evalf(a+(3-sqrt(5))*(b-a)/2, 9):x2:=evalf(a+(-1+sqrt(5))*(b-a)/2, 9):f1:=evalf(f(x1), 9):f2:=evalf(f(x2), 9):while (b-a)>e do if(f1<f2) then b:=x2:x2:=x1:f2:=f1:x1:=evalf(a+(3-sqrt(5))*(b-a)/2, 9):f1:=f(x1):b-a:fi:if(f1>f2) then a:=x1:x1:=x2:f1:=f2:x2:=evalf(a+(-1+sqrt(5))*(b-a)/2, 9):f2:=f(x2):b-a:fi:if(f1=f2) then a:=x1:b:=x2:b-a:fi:od:y:=(a+b)/2:end:
> R:=array(1..500):ZZ:=array(1..500):C:=array(1..500):
> m:=1:for c from 0.01 by 0.01 to 1 do z0:=1000:for r from 0.01 by 0.01 to k do A:=0.01:B:=k-.01:E:=0.0001:F:=x->abs(f(x)-r):MZS(A,B,E,F):po:=(1-y)^2/((1-y)^2+(k-1)*(1-y)-y^2+y^(k+1)+r*(1-y)):Mcp:=r*po/((1-y^k)*(1-y)):Z:=po+c*Mcp:if z0>Z then r0:=r:z0:=Z:Tcp0:=Tcp end if:end do:R[m]:=r0:ZZ[m]:=5*z0:C[m]:=c:m:=m+1:end do:pR:=plot([C[m1],R[m1],m1=1..m-1],color=blue):pZZ:=plot([C[m1],ZZ[m1],m1=1..m-1]):display({pR,pZZ});
```

Эта программа при заданном k позволяет строить кривые $r(s)$ и $\min\limits_{r} Z = f(c)$ (рис. 5).

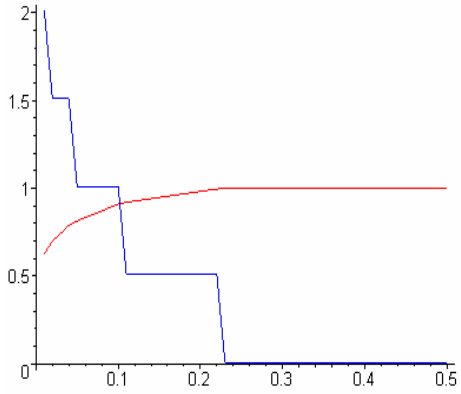


Рис. 5. Спадающая кривая – $r(c)$;
возрастающая кривая – $\min\limits_{r} Z$

Заметим, что появление ступенек в кривой $r(c)$ обусловлено конечностью шага при определении минимума $Z(r,c)$ по r. Таким образом, если заданы параметры потока (λ,k) и отношение стоимостей простоя поездов к стоимости простоя СМО, то данная процедура позволяет определить рациональное значение параметра $r(c,k)$, а тем самым и свойство СМО по обработке, т. е. среднее время обработки поезда в виде

$$\frac{1}{\mu} = \frac{r(c,\kappa)}{\lambda}.$$

Чтобы избежать ступенек (см. рис. 5), необходимо уменьшить шаг по Δr. Взяв $\Delta r = 0{,}01$, получим более гладкую кривую (рис. 6)

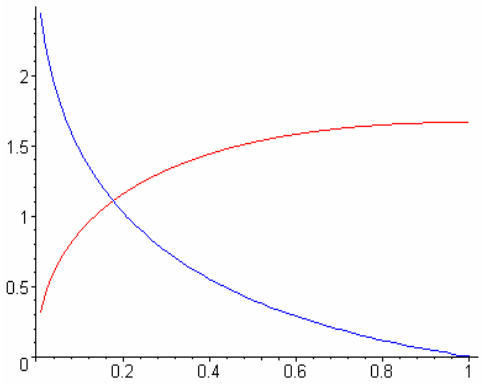


Рис. 6. Графики получены при $\Delta r = 0{,}01$

В этом случае машинное время, затраченное на решение задачи, составило 1531,1 с.

Для сокращения времени счета при построении графиков, в процессе решения уравнения

$$\sum_{i=1}^{\kappa-1} x^i = r,$$

пришлось отказаться от использования стандартной операции *solve* и создать процедуру поиска минимума по методу золотого сечения [5] для унимодальной функции

$$F(x) = \left| \sum_{i=1}^{\kappa-1} x^i - r \right|.$$

При точности поиска минимума $E = 0{,}0001$ время на построение кривых (см. рис. 6) составило 458,0 с, т. е. примерно в 3,3 раза затраты времени стали меньше.

Имя процедуры MZS(A,B,E,F), где A – левый конец, а B – правый конец интервала, на котором расположено значение x_*, минимизирующее $F(x)$, формальный параметр E представляет собой точность определения x_*.

Если воспользоваться приближенной формулой

$$r(c) = 2{,}4296 - 9{,}214\ c + 13{,}6593c^2 - 7{,}0571c^3,$$

при этом положить $\Delta r = 0{,}01 \cdot \kappa$, $A = 0{,}001$; $B = r(c) + \Delta r$, а далее применить процедуру MZS, то время счета составит 125 с.

Как известно, процесс передачи грузов на пограничных передаточных станциях с колеи 1435 на 1520 мм и наоборот, может осуществляться путем перегруза, перестановки тележек вагонов или с использованием раздвижных колесных пар. Рассмотрим путевое устройство SUW-2000 по изменению расстояния между колесами [6]. Обслуживание состоит в прохождении поезда по данному устройству со скоростью ϑ. Если средняя длина поезда равна L, тогда среднее время обслуживания будет равно

$$\frac{1}{\mu} = \frac{L+e}{\vartheta},$$

где e – длина устройства SUW-2000 с учетом участков пути подхода и ухода поезда. С другой стороны, это время должно удовлетворять соотношению

$$\frac{L+e}{\vartheta} = \frac{r(c,\kappa)}{\lambda},$$

откуда можно определить рациональную скорость движения поезда по устройству SUW-2000 в виде

$$\vartheta = \frac{(L+e)\lambda}{r(c,\kappa)}.$$

При отношении стоимости простоя устройства к стоимости простоя поезда в очереди $c = 0,04$ и параметрах потока поездов $\lambda = 7,54$; $\kappa = 3$ из графика (см. рис. 6) получим $r(c,\kappa) = 1,51$. Положив $L = 1,2$ км, $e = 100 + 27,1 = 127,1$ м, определим

$$\vartheta = \frac{(1,2 + 0,1271)\cdot 7,54}{1,51} = 6,63 \text{ км/ч},$$

при этом среднее время обслуживания поезда составит 12 мин.

Предложенный в статье подход позволит более оперативно и точно определять время пребывания поездов на технических устройствах передаточных станций и может быть использован для повышения эффективности пропуска грузовых поездов через границу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаболин Н. Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях. – М.: Транспорт. 1973. – 184 с.
2. Акулиничев В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков. – М.:Транспорт. 1981, –223 с.
3. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. – М.: Советское радио. 1965. – 510 с.
4. Васильев А. Н. Самоучитель Maple 8, – М.–СПб–К, Диалектика, 2003. – 352 с.
5. Васильев Ф. П. Численное решение экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. –518 с.
6. Сувальский Р. М. SUW-2000 – новое решение для железнодорожных сообщений / Р. М. Сувальский, Ю. В. Демин. // Железнодорожный транспорт №6(33), 2003. – С. 24–27.

Поступила в редколлегию 06.07.2006.

УДК 510.67+519.765

В. М. ІЛЬМАН (ДІІТ)

ВЛАСТИВОСТІ ФОРМАЛЬНИХ СТРУКТУР ТА ЇХ ПІДСТРУКТУР

Для проектування систем пропонується застосовувати формальну структуру, як трикомпонентний об'єкт з множиною елементів, сигнатурою і аксіоматикою. Наведені деякі властивості структур і їх підструктур. Розглянуто проблему відтворення формально граматичних структур за мовними підструктурами.

Для проектирования систем предлагается использовать трехкомпонентную формальную структуру со множеством элементов, сигнатурой и аксиоматикой. Приведены некоторые свойства структур и их подструктур. Рассмотрена проблема восстановления формально грамматических структур по языковым подструктурам.

For designing of systems, it has been prposed to use a three-component formal structure with a set of elements, a signature and axiomatics. Some properties of the structures and their substructures have been presented. The problem of recovering the formally grammatical structures with the help of language substructures has been considered.

Проектування багатьох складних систем у тому числі й систем залізничного транспорту можливо пов'язати з побудовою деякої формальної системи, котра моделює предметну область проектування. Як відомо, формальні системи дозволяють будувати мовні конструкції предметних областей і не враховують операції, правила їх застосування та їх властивості, за якими ці операції виконуються над конструктивними об'єктами. Тобто за межами формальних систем знаходяться важливі для проектування систем алгебраїчні властивості операцій і їх алгебраїчна структура. Тому у подальшій роботі введено у розгляд новий математичний об'єкт – формальна структура. Формальна структура визначена, як упорядкована трійка з множиною елементів деякої предметної області, сигнатурою – множиною операцій та аксіоматикою – сукупністю аксіом, правил та ін. Таким чином, у межах формальних структур можливо відтворювати необхідні конструкції предметних областей як мовні конструкції і визначати структури цих конструкцій або формальних ланцюжків, які їм відповідають.

У матеріалах даної роботи розглянуто об'єкти проектування, які моделюються за допомогою формальних породжувальних граматик [1; 2], з позицій формальних структур і на цій основі запропоновано новий підхід до розв'язання задачі, відтворення формальних породжувальних граматик.

Попередні відомості. Дамо спочатку декілька важливих для подальшого визначення конструктивних об'єктів та необхідних понять і позначень.

Нехай $A=\{o,a_1,a_2,\dots a_n\}$ довільний термінальний з порожнім елементом o алфавіт, $N=\{\alpha_1,\alpha_2,\dots\alpha_k\}$ – будь який нетермінальний алфавіт і $V=A\bigcup N$ їх словник, тоді позначимо через $\mathbb{F}(V)$ вільну мову на словникові V. Введемо у розгляд сигнатуру Σ як множину m-місних операцій $(\cdot)^m$, наприклад, операції заміщення $(\to^2)$, операції конкатенації $(\otimes^2)$ та інших операцій і введемо [4; 5] наступний формальний об'єкт.

Визначення 1. Породжувальною формальною граматичною структурою формальної граматики з сигнатурою Σ і аксіоматикою Λ назвемо упорядковану трійку

$$C=\langle V,\Sigma,\Lambda\rangle, \qquad (1)$$

де аксіоматика Λ може складатися з: аксіом початку, аксіом виводу та інших аксіом і систем продукцій та їх властивостей.

За визначенням 1 формальна структура C є граматичною, тобто є повною у тому розумінні, що, оскільки і в граматиках всі символи словника обов'язково використовуються в аксіомах і продукціях її аксіоматики. Тому, зрозуміло, що за заданою аксіоматикою однозначно відтворюється формальна граматична структура та її граматика, а також породжується певна формальна мова. У подальшому розглядаються тільки формально граматичні структури з одноелементною сигнатурою (використовується тільки операція заміщення $(\to^2)$) і аксіомами початку та виводу, наприклад, аксіоматика Λ структури (1) може мати такий вигляд

$$\Lambda=\begin{cases}\alpha\to b\,|\,\alpha=b-\text{аксіома виводу},\\ \sigma\to a\alpha-\text{аксіома початку},\\ \alpha\to b\alpha;\end{cases}$$

за якою породжується така мова

$$L(A) = \{ab^k; k \in \mathbb{N}\}.$$

Очевидно, для структури (1) в основному зберігаються результати отримані для формальних граматик, наприклад, у класі формально граматичних структур можливо виділити класи BC – структур і VC – структур, які відповідають контекстно залежним і контекстно вільним граматикам відповідно. Крім того для структур (1) можливо ввести поняття еквівалентності.

Визначення 2. Дві граматичні структури C_1 і C_2 еквівалентні (слабко), якщо вони породжують одну і ту ж мову, тобто $L(A_1) = L(A_2)$.

Для класів еквівалентних структур мають місце теореми 1,2 [3].

Теорема 1. У будь якому класі еквівалентності граматичних структур завжди існує нормальна структура C_h, тобто структура продукції і аксіоми аксіоматики, якої мають властивість $(x \to y;\ x \in \mathbb{F}(N))$.

Визначення 3. Структура C зветься нескороченою, якщо продукції і аксіоми її аксіоматики задовольняють властивості

$$(x \to y;\ |x| \le |y|,\ \ x, y \in \mathbb{F}(V)).$$

Визначення 4. Структура C зветься o – вільною граматичною структурою, якщо її аксіоматика не містить в собі продукцій і аксіом типу

$$(x \to \text{o};\ x \in \mathbb{F}(V)).$$

Теорема 2. У всякому класі еквівалентності з нескороченою однозначною структурою існує однозначна o – вільна BC – структура.

Але для формальних граматичних структур можливо встановити нові результати, наприклад, структура (1) є частково універсальною відносно вільної мови $\mathbb{F}(V)$ у тому розумінні, що структура визначена на словникові $V \subset \mathbb{F}(V)$ і породжує множину ланцюжків $L(V)$, по операції заміщення за аксіоматикою Λ, таку, що має місце ланцюг за включенням

$$L(A) \subset L(V) \subset \mathbb{F}(V).$$

Визначення 5. Звичайну формальну структуру $C_1 = \langle V_1, \{\to^2\}, \Lambda_1 \rangle$ назвемо підструктурою структури $C = \langle V, \{\to^2\}, \Lambda \rangle$, якщо $V_1 \subseteq V$ і $\Lambda_1 \subseteq \Lambda$. Підструктура C_1 є порожньою підструктурою, якщо вона породжує тільки порожню мову $L = \varnothing$, тобто 1) $V_1 = \{\text{o}\} = \varnothing$ або 2) $\Lambda_1 = \{x_i \to \text{o};\ i \in J\}$, або 3) ($V_1 = \{\text{o}\}$ і $\Lambda_1 = \{x_i \to \text{o};\ i \in J\}$), або 4) аксіоматика Λ_1 не має спільних символів зі словником V_1 для виводу хоча б одного ланцюжка $y \in \mathbb{F}(V_1)$.

Зауваження 1. Очевидно, наведене визначення порожньої підструктури за умовами 1)–4) еквівалентні згідно з визначенням 2.

Зрозуміло, що довільна не порожня підструктура граматичної структури C частково зберігає за собою той же тип, який має структура C, тобто як сама структура, так і її підструктури належать до одного з класів, наприклад, BC, VC – структур, крім того ця підструктура може частково породжувати або зовсім не породжувати ні одного ланцюжка мови $L(A)$.

Визначення 6. Підструктуру C^* формальної граматичної структури (1) назвемо породжувальною підструктурою, якщо існує вивід $W(l)$ ланцюжка l у структурі $C^* \subseteq C$, такий, що $l \in L(A)$. Породжувальну підструктуру $C^* \subseteq C$, в якій виводиться тільки один ланцюжок $l \in L(A)$ формальної мови граматичної структури C назвемо структурою ланцюжка l формальної мови $L(A)$.

Отже, довільна підструктура граматичної структури C тоді і тільки тоді породжувальна, коли її аксіоматика Λ^* містить у собі хоча б по одній аксіомі виводу та початку аксіоматики структури C. Оскільки під виводом $W(l)$ ланцюжка $l \in L(A)$ розуміється упорядкована послідовність безпосередньо виведених у структурі C_l^* проміжних ланцюжків [1; 2], то взагалі між структурою ланцюжка і його виводом існує тільки гомоморфне відношення, тому вивід $W(l)$ задає тільки будову ланцюжка l.

Нескладно бачити, що будь яка підструктура C_i структури C є частково універсальною відносно вільної мови $\mathbb{F}(V_1) \subseteq \mathbb{F}(V)$, тобто і відносно мови $\mathbb{F}(V)$.

Нехай C_1 і C_2 довільні підструктур структури C, під їх об'єднанням і перетином будемо розуміти $C_1 \cup C_2 = \langle V_1 \cup V_2, \Sigma, \Lambda_1 \cup \Lambda_2 \rangle$ і $C_1 \cap C_2 = \langle V_1 \cap V_2, \Sigma, \Lambda_1 \cap \Lambda_2 \rangle$, причому перетин вважається порожнім, якщо $V_1 \cap V_2 = \varnothing$ або $\Lambda_1 \cap \Lambda_2 = \varnothing$, або ($V_1 \cap V_2 = \varnothing$ і $\Lambda_1 \cap \Lambda_2 = \varnothing$), тоді, очевидно, справедлива така теорема.

Теорема 3. Не порожній перетин (об'єднання) сукупності підструктур $\{C_i; i \in I\}$ о – вільної граматичної структури C також утворює підструктуру даної структури, крім того сукупність усіх підструктур структури C є структурою – решіткою.

Між двома підструктурами C_1 і C_2 можливо ввести відношення включення: по словникові $(C_1(V_1) \subset C_2(V_2); V_1 \subseteq V_2)$, по аксіоматиці $(C_1(\Lambda_1) \subset C_2(\Lambda_2); \Lambda_1 \subseteq \Lambda_2)$. Під включенням підструктур $C_1 \subset C_2$ в подальшому розуміється включення по словникові і по аксіоматиці цих підструктур. Отже, між двома підструктурами C_1 і C_2 існує відношення включення $\subset$ тоді і тільки тоді, коли мають місце включення $(V_1 \subset V_2, \Lambda_1 \subseteq \Lambda_2)$ або $(V_1 \subseteq V_2, \Lambda_1 \subset \Lambda_2)$, або таке – $(V_1 \subset V_2, \Lambda_1 \subset \Lambda_2)$.

Визначення 7. Сукупність (не усіх порожніх) підструктур C_i, для яких виконується умова $\left\{C_i; i \in I, \bigcup_i C_i = C\right\}$ називається системою утворюючих підструктур структури C. Якщо система утворюючих підструктур структури C складається з двох підструктур C_1 і C_2, таких що $C_1 \bigcup C_2 = C$ і $C_1 \bigcap C_2 = \varnothing$, то підструктура C_2 є доповненням підструктури C_1 до формальної структури C.

Система утворюючих підструктур $\{C_i\}$ формальної структури C називається повною системою у тому розумінні, що вона повністю відтворює формальну структуру C і в ній нема зайвих підструктур, які не впливають на відтворення структури C. Виходячи з того, що словник V і аксіоматика Λ формальної граматичної структури C є скінченними, приходимо до висновку, що система утворюючих підструктур $\{C_i\}$ також є скінченною множиною.

Лема 1. Нехай підструктура C_2 є доповненням підструктури C_1 до формальної структури C, тоді множину усіх підструктур $\{C_i\}$ структури C можливо розбити на три класи підструктур: $K_1 = \{C_j \mid C_j \subseteq C_1\}$, $K_2 = \{C_j \mid C_j \subseteq C_2\}$; $K_3 = \{C_j \mid C_j \bigcap C_1 \in K_1,\ C_j \bigcap C_2 \in K_2\}$.

Наслідок 1. Очевидно, що лема 1 має місце і в тому випадку, коли доповнення

$$C_2 = \bigcup_k C_k,$$

де $C_k \not\subset C_1$ підструктури формальної структури C.

Результат леми розбиття на класи є корисним для визначення будови множини підструктур формальної структури, зокрема, будови її системи утворюючих підструктур.

Теорема 4. У будь якій системі утворюючих підструктур

$$S = \left\{C_i; i \in I, \bigcup_i C_i = C\right\}$$

формальної граматичної структури C можливо виділити систему $S^* \subseteq S$ утворюючих породжувальних підструктур або побудувати на системі S систему підструктур S^* таку, що

$$S^* = \left\{C_j^*;\ j \in J \subset I, \bigcup_j C_j^* = C\right\}.$$

Для доведення теореми розіб'ємо скінченну систему S на дві підмножини S_1 – складається з породжувальних підструктур і S_2 – не породжувальні підструктури так, що $S_1 \bigcup S_2 = S$ і $S_1 \bigcap S_2 = \varnothing$. Якщо система S_1 є утворюючою, тобто $S^* = S_1$, тоді теорема доведена. У протилежному випадку за теоремою 3 на підструктурах систем S_1 і S_2 можливо утворити нові породжувальні підструктури, додаючи які до системи S_1 знову отримаємо систему утворюючих підструктур граматичної структури C. Зрозуміло, що це доведення справедливе і у випадку, коли окремо кожна з систем S_1 і S_2 є порожньою.

Серед сукупності підструктур $\{C_i\}$ граматичної структури C існують такі підструктури C_j, аксіоматика яких Λ_j повністю відтворює їх структуру, тобто $C_j = \langle V_j, \Sigma, \Lambda_j \rangle$. Назвемо такі підструктури повними підструктурами $\overline{C}_j$, а відповідні їм аксіоматики відтворюючими аксіоматиками $\overline{\Lambda}_j$.

Теорема 5. На всякій системі утворюючих підструктур S структури C можливо побудувати систему утворюючих повних підструктур

$$\overline{S} = \left\{\overline{C}_j;\ j \in J, \bigcup_j \overline{C}_j = C\right\}.$$

Для доведення теореми розглянемо довільну підструктуру $C_i \in S$. Якщо ця структура не є о – вільною, тобто на її словникові V_i за аксіоматикою Λ_i можливо вивести тільки порожній

ланцюжок, тоді за визначенням 5 за умов 1), 3) і 4) підструктура C_i – порожня. За зауваженням 1 замінимо структуру C_i еквівалентною структурою з умовою 2) так, що аксіоматика $\overline{\Lambda}_j$ буде складатися тільки з процедур виду 2), після заміни правих частин процедур порожнім символом о, а словник $\overline{V}_j$ створимо з різних символів аксіоматики $\overline{\Lambda}_j$. Таким чином, у цьому випадку маємо $\overline{C}_j \in S$.

Нехай тепер структура C_i не порожня, тоді приймемо аксіоматику Λ_i за аксіоматику $\overline{\Lambda}_j$, при цьому можливі випадки:

– аксіоматика Λ_i повністю відтворює структуру C_i, тобто $V_i = \overline{V}_j$;

– аксіоматика Λ_i не повністю відтворює структуру C_i, але $\overline{V}_j \subset V_i$.

З чого по сукупності випадків 1) і 2) слідує включення, $\overline{C}_j \subset C_i$.

Якщо ж для аксіоматики $\Lambda_i = \overline{\Lambda}_i$ маємо $V_i \subset \overline{V}_i$, то розбиваючи аксіоматику $\Lambda_i = \overline{\Lambda}_j \cup \Lambda_{i-j}$ так, щоб $\overline{V}_j \subseteq V_i$ отримаємо і в цьому випадку включення $\overline{C}_j \subset C_i$. На цьому завершується доведення теореми.

Зауваження 2. За результатом теореми 4 маємо для систем утворюючих підструктур таке включення $\overline{S}^* \subseteq \overline{S}$ і за теоремою 5 – ланцюг по включенню $\overline{S}^* \subseteq \overline{S} \subseteq S$.

У множині усіх породжувальних підструктур формальної структури містяться також ізольовані підструктури, які визначаються так

Визначення 8. Підструктура C_1 називається ізольованою відносно підструктури C_2 у формальній структурі C, якщо $C_1 \subset C_2$ і серед виведених ланцюжків $\{l_i \mid l_i \in \mathbb{F}(V_2)\}$ у структурі C_2 знайдеться хоча б один ланцюжок l_j такий, що $l_j \notin \{l_k \mid l_k \in \mathbb{F}(V_1)\}$. Якщо підструктура C_1 ізольована відносно структури C, тоді підструктура C_1 зветься ізольованою у формальній структурі C і позначимо це так $C_1 \multimap C$.

Наведемо деякі властивості відношення $(\multimap)$. Будемо вважати, що порожня структура $\varnothing$ є ізольованою до будь якої структури. Якщо прийняти для будь якої підструктури $C_1 \subseteq C$, що $C_1 \multimap C_1$, тоді відношення $(\multimap)$ є відношенням часткового порядку на множині усіх підструктур формальної структури C, оскільки виконуються такі умови: антисиметрії $(C_1 \multimap C_2,\ C_2 \multimap C_1;\ C_1 = C_2)$ та транзитивності $(C_1 \multimap C_2,\ C_2 \multimap C_3;\ C_1 \multimap C_3)$. З теореми 3 та визначення 8, для сімейства підструктур $\{C_i\}$ структури C таких, що $C_i \multimap C_1$, маємо

Наслідок 2. $\bigcap_i C_i \multimap C_1$ у формальній структурі C.

Звичайно ізольовані підструктури відносно формальної структури C можуть бути породжувальними і повними підструктурами.

З'ясуємо тепер питання критеріїв, за якими можливо встановити існування систем утворюючих підструктур формальної граматичної структури і визначимо ефективні критерії, за якими можливо відтворити граматичну структуру за структурами утворюючих ланцюжків заданої формальної мови.

Розв'язок проблеми повноти для систем утворюючих підструктур. Для розв'язку проблема існування критеріїв про знаходження систем утворюючих підструктур скористуємося алгебраїчним підходом, який спирається на застосування максимальних підалгебр універсальних алгебр [3].

Нехай C довільна граматична структура (1), тоді підструктура C_m структури C називається максимальною підструктурою $C_m \subset C$, якщо не існує такої підструктури $C_1 \subset C$, за для якої мало б місце власне включення $C_m \subset C_1$. Позначимо через p_i довільну продукцію аксіоматики Λ структури C. Тепер, як нескладно бачити, підструктура C_m буде максимальною відносно структури C тоді і тільки тоді, коли для будь якого елементу $v \in C \setminus C_m$ такого, що $v \in V \bigcup \{p_i,\ i \in I\}$ має місце $C_m \bigcup \{v\} = C$. Тут під різницею $C \setminus C_m$ розуміється підструктура: $\langle V \setminus V_m, \Sigma, \Lambda \rangle$ або $\langle V, \Sigma, \Lambda \setminus \Lambda_m \rangle$, або $\langle V \setminus V_m, \Sigma, \Lambda \setminus \Lambda_m \rangle$; формальної граматичної структури C.

Зрозуміло, що граматична структура C має скінченну кількість максимальних підструктур,

позначимо через M множину усіх підструктур максимальних відносно структури C. Для подальшого необхідна наступна лема розширення будь якої підструктури граматичної структури $C = \langle V, \Sigma, \Lambda \rangle$.

Лема 2. Будь яку підструктуру $C_1 \subset C$ можливо розширити до максимальної підструктури $C_m \in M$ структури C.

За ствердженням леми маємо, що для довільної підструктури C_1 структури C у множині M існує така підструктура C_m, що можливе тільки таке включення $C_1 \subseteq C_m$, бо у протилежному випадку виконується включення $C_1 \supset C_m$ і підструктура C_1 не є власною підструктурою структури C. Припустимо, що для підструктури C_1 у множині M не існує підструктури $C_m \supset C_1$. Тоді приєднуючи до підструктури C_1 усі елементи $v \in V \bigcup \{p_i, i \in I\}$, яких нема у цій підструктурі крім одного $v^* \notin C_1$, за скінченну кількість кроків отримаємо максимальну підструктуру $C_{1,m}$ відносно структури C, що призводе до протиріччя з припущенням. Таким чином, будь яку власну підструктуру граматичної структури завжди конструктивно можливо розширити до максимальної підструктури.

Перейдемо тепер до розгляду критерію, за яким визначається, що система підструктур граматичної структури є утворюючою системою. За певною аналогією структур з алгебрами назвемо його критерієм Поста, як це зроблено в алгебрах [3].

Теорема 6. Для того, щоб система підструктур $S = \{C_i; i \in I\}$ граматичної структури C була утворюючою необхідно і достатньо, щоб для будь якої підструктури $C_m \in M$ у системі S знайшовся хоча б один елемент $v \in \left\{V_i \bigcup \{p_{i,j};\ j \in J\}; i \in I\right\}$ такий, що $v \notin C_m$.

За необхідністю система S – утворююча відносно структури C, тобто $\bigcup_{i \in I} C_i = C$ і оскільки для максимальної підструктури $C_m \in M$, за її визначенням існує такий елемент $v \notin C_m$, що $v \in C \setminus C_m$, то в системі S існує хоча б одна підструктура C_j, для якої $v \in C_j$.

При доведенні достатності розглянемо таку систему S, що для будь якої максимальної підструктури $C_m \in M$ структури C в ній існує хоча б один елемент $v \in C_i \in S$ такий, що $v \notin C_m$. Доведемо, що система S є утворюючою, тобто $\bigcup_{i \in I} C_i = C$.

Припустимо, що система S не є системою утворюючих підструктур – $\bigcup_{i \in I} C_i \neq C$, тоді користуючись результатами леми 2, будь яку підструктуру $C_i \in S$ розширимо до максимальної підструктури $C_{i,m} \in M$ структури C з чого маємо включення $C_i \subset C_{i,m}$. Але за умовою у підструктурі C_i існує такий елемент v_i, для якого $v_i \notin C_{i,m}$, що призводе до порушення включення $C_i \subset C_{i,m}$. Таким чином, наше припущення про те, що сукупність підструктур S не є системою утворюючих підструктур породжувальної граматичної структури C не вірне і теорема доведена.

Зауваження 3. Нескладно бачити, що теорема 6 виконується також для систем породжувальних підструктур S^* і повних підструктур $\overline{S}$ граматичної структури C.

Визначення 9. Виведена множина ланцюжків у структурах $\overline{C}_i^*$ системи утворюючих підструктур $\overline{S}^*$ структури C називається зразком s_l формальної мови $L(A)$.

Отже, за результатами леми 1 та теореми 6 можливо запропонувати схему побудови системи утворюючих підструктур формальної структури і дослідити будову цієї утворюючої системи підструктур:

– побудувати множину максимальних підструктур M;

– за елементами, які не входять до максимальних підструктур, побудувати систему утворюючих підструктур, що містять у собі ці відсутні елементи;

– на системі утворюючих підструктур формальної системи побудувати структурний граф залежності підструктур;

– виділити у системі утворюючих підструктур ізольовану підструктуру і доповнену до неї підструктуру, відносно яких за лемою 1 побудувати три класи $K_i; i = 1,2,3$;

– з класів K_1 і K_2 виділити незалежні підструктури, тобто такі $C_i^1, C_i^2 \in K_i$, для яких $C_i^1 \bigcap C_i^2 \notin K_i$ і $C_i^1 \not\subset C_i^2$ або $C_i^2 \not\subset C_i^1$;

– на об'єднанні незалежних структур класів K_1 і K_2 побудувати повну систему утворюючих підструктур формальної структури.

Застосуємо наведену схему до формальної структури з аксіоматикою

$$\Lambda = \begin{cases} p_1 : \sigma \to a\alpha, \text{ аксіома початку;} \\ p_2 : \alpha \to a\alpha; \\ p_3 : \alpha \to b\beta; \\ p_4 : \beta \to b\beta; \\ p_5 : \beta \to c\gamma; \\ p_6 : \gamma \to c\gamma; \\ \text{аксіоми виводу :} \\ p_7 : \gamma \to c; \\ p_8 : \beta \to c. \end{cases}$$

та мовою $L = \{a^k b^n c^m;\ k,n,m \in \mathbb{N}\}$. (2)

Побудуємо породжувальну систему $\overline{S}^*$ граматичної структури з аксіоматикою (2). Оскільки система $\overline{S}^*$ повна, тому для неї і максимальної множини M достатньо скористатися відповідними аксіоматиками, так множина аксіоматик для повної сукупності M є $\{\Lambda \setminus p_8, \Lambda \setminus p_7, \Lambda \setminus p_6, \Lambda \setminus p_5, \Lambda \setminus p_4, \Lambda \setminus p_2\}$. З чого видно, що система утворюючих підструктур повинна включати продукції: $p_2, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8$. Такою системою буде утворююча система з аксіоматиками:

$$\{\Lambda_1, \Lambda_2, \Lambda_3, \Lambda_4, \Lambda_5\}, \qquad (3)$$

де

$$\Lambda_1 = \{p_1, p_3, p_8\}, \quad \Lambda_2 = \{p_1, p_2, p_3, p_8\},$$

$$\Lambda_3 = \{p_1, p_3, p_4, p_8\}, \quad \Lambda_4 = \{p_1, p_3, p_5, p_7\},$$

$$\Lambda_5 = \{p_1, p_3, p_5, p_6, p_7\}.$$

Структурний граф системи утворюючих підструктур формальної структури C за включеннями виглядає так, як наведено на рисунку.

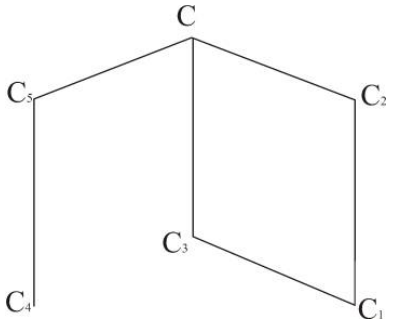


Рис.

Ізольованою підструктурою відносно структури C серед системи підструктур (3) є структура $\overline{C}_5^*$, для якої доповненою до формальної структури C буде структура $\overline{C}_2^* \bigcup \overline{C}_3^*$, тому система утворюючих підструктур розбивається на класи $K_1 = \{\overline{C}_4^*, \overline{C}_5^*\}$ і $K_2 = \{\overline{C}_1^*, \overline{C}_2^*, \overline{C}_3^*\}$. Очевидно, на незалежних підструктурах цих класів можливо отримати повну систему утворюючих породжувальних підструктур $\{\overline{C}_2^*, \overline{C}_3^*, \overline{C}_5^*\}$. Побудована таким чином повна система утворюючих підструктур не є єдиною. Тому, що за основні утворюючі підструктури можливо взяти кінцеві породжувальні структури графу C_1 і C_4 з відповідними аксіоматиками та додати до них підструктури з аксіоматиками $\Lambda_5 \setminus \Lambda_4$, $\Lambda_3 \setminus \Lambda_1$ і $\Lambda_2 \setminus \Lambda_1$. Отже, отримаємо нову систему утворюючих підструктур структури C з такою системою аксіоматик $\{\Lambda_1, \Lambda_4, \Lambda_2 \setminus \Lambda_1, \Lambda_3 \setminus \Lambda_1, \Lambda_5 \setminus \Lambda_4\}$. Таким чином, на структурах двох простих ланцюжків l_1 і l_4 та рекурсивних продукціях p_2, p_4 і p_6 аксіоматики (2) відтворюється формальна граматична структура C. Систему утворюючих підструктур структури C побудовану на кінцевих породжувальних підструктурах структурного графу назвемо мінімальною системою утворюючих підструктур S_o структури C, а відповідну формальну структуру C назвемо мінімальною структурою C_o.

Зауваження 4. Запропоновану методику побудови повної системи утворюючих підструктур також зручно застосовувати у тому випадку, коли відомі дерева виводів утворюючих ланцюжків, при цьому слід звернути увагу на те, що однозначне відтворення формальних систем можливе тільки для VC – структур.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Гинзбург С. Математическая теория контекстно свободных языков. – М.: Мир, 1970. – 328 с.
2. Гладкий А. В. Формальные грамматики и языки. – М.: Наука, 1973. – 368 с.
3. Глушков В. М. Алгебра, языки, программирование. 2-е изд., перераб. / В. М. Глушков, Г. Е. Цейтлин, Е. Л. Ющенко – К.: Наук. думка, 1978. – 320 с.
4. Ильман В. М. Структурный подход в формальных системах / В. М. Ильман, С. Ю. Разумов // Проблеми математичного моделювання. Міжнар. науково-метод. конфер. Тези доповідей. Дніпродзержинськ. 2005. – С. 147–148.
5. Ільман А. В. Формально – структурний підхід до моделювання економічних систем / А. В. Ільман, В. М. Ільман // Проблеми економіки транспорту: VI Міжнар. наук. конфер. Тези доповідей. – Д., 2005. – С. 58–58.

Надійшла до редколегії 06.07.06

УДК 629.4.027

В. В. АРТЕМЧУК (ДІІТ)

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ БАГАТОШАРОВИХ ВІДНОВЛЮЮЧИХ ПОКРИТТІВ, НАНЕСЕНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИМ НАПИЛЕННЯМ

Розглянуті питання, пов'язані з дослідженням структури багатошарових покрить. На зношену поверхню, яку треба відновити, наносили покриття газотермічним методом. При цьому спочатку треба укласти шар із м'якого металу, необхідний для поліпшення зчеплення покриття з основою, а потім наносяться наступні шари, що виконують робочі функції. У такий спосіб вирішується проблема підвищення адгезії зі сполученням необхідних функцій покрить.

Рассмотрены вопросы, связанные с исследованием структуры многослойных покрытий. На изношенную поверхность наносили восстанавливающее покрытие газотермическим методом. При этом вначале должен быть слой из мягкого металла, который необходим для улучшения сцепления покрытия с основой, затем наносятся следующие слои, выполняющие рабочие функции. Таким образом решается проблема повышения адгезии с сочетанием необходимых функций покрытий.

The article considers the questions connected with research of the structure of multi-layered coverings. A restoring coating was applied on the worn-out surface by a gas-thermal method. In the course of such treatment a layer of soft metal is applied first, being necessary for improvement of the covering coupling with the basis, then the following layers, carrying out the working functions, are laid. The problem of increasing adhesion with combination of the necessary functions is being thus solved.

Серед багатьох відновлювальних технологій однією із ефективних і поширених є газотермічне напилення. Різновид цього процесу – електродугове напилення.

При нанесенні газотермічних покриттів досить поширеним є покриття з підшарком. Як відомомо, товщина такого підшарку може досягати 0,3 мм [1]. Головним призначенням прошарку є забезпечення міцного зв'язку покриття в цілому з основою. З цим чинником пов'язане використання підшарку, як перехідного шару між матеріалом основи і наступного шару покриття для зменшення напружень, що виникають внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення.

Головною метою цих досліджень було виявлення можливості збільшення міцності зчеплення нанесеного покриття з основою деталі, оскільки саме ця причина є однією з головних, що стримують розповсюдження газотермічного метода відновлення деталей. Це збігається з загальним напрямком досліджень по відновленню деталей багатошаровими покриттями.

Застосування металів і сплавів у якості підшарів для отримання покриттів із більшою міцністю зчеплення можливе, якщо ці матеріали відповідають певним умовам, а саме – мають низький модуль пружності й достатню міцність, щоб забезпечити ефективні пружньопластичні й міцнісні властивості перехідної зони; добре змочують матеріал основи та наступного шару покриття.

У практиці існує ціла низка методів нанесення підшарків на основу, наприклад хімікотермічна обробка у середовищі легкоплавкого металу, напилення, хімічне осадження, плакування, термодифузійне насичення з рідкометалевої фази, електролітичне осадження. Зупинимося на них коротко.

Отримання легкоплавкого підшарку з рідкометалевої фази має малу тривалість процесу і головне – широкий діапазон варіювання товщини, фазового складу і структури підшарів. До того ж цей метод дозволяє отримувати покриття щільні, з міцним зчепленням із основою, без включень оксидів. Але у той же час цей метод потребує достатньо значних енергетичних затрат, що відбивається на собівартості процесу. Виникає необхідність механічної обробки отриманої поверхні, а також ускладнюється контроль за рівномірністю розподілу покриття по поверхні деталі.

Напилення газотермічними методами супроводжується окисленням матеріалу, що напилюється, наявністю пор, зокрема на границі розділу, а також складнощами, пов'язаними з особливостями технологічного процесу, наприклад, високий відсоток відшаровування нанесеного покриття, якщо основа має цементовану або нітроцементовану поверхню.

Дифузійне насичення металами в порошкових середовищах являє собою доволі складний, довгий, метало- та енергетично ємний процес.

Плакування має обмеження у використанні, яке залежить від форми деталі.

Електролітичне осадження дозволяє отримувати підшарки різної товщини, не потребує механічної обробки, дозволяє регулювати твердість покриття в широких межах. Але цей метод можна застосовувати лише при виконанні всіх екологічних норм.

Оцінюючи зазначене вище за техніко-економічними показниками, можна зробити такі висновки. Найбільш доцільним процесом нанесення підшарку є застосування електролітичного осадження та отримання підшарку з рідкометалевої фази. Вибір того або іншого методу, зрозуміло, обирається залежно від наявності відповідного обладнання на заводі або в депо.

Враховуючи широкі можливості електролітичного методу, а також економічні аспекти, вибір падає саме на цей метод.

Дослідження проводили на зразках, що зроблені зі сталі 45, яка широко застосовується в механічній частині локомотивів. Після нанесення на основу зразка підшарку, напилювали електродуговим методом «робоче» покриття. Підшарки осаджувались з використанням програмного електролізу. У дослідженнях застосовувались три різновиди підшарків: із кадмія, олова та цинку. У свою чергу, так зване, робоче покриття складалось із шарів отриманих із дротів 30ХГСА та 65Г. Ці дроти були використані у зв'язку з широким розповсюдженням у ремонтному виробництві залізниць, а також їх відносною дешевизною.

Отримані результати порівнювались з покриттями нанесеними на основу без підшарку. Нижче, завдяки металографічному й рентгеноструктурному аналізу, наведені результати досліджень структури і фазового складу зони: основа – підшарок – перший шар робочого покриття. Металографічний аналіз показав, що структура перехідних зон формується у процесі кристалізації розплавлених часток напиленого металу при їх співударянні з поверхнею основного металу або підшарку, якщо він має місце.

На приведеній мікроструктурі покриття (рис. 1), що напилене на основний метал без підшарку, можна помітити мікропори та включення оксидів заліза. Мікроструктура неоднорідна. Підкреслимо також, що адгезія між основою і покриттям ослаблена за рахунок наявності на границі розділу оксидів та пор.

На приведеній мікроструктурі покриття з підшарком олова (рис. 2) показано, що особливістю застосування в якості перехідного шару олова є заповнення мікронерівностей основного металу. Важливим є також практична відсутність пор у перехідній зоні.

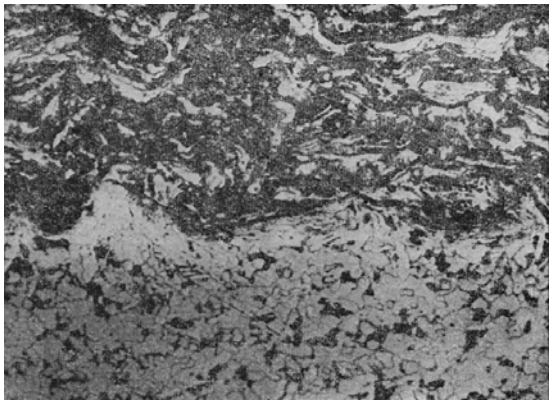


Рис. 1. Мікроструктура електродугового багатошарового покриття без підшарку

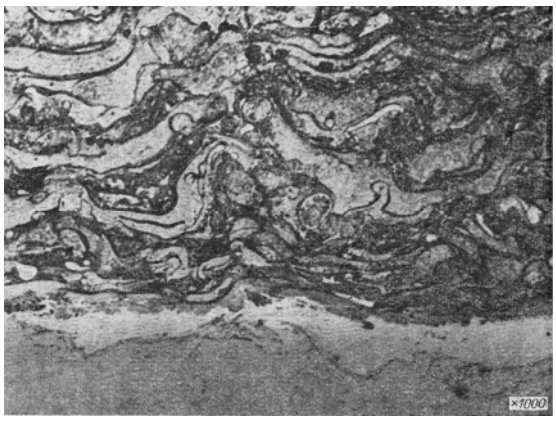


Рис. 2. Мікроструктура електродугового багатошарового покриття з підшарком олова

Мікроструктуру електродугового багатошарового покриття з підшарком цинку (рис. 3) можна визначити при нанесенні покриттів мікроструктури, яка складається з α – твердого розчину цинку в залізі, γ – фази, що містить 24...30 мас. % заліза, а також δ – фази. На поверхні дифузійного шару (прошарку легкоплавкого металу) осаджується шар чистого цинку, який при напиленні другого шару внаслідок акумулювання тепла частками металу і значної швидкості дифузії цинку в залізі частково розповсюджується з утворенням залізоцинкових фаз.

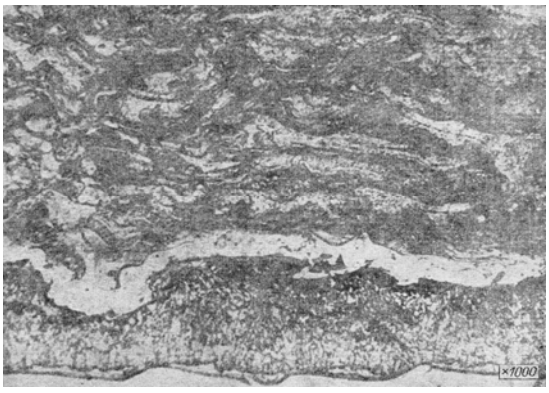


Рис. 3. Мікроструктура електродугового багатошарового покриття з підшарком цинку

На мікроструктурі електродугового багатошарового покриття з підшарком кадмія (рис. 4) в перехідній зоні помітна неоднорідна структура, яка містить зернисті включення. Ймовірно, ці включення з'явились внаслідок охолодження в процесі польоту, що призводить до їх «капсулювання».

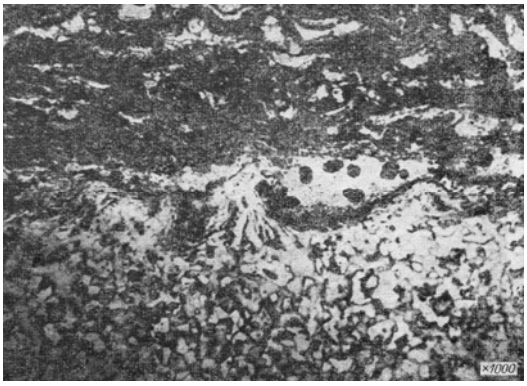


Рис. 4. Мікроструктура електродугового багатошарового покриття з підшарком кадмія

Застосування «м'яких» прошарків веде до зниження пористості в перехідній зоні між основним металом та прошарком, а також в самому покритті в 2…3 рази. Для порівняння наведемо: в покритті без підшарку пористість в основному покритті складала приблизно 9,3 %, в той же час пористість в перехідній зоні для підшарку з олова ~3,3 %, кадмія ~5,4 %, цинка ~5,7 %. Вірогідно, що це пов'язано з проплавленням і утворенням рідкої фази прошарку, а також із його взаємодією з приграничними зонами відновлюючого покриття.

При використанні в якості підшарку цинку, дифузійна рухливість якого в залізі із розглядуваних матеріалів (підшарів) максимальна, товщина перехідної зони також максимальна. Товщина «чистого» шару цинку складає 12…15 мкм.

Як зазначалося раніше, найважливішим показником працездатності покриття є його міцність зчеплення. За наявності цинкового прошарку міцність зчеплення відновлюючого покриття коливалась в межах 29,0…31,4 МПа. За тих же умов експерименту, але без прошарку, міцність зчеплення відновлюючого покриття складала 17,3…20,3 МПа.

Результати аналізу покриття зовнішнього шару показали, що структура має троостомартенситний характер, а твердість досягає 40…50 HRC, що є достатнім для відновлення більшої частини деталей електрорухомого складу.

Іншим важливим питанням є визначення необхідної товщини прошарку. Це питання, у свою чергу, потребує ретельного підходу, оскільки загальний погляд на те, що товщина прошарку має бути 10…15 мкм не є універсальним і, як показують дослідження, залежить від матеріалу прошарку та самого покриття [2]. Таким чином, постає задача визначення мінімальної товщини прошарку, а також раціональної товщини з точки зору міцності зчеплення.

Зауважимо, що для визначення мінімальної товщини прошарку частка проплавляє шар радіусом r і висотою h. Запишемо рівняння теплового балансу при теплообміні цієї частки з підшарком

$$\frac{4}{3}\pi R^3 \rho_{\text{ч}} \left[C_{\text{ч}} \left(t_{\text{пл.ч}} - t_{\text{пш}} \right) + Q_{\text{ч}} \right] =$$

$$= \pi r^2 \rho_{\text{пш}} \left[C_{\text{ч}} \left(t_{\text{пл.пш}} - t_{\text{пш}} \right) C_{\text{пш}} + Q_{\text{пш}} \right],$$

де R – радіус частки; $\rho_{\text{ч}}$, $\rho_{\text{пш}}$ – густини частки і підшарку відповідно; $C_{\text{ч}}$, $C_{\text{пш}}$ – питомі теплоємності частки і підшару; $t_{\text{пл.ч}}$, $t_{\text{пл.пш}}$ – температури плавлення частки і підшарку; $t_{\text{пш}}$ – початкова температура підшарку; $Q_{\text{ч}}$, $Q_{\text{пш}}$ – питомі теплоти плавлення частки і підшарку. Оскільки $t_{\text{пш}}$ значно менша за $t_{\text{пл.ч}}$, $t_{\text{пл.пш}}$, то нею можна знехтувати і тоді, скориставшись формулою

$$r = kR,$$

де k – коефіцієнт, що знаходиться в межах 3,6…6,6 [3].

Тоді з цих двох рівнянь після перетворень отримаємо кінцеву формулу визначення мінімально необхідної товщини підшарку h:

$$h = \frac{4R\rho_{\text{ч}} \left(C_{\text{ч}} t_{\text{пл.ч}} + Q_{\text{ч}} \right)}{3K^2 \rho_{\text{пш}} \left(C_{\text{пш}} t_{\text{пл.пш}} + Q_{\text{пш}} \right)}.$$

За останньою формулою було розраховано товщину підшарку цинку, яка склала 14 мкм.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Какуевицкий В. А. Ресурсосберегающие технологии восстановления деталей автомобилей. – М.: Транспорт, 1993. – 176 с.
2. Куприянов И. Л. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления / И. Л. Куприянов, М. А. Геллер. – Мн.: Наука и техника, 1990. – 176 с.
3. Белащенко В. Е. Анализ температурных полей на поверхности пластины при ее нагреве нормально распределенным источником тепла / В. Е. Белащенко, В. В. Кудинов, Д. Б. Черняк. – ФХОМ, 1984. – № 4. – С. 22–26.

Надійшла до редколегії 13.10.2006.

УДК 629.427.018

Б. Е. БОДНАРЬ, Л. Ф. ГАГИН, О. И. ГИЛЕВИЧ, В. У. ВАРФОЛОМЕЕВ,
Д. В. БОБЫРЬ, А. Б. ОЧКАСОВ, А. П. ШЕПОТЕНКО, Г. В. ЕВДОМАХА (ДИИТ)

ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ (ТЭН) РЕЛЬСОВОГО АВТОБУСА 620 м

Авторами запропонована методика проведення тягово-енергетичних випробувань рейкового автобуса. Відповідно до розробленої методики проведені випробування, результати проведення яких викладені у статті.

Авторами предложена методика проведения тягово-энергетических испытаний рельсового автобуса. В соответствии с разработанной методикой проведены испытания, результаты проведения которых изложены в статье.

The authors have proposed a method of traction & power tests of a rail bus. The actual test has been conducted in accordance with the developed method. The results of the test are described in the article.

Рельсовый автобус 620М-001 (далее автобус), изготовленный АО Холдинг ПЕСА Быдгощ (Польша), оборудован в соответствии с техническим заданием (ТЗ) [1], силовым блоком с немецким двигателем внутреннего сгорания типа MTU 6R183TD13H, гидродинамической передачей Voith T211 (производитель Voith Turbo GmbHbCoKG, Австрия) и гидродинамическим тормозом (ретардером) типа KB190, выполненным в одном блоке с гидропередачей. Силовая установка размещена под полом автобуса.

Максимальная выходная мощность дизеля 315 кВт при частоте вращения вала дизеля 1 900 мин$^{-1}$. Масса автобуса 55 т, сцепная масса 2×16 т. Максимальная скорость автобуса 120 км/ч. Расчетная тяговая характеристика автобуса при диаметре колеса по кругу катания 840 мм приведена на рис. 1.

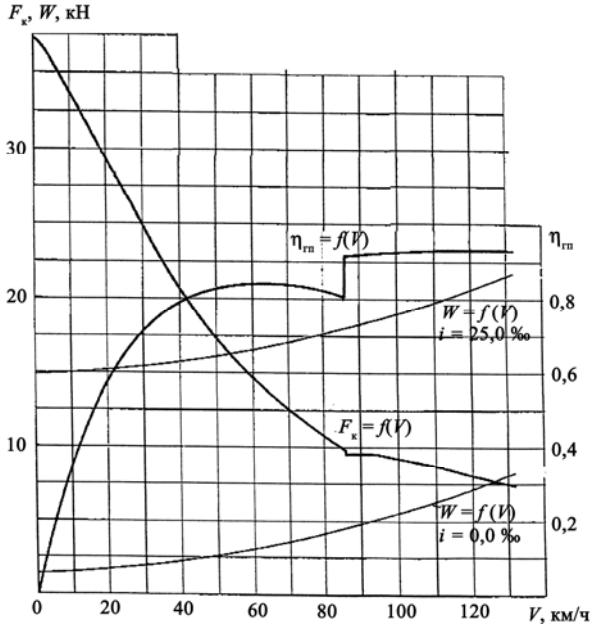


Рис. 1. Тяговая характеристика рельсового автобуса

Передача крутящего момента производится двумя гидродинамическими ступенями. Гидродинамическая передача оснащена интегрированной микропроцессорной системой управления, принимающей на себя функции управления, контроля (диагностирования) и работы.

Система управления силового блока подключена к общей системе управления автобуса и обеспечивает выполнение команд машиниста, адаптацию режимов работы дизеля к условиям движения, а также регистрацию сбоев в работе дизеля, передачи, вспомогательных агрегатов.

В процессе тягово-энергетических испытаний (ТЭИ) определялись следующие характеристики:

– значения силы тяги при различных скоростях движения автобуса;

– соответствие функционирования силовой установки и тягового оборудования требованиям ТЗ;

– работоспособность систем управления и диагностирования;

– величины ускорения автобуса в процессе разгона.

Кафедрой «Локомотивы» и отраслевой научно-исследовательской лабораторией диагностирования была разработана методика проведения ТЭИ с учетом особенностей вида тяговой единицы. Измерения максимальных значений силы тяги при трогании с места производились измерительно-вычислительным комплексом вагона-лаборатории (ИВК ВЛ), позволяющим измерять величину силы тяги на автосцепном устройстве.

Для комплексного испытания автобуса был составлен сцеп, состоящий из рельсового автобуса (РА), вагона-лаборатории (ВЛ) и дополнительного локомотива-бустера (Б), в качестве которого использовался тепловоз ЧМЭ3.

При заторможенных вагоне-лаборатории и бустере силовая установка автобуса развивала заданные значения мощности. При этом с помощью тарированной автосцепки осуществлялось измерение тягового усилия $F_{т.а}$. Измерительная аппаратура описана в [2]. Результаты этих испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зафиксированные величины силы тяги автобуса от его мощности при $V = 0$ км/ч

Доля мощности дизеля, (при растяжении), %	Пределы величин усилия $F_{т.а}$ на автосцепке, кН	Средняя величина, $F_{ТА}$, кН
25 $P_{диз}$	6…15	10,5
50 $P_{диз}$	14…26	17,0
75 $P_{диз}$	28…35	31,0
100 $P_{диз}$	35…40	37,5

При скоростях $V \le 20$ км/ч определение касательной силы тяги F_k, реализуемой рельсовым автобусом, производилось путем одновременной регистрации с помощью ИВК ВЛ величин скорости V и силы тяги $F_{ТАизм}$. Сила тяги измерялась тензорезисторами тарированной автосцепки и аппаратурой ВЛ в процессе разгона испытательного сцепа рельсовым автобусом на прямолинейном участке пути с уклоном $i = 0$ ‰. Скорость измерялась датчиком скорости вагона-лаборатории и регистрировалась в ИВК ВЛ.

Касательная сила тяги F_k определяется по формуле

$$F_к = F_{ТА} + R_{РА} + m_{РА} a (1 + \gamma),$$

где $F_{ТА}$ – измеренное тарированной автосцепкой значение силы тяги, тс; $F_{ТА} = 9{,}81 F_{ТАизм}$, кН; $R_{РА}$ – полное сопротивление движению автобуса, кН; $m_{РА}$ – масса рельсового автобуса, равная 55,6 т; a – ускорение сцепа, м/с^2, определяемое датчиком ускорения АС2(4) с использованием магнитографа и ИВК ВЛ; γ – коэффициент инерции вращающихся масс рельсового автобуса, принятый равным 0,1.

Значение $R_{РА}$ определялось по соотношению, приведенному в [2].

$$R_{РА} = \left(i \cdot m_{РА} + r_{РА} \cdot m_{РА} + \frac{0{,}5 \cdot C_w \cdot A \cdot (V + B)^2}{100} \right) 0{,}00981,$$

где i – уклон пути, принято $i = 0$ ‰; $r_{РА} = 2{,}5$ кГс/т – постоянная составляющая основного удельного сопротивления движению автобуса; $C_w = 0{,}62$ – аэродинамический коэффициент сопротивления движению; $A = 11$ м^2 – площадь лобовой стены кабины автобуса; V – скорость движения сцепа, км/ч; $B = 12$ км/ч – постоянная.

При скоростях $V > 20$ км/ч определение касательной силы тяги F_k производилось путем регистрации в ИВК ВЛ скорости движения одиночного рельсового автобуса с использованием штатного датчика скорости автобуса в процессе разгона его на прямом участке (площадке) с последующим вычислением

$$F_к = R_{РА} + m_{РА} \cdot a \cdot (1 + \gamma), \text{ кН.}$$

Определение величины скорости производилось путем пересчета в ИВК ВЛ значений частоты импульсов от генератора импульсов SWKP IG20 штатного датчика скорости автобуса, которая предварительно регистрировались магнитографом XR-710.

Для вычисления скорости принималось 4 оборота колеса. За один оборот колеса регистрировалось два импульса генератора. Учитывая, что 4 оборота колеса осуществляются за время t_a (с), скорость движения V (км/ч) автобуса определялась как

$$V = 3{,}6 \frac{4 L_k}{t_a},$$

где $L_k = 3{,}14 \cdot D_k = 3{,}14 \cdot 0{,}840 = 2{,}638$ м – длина окружности колеса автобуса по кругу катания диаметром D_k.

Учитывая, что частота квантования сигнала при вводе в компьютер (ПК) через АЦП составляла 800 Гц, регистрация скорости автобуса в ИВК осуществлялась с интервалом 0,01 с.

На основании требований методики по математической обработке результатов экспериментов [4] из зарегистрированных в ИВК значений скорости исключались «выпадающие» значения, затем определялись величины скорости на j-м интервале.

Величина ускорения a, м/с^2, определялась по кривой скорости путем разбиения процесса разгона автобуса на интервалы $\Delta t = 0{,}5$ с, определения начального $V_{j\text{нач}}$ и конечного $V_{j\text{кон}}$ значений скорости в j-м интервале и дальнейшего вычисления a_j (м/с^2)

$$a_j = \frac{V_{j\text{кон}} - V_{j\text{нач}}}{3{,}6 \cdot \Delta t}.$$

Скорость V_j, соответствующая величине касательной силы тяги F_{ki} в j-м интервале, определялась как средняя между начальной и конечной в каждом интервале.

На основании измерений и расчетов определена экспериментальная тяговая характеристика $F_k(V)$, параметры которой приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики, полученные при экспериментальных исследованиях автобуса

V_j, км/ч	Эксперимент			По характеристике [2]	Отклонение	Примечание
	a, м/с^2	F_{kj}, кН	P_{Kj}, кВт	$F_{k\,\text{декл}}$, кН	ΔF, %	
0	–	36,2	–	37,0	2,2	Испытательный сцеп
2	0,07	37,5	20,8	36,5	2,7	
4	0,077	37,2	41,6	36,2	2,8	
6	0,08	35,6	59,3	35,3	0,8	
8	0,06	33,3	74,0	34,5	4,3	
10	0,08	32,7	90,8	33,5	2,3	
12	0,10	35,0	116,7	33,0	6,1	
15	0,09	29,9	124,6	31,3	5,4	
20	0,12	29,5	163,9	28,7	2,7	
25	0,08	27,7	192,4	27,0	2,5	
30	0,3	20,3	196,7	25	18,8	Порожний автобус
40	0,26	18,2	202,2	20,5	11,2	
50	0,19	15,5	215,3	17,5	11,4	
60	0,15	13,2	220,0	14,2	7,0	
70	0,13	11,5	223,6	12,5	8,0	
80	0,10	9,7	215,5	10,8	10,2	
90	0,05	8,1	202,5	9,3	12,9	
110	0,03	8,3	253,6	8,7	4,5	

Касательная мощность $P_\text{К}$, реализуемая автобусом, определялась по формуле

$$P_\text{К} = \frac{V \cdot F_\text{К}}{3,6}.$$

В соответствии с техническим заданием [1] среднее значение ускорения в диапазоне скорости 0…60 км/ч должно составлять 0,6…0,8 м/с^2, в диапазоне 0…100 км/ч – 0,3…0,5 м/с^2.

Для определения фактических значений среднего ускорения производилось измерение времени t_p (с) от момента начала движения до заданного значения скорости при разгоне одиночного порожнего автобуса на прямолинейном участке пути с нулевым уклоном. Среднее значение ускорения $a_\text{ср}$, м/с^2, определялось как

$$a_\text{ср} = \frac{V_2 - V_1}{3,6 t_\text{р}},$$

где V_1 и V_2 – соответственно начальное и конечное значения скорости, км/ч.

Среднее время разгона автобуса от $V_1 = 0$ до $V_2 = 60$ км/ч $t_{\text{ср}60} = 57,2$ с, а время разгона от $V_1 = 0$ до $V_2 = 100$ км/ч составило 174 с.

Отсюда, среднее значение ускорения автобуса при разгоне от скорости $V_1 = 0$ км/ч до скорости $V_2 = 60$ км/ч составило $a_\text{ср} = 0,31$ м/с^2, а от $V_1 = 0$ км/ч до скорости $V_2 = 100$ км/ч составило $a_\text{ср} = 0,16$ м/с^2.

Таким образом, разработанная методика испытаний и средства измерений позволили определить фактические тяговые характеристики

рельсового автобуса 620М-001 и получить данные для расчета его эксплуатационных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рельсовый автобус для пассажирских перевозок. Техническое задание. PESA Bydgosz. 30.01.2004.
2. Блохин Е. П. О вводе в компьютер информации от датчиков при натурных испытаниях железнодорожного подвижного состава / Е. П. Блохин, С. В. Мямлин, П. Б. Грановский и др. // ВКТІ Академії інженерних наук України. Спецвипуск. – Машинобудування, № 4(17), 2002, – С. 19–28.
3. Техническо-эксплуатационная документация рельсового автобуса 620М. DTR620M. Быдгощ, 2004. Приложение № 11, № 16.
4. Румынский Л. З. Математическая обработка результатов экспериментов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. – 192 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

УДК 629.4.077:629.4.077.118

Ю. Я. ВОДЯННИКОВ, С. В. КУКИН, А. Е. НИЩЕНКО (ГП «УкрНИИВ»)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ

Наведено результати дослідження пошкоджуваності поверхні колісних пар в експлуатації, які викликані впливом гальмових колодок під час гальмування. Отримані статистичні характеристики появи ушкоджень залежно від терміну експлуатації.

Приведены результаты исследования повреждаемости поверхности колесных пар в эксплуатации, вызванные воздействием тормозных колодок при торможении. Получены статистические характеристики появления повреждений в зависимости от срока эксплуатации.

Results of research of damageability of surface of wheelsets in operation, caused by the impact of brake shoes in braking are provided. Statistical characteristics of damage occurrence depending on the term of service have been received.

Как показывает опыт эксплуатации, наибольший процент отцепки вагонов обусловлен повреждениями колесных пар. Значительная часть повреждений приходится на поверхность катания колеса в виде ползунов, наваров, выщербин и т. д., обусловленных влиянием тормозных колодок в процессе торможения.

В этой связи, важное значение приобретают задачи, связанные с теоретическими и практическими проблемами по совершенствованию тормозных систем грузовых вагонов, направленных на уменьшение повреждаемости поверхности катания колес при торможении.

Для решения поставленной задачи необходимо определиться с приоритетными направлениями для проведения дальнейших исследований по совершенствованию тормозных систем грузовых вагонов. Такие приоритеты могут быть установлены на основе данных о техническом состоянии колесных паров путем диагностирования (обследования) их в эксплуатации и ремонте.

Обследованию подвергались колесные пары грузовых вагонов с разными сроками эксплуатации после ремонта. В процессе обследования фиксировались основные виды повреждений поверхности катания колес (ползуны и выщербины), которые вызваны воздействием тормозных колодок. В качестве времени наработки до появления повреждения принимался период (в месяцах) от даты последнего ремонта до даты поступления в ремонт. Всего обследовано 2090 колесных пар (рис. 1).

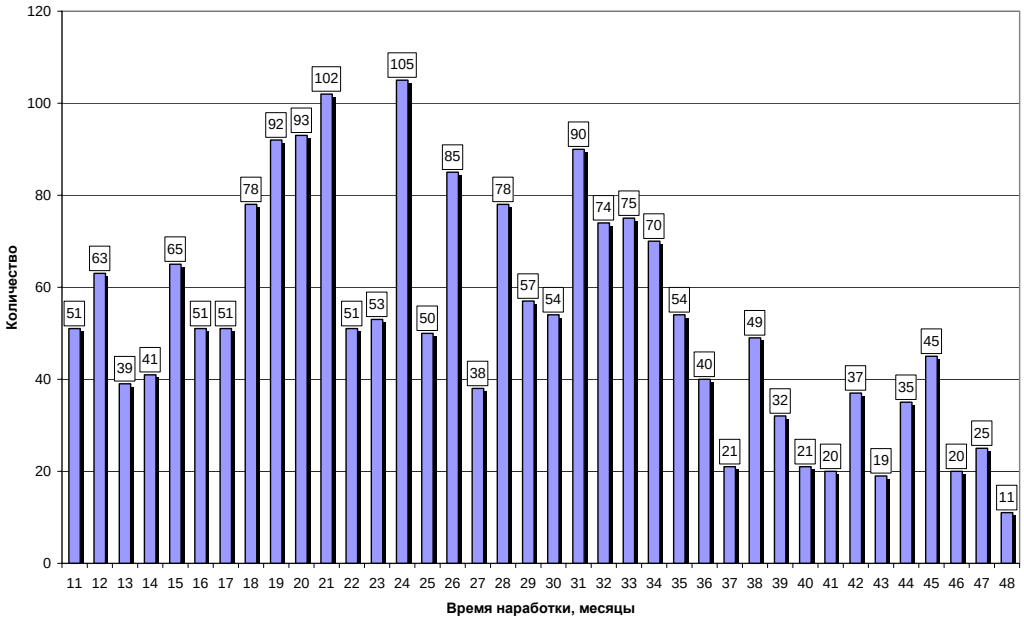


Рис. 1. Распределение количества обследованных колесных пар по времени эксплуатации

Информация, которая была собрана в процессе обследования, подвергалась первичному качественному и последующему количественному анализу с целью ранжирования по сроку эксплуатации и виду повреждения (рис. 2). Расчетные зависимости получены из допущения, что возмущающие воздействия появляются случайно и независимо друг от друга, а вероятность появления повреждения в достаточно малом интервале времени Δt пропорциональна длине этого интервала, коэффициент пропорциональности равен λ.

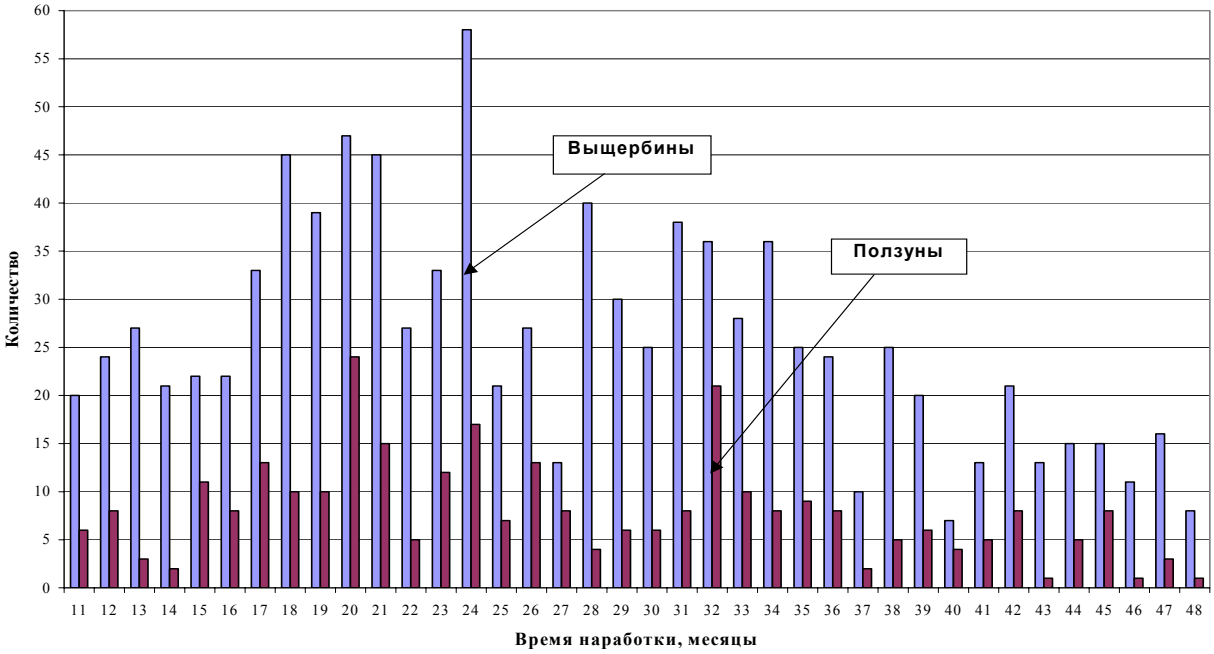


Рис. 2. Распределение количества колесных пар по видам повреждений и сроку эксплуатации

Обработка статистических данных осуществлялась с использованием вычислительного процесса [1], исходными данными для которого являются: срок службы t_i, количество осмотренных N_i и количество поврежденных колесных пар n_i в i-м интервале, и состоящий в определении:

- величины частоты появления неисправности в i-м интервале

$$q_i = \frac{n_i}{N_i}, \qquad (1)$$

накопленной интервальной частоты неисправности для i-го интервала

$$r_i = \sum_{k=1}^{i} q_k = \sum_{k=1}^{i} \frac{n_k}{N_k}; \qquad (2)$$

- эмпирической вероятности работы элемента в исправном состоянии за i-й срок службы

$$Q_i^* = 1 - \exp(-r_i) = 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^{i} \frac{n_k}{N_k}\right). \qquad (3)$$

В качестве временного интервала был принят интервал равный шести месяцам наработки после ремонта, выбор которого обусловлен периодом деповского ремонта равным 1–2 года в зависимости от типа вагона. Гистограмма распределения представлена на рис. 3.

Результаты статистических расчетов показаны на рис. 4 в виде вероятности появления повреждения от срока эксплуатации после ремонта.

Выполненные исследования показали, что наиболее интенсивный рост появления повреждений начинается после 10 месяцев, а волнообразный характер эмпирической плотности вероятности обусловлен периодичностью обточки колесных пар.

Основными факторами, обуславливающими появление ползунов и выщербин, являются несовершенство композиционных тормозных колодок (недостаточный отвод тепла от поверхности колеса и нестабильная величина коэффициента трения) и неравномерное распределение тормозного осевого нажатия колодок на колеса.

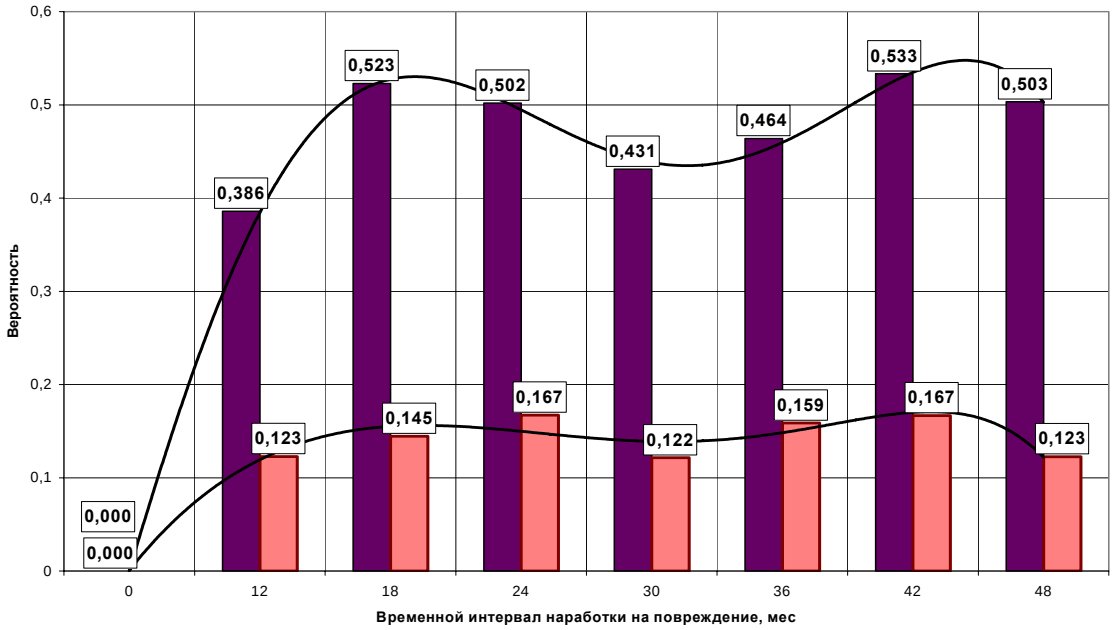


Рис. 3. Гистограмма эмпирической плотности распределения вероятности для временных интервалов длиной 6 месяцев

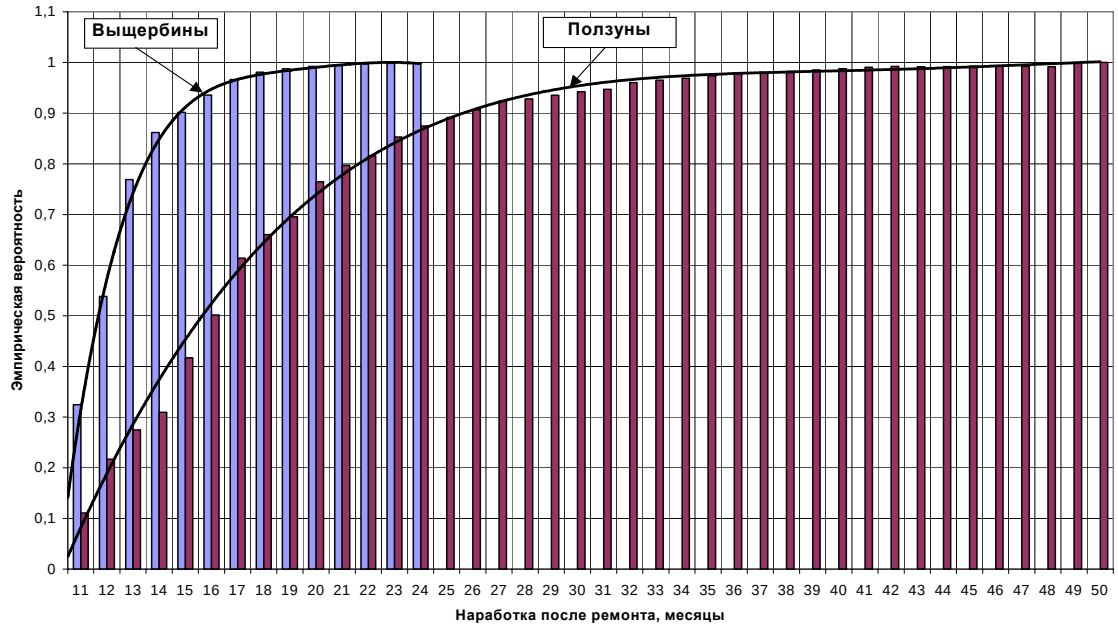


Рис. 4. Вероятность появления повреждения в зависимости от срока эксплуатации после ремонта

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Львовский Э. Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – Г.: Высш. шк., 1988.

УДК 621.874.042

В. С. ДЖУС, А. Я. КУЛІЧЕНКО (Львівській ф-т ДІІТу)

ДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА РЕЙКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ У МІСЦЯХ ЇХ СТИКУВАННЯ

Авторами запропонована доволі проста диференціальна методика розрахунку коефіцієнта поштовху залежно від швидкості переміщення залізничного вагона і коефіцієнта жорсткості його колісної підвіски.

Авторами предложенная достаточно простая дифференциальная методика расчета коэффициента толчка в зависимости от скорости перемещения железнодорожного вагона и коэффициента жесткости его колесной подвески.

The authors have proposed rather simple differential method of calculating the coefficient of shove depending on the moving speed of railway carriage and the ratio of inflexibility of its wheel suspension.

Дослідження пошкоджень поверхні ободів після тривалої експлуатації колісних пар пасажирських і вантажних вагонів залізничного транспорту і аналіз поверхневих руйнувань показали, що головною причиною їх утворення є незадовільний стан рейкових стиків. Зазори в стиках досягають 12…25 мм, а перепад висот 3…7 мм. Такі стики рейок залізничної колії є причиною значних динамічних перевантажень, що із врахуванням високих швидкостей руху та жорсткості колії, яка у більшості випадків монтується на бетонних шпалах, досягає значних величин. Дослідження показали, що під час проходження колісної пари через штучно створену перешкоду висотою $h = 5$ мм спостерігається ударний коефіцієнт величиною 1,85 [1].

Існуюча методика розрахунків динамічних навантажень у більшості своїх розробок грунтуються на застосовуванні наближених залежностей, які узагальнюють фактори впливу на процес динамічної контактної взаємодії колеса із перешкодою у рейковому стикові [1]. У наведеній розробці автори пропонують методику визначення динамічних навантажень із врахуванням окремих факторів взаємодії у пружній системі, при усталеній швидкості проходження колесом рейкового стику, розглядаючи три можливих види стику – зустрічну та попутню сходинки і зазор в стику рейок. У всіх прийнятих випадках вважається, що шпали залізничної колії та постіль, на якій вони перебувають, є абсолютно жорсткими. Прийняття як базову умову пружних властивостей опорної постелі значно ускладнює розрахункову схему і методику, оскільки ця умова зменшуватиме величину розрахункових навантажень.

Зустрічна сходинка. Кінематика руху колеса під час проходження зустрічної сходинки зменшує вираз вертикального переміщення центра колеса на дузі між точками O_1 і O_2 (рис. 1):

$$y = R\left[\cos\left(\alpha - \frac{V \cdot t}{R}\right) - \cos\alpha\right], \qquad (1)$$

де $\cos\alpha = 1 - (h/R)$; V – швидкість кочення колеса; R – радіус колеса; h – висота зустрічної сходинки.

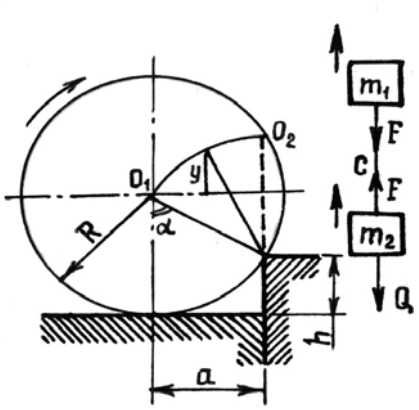


Рис. 1. Схема проходження вагонного колеса через зустрічну сходинку рейок

Час, що минув від переміщення центра колеса із точки O_1 в точку O_2, визначається згідно з такою залежністю:

$$t_0 = (R\alpha)/V .$$

Таким чином, вираз (1) є справедливим на відрізку часу $t_0 \geq t \geq 0$.

Розглянемо вертикальне переміщення даної пружної системи схематично, де $m_1 \approx 0{,}5ml$ – зведена маса колісної пари залізничного вагона; зведена маса залізничного вагона, що припадає на одну колісну пару

$$m_2 \approx \frac{Q}{g} + 0{,}5ml;$$

Q – маса залізничного вагона; m – погонна маса колісної пари; l – відстань між вертикальними осями коліс.

Рівняння переміщення другої маси виражається у вигляді

$$m_2 \ddot{x}_2 = F - Q, \qquad (2)$$

де F – навантаження пружного зв'язку, значення якого вираховується за формулою:

$$F = A\cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t + B\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t + D\cos\left(\alpha - \frac{Vt}{R}\right) + Q, \qquad (3)$$

де

$$A = \frac{-\dfrac{cV^2}{Ru_{\text{під}}}\left(1-\dfrac{h}{R}\right)}{\dfrac{c}{m_2} - \left(\dfrac{V}{R}\right)^2};$$

$$B = \frac{c\dot{x}_{10}}{\sqrt{\dfrac{c}{m_2}}} + \frac{\dfrac{cV^3}{R^2u_{\text{під}}}\sqrt{\dfrac{h}{R}\left(2-\dfrac{h}{R}\right)}}{\left[\dfrac{c}{m_2} - \left(\dfrac{V}{R}\right)^2\right]\sqrt{\dfrac{c}{m_2}}};$$

$$D = \frac{\dfrac{cV^2}{Ru_{\text{під}}}}{\left(\dfrac{V}{R}\right)^2 - \dfrac{c}{m_2}}; \quad \dot{x}_{10} = \frac{V}{u_{\text{під}}}\sin\alpha;$$

$u_{\text{під}}$ – передавальне число балансирної підвіски колісної пари, що відповідає відношенню висоти сходинки, яка перетинається колісною парою, до вертикальної складової відповідного переміщення центра ваги всього вагона, як абсолютно жорсткої системи.

Крім того, вважаємо на відсутність резонансу, тобто

$$\frac{c}{m_2} \neq \left(\frac{V}{R}\right)^2.$$

У повному обсязі уявивши картину і структуру дії навантаження, встановлюємо його найбільшу величину. Зокрема, якщо час проходження колеса через стик t_0 є малим у порівнянні із періодом власних коливань системи, а результат розрахунку коефіцієнта $D \geq 0$, то у першому наближенні отримуємо [3]

$$F_{\max}^{(1)} \approx D + Q + A\cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0 + B\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0. \qquad (4)$$

Розрахунки показують, що чим більша висота сходинки і швидкість переміщення, чим жорсткішою є система колісної пари і менший діаметр коліс, тим більшою буде величина динамічного навантаження, і відповідно величина коефіцієнта поштовхів.

Попутна сходинка. Кінематика руху колеса під час проходження попутної сходинки дає такий вираз для вертикального переміщення центра колеса на ділянці між точками O_1 і O_2 (рис. 2):

$$y = R \cdot \left(1 - \cos\frac{V \cdot t}{R}\right). \qquad (5)$$

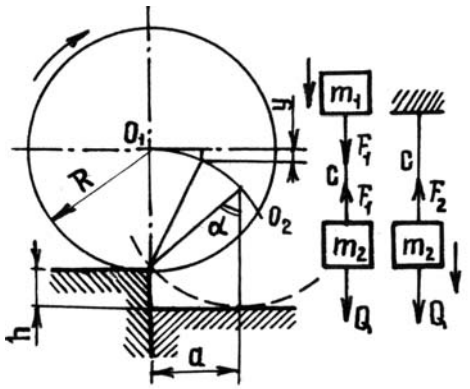


Рис. 2. Схема проходження вагонного колеса через попутну сходинку рейок

Аналогічно попередньому випадку тут виконуються співвідношення:

$$t_0 = (R\alpha)/V \quad \text{та} \quad t_0 \geq t \geq 0.$$

Розглядаємо схематично відображене вертикальне переміщення пружної системи за допомогою двомасової схеми. На першому етапі переміщення другої маси виражається таким рівнянням:

$$m_2 \ddot{x}_{21} = Q - F_1, \qquad (6)$$

де

$$F_1 = Q - c(x_{21} - x_{11}).$$

Навантаження пружного зв'язку на першому етапі

$$F_1 = Q + D\left(\cos\frac{Vt}{R} - \cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t\right).$$

Підставляючи отриманий вираз в рівняння (6) та інтегруючи його із врахуванням вихідних умов, одержуємо визначення швидкості для другої маси:

$$\dot{x}_{21} = \frac{D}{m_2}\left(\frac{\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t}{\sqrt{\frac{c}{m_2}}} - \frac{\sin\frac{Vt}{R}}{\frac{V}{R}} \right). \qquad (7)$$

Параметри системи в момент контактування обода колеса із нижнім рівнем рейки через час t_0 записуємо таким чином:

$$F_{1к}F_{20} = Q + D\left(\cos\frac{Vt_0}{R} - \cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0 \right);$$

$$\dot{x}_{21} = \frac{D}{m_2}\left(\frac{\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0}{\sqrt{\frac{c}{m_2}}} - \frac{\sin\frac{Vt_0}{R}}{\frac{V}{R}} \right).$$

Після переходу передніх за ходом вагона коліс колісної підвіски на нижній рівень, тобто на рівень стикованої рейки, верхня маса даної системи припиняє своє вертикальне переміщення, а для другої маси справедливим буде таке рівняння:

$$\ddot{m}_2\ddot{x}_{22} = Q - F_2, \qquad (8)$$

де

$$F_2 = F_{20} + cx_{22}.$$

Для навантаження пружного зв'язку на другому етапі переміщення отримуємо

$$F_2 = A_2\cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t + B\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t + Q, \qquad (9)$$

де

$$A_2 = F_{1к} - Q \quad \text{та} \quad B_2 = \frac{c\dot{x}_{21к}}{\sqrt{\frac{c}{m_2}}}.$$

Звідси визначаємо найбільшу величину динамічного навантаження [3]:

$$F_{2\max} = \sqrt{A_2^2 + B_2^2} + Q. \qquad (10)$$

Як показують розрахунки, найбільше динамічне навантаження при попутній сходинці має приблизно такі ж функціональні залежності, як і при зустрічній сходинці. Крім того, виявляється, що динамічні навантаження як при попутній, так і при зустрічній сходинках практично однакові, що суперечить прийнятому твердженню [2] про більшу величину динамічного навантаження при попутній сходинці у порівнянні із зустрічною.

Провівши апроксимацію, що дозволила звести рішення нелінійної задачі до послідовного рішення спорідненої лінійної задачі, автор наведеної праці виходив із умови сталості прискорення вертикального переміщення системи. Тобто

$$\ddot{y}_0 = -\frac{2V^2}{d},$$

де d – діаметр вагонного колеса.

У дійсності величина прискорення змінюється, приймаючи наведене значення лише на початку режиму скочування, а потім зменшується. Таким чином, динамічне навантаження під час контактування колеса із попутною сходинкою є завищеним і застосована автором наукового дослідження [2] методика лінеаризації в даному випадку є хибною і неточно відображає реальний характер даного перехідного процесу.

Зазор у стику. Прийнявши за умову, що стиковані залізничні рейки розташовані на одному рівні, констатуємо, що перша половина перехідного режиму, коли центр вагонного колеса ще не перебуває посередині зазору стику, відбувається аналогічно руху колеса при попутній сходинці. Друга половина перехідного режиму відбувається подібно руху при зустрічній сходинці, але при більш складних початкових умовах.

До початку другого етапу будуть такі початкові умови:

- швидкість першої маси отримує миттєвий імпульс і змінює свій знак на додатний:

$$\dot{x}_{120} = \frac{V}{u_{\text{під}}}\sin\alpha;$$

- швидкість другої маси напрямлена до низу і розраховується за формулою

$$\dot{x}_{220} = -\frac{D}{m_2}\left(\frac{\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0}{\sqrt{\frac{c}{m_2}}} - \frac{\sin\frac{Vt_0}{R}}{\frac{V}{R}} \right).$$

Розрахункова схема (рис. 3) характеризується протилежними за напрямами переміщеннями мас, і рівняння руху приймає такий вигляд:

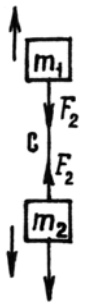


Рис. 3. Схема
проходження вагонного колеса через стики рейок

$$m_2\ddot{x}_{22} = Q - F_2\,, \qquad (11)$$

де F_2 – навантаження пружного зв'язку

$$F_2 = F_{20} + c(x_{12} + x_{22})\,.$$

Структура пружного навантаження буде аналогічною наведеному вище виразу (3), де коефіцієнти A_2 і B_2 розраховуються згідно з такими залежностями:

$$A_2 = D\left[\left(\cos\alpha - 1\right) - \cos\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0\right],$$

$$B_2 = \sqrt{cm_2}\left[\frac{V}{u_{ni\partial}}\sin\alpha + \left|-\frac{D}{m_2}\left(\frac{\sin\sqrt{\frac{c}{m_2}}t_0}{\sqrt{\frac{c}{m_2}}} - \frac{\sin\alpha}{\frac{V}{R}}\right)\right|\right].$$

У першому наближенні найбільше значення ударного навантаження становитиме [3]

$$F_{2\max}^{(1)} \approx \sqrt{A_2^2 + B_2^2} + D\cos\alpha + Q\,. \qquad (12)$$

Аналізуючи останній вираз бачимо, що під час проходження через зазор стиків рейок центр вагонного колеса опускається на таку ж величину, як і у разі проходження будь-якої із сходинок, а коефіцієнт поштовхів отримується найбільшим.

Таким чином, авторами запропонована доволі проста диференціальна методика розрахунку коефіцієнта поштовху залежно від швидкості переміщення залізничного вагона і коефіцієнта жорсткості його колісної підвіски. Числові розрахунки дозволяють залежно від стану стикування рейок залізничної колії із високим ступенем достовірності встановлювати коефіцієнт динамічних поштовхів і відповідно рівень механічного пошкодження ободів коліс, що в свою чергу гарантує надійність безаварійної експлуатації пасажирських і вантажних вагонів залізничного транспорту.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Ковальский Б. С. Грузоподъемные машины. Механика передвижения. – Х.: Изд-во ХВКИУ, 1973.
2. Богуславский П. Е. Теоретические и экспериментальные исследования динамических коэфициентов перемещения грузоподъемных механизмов. – М.: Машиностроение, 1971.
3. Джус В. С. Коефіцієнти напружень і деформацій у рухомих вузлах залізничних вагонів / В. С. Джус, А. Я. Куліченко // Наукові нотатки: Збірник Луцького держ. технічного ун-ту. 2003. – Вип. 13, – С. 116–122.

Надійшла до редколегії 27.06.2006.

УДК 629.4.014.7

А. В. ДОНЧЕНКО, В. А. ХУДІЄНКО, Т. В. ШЕЛЕЙКО (ДП «УкрНДІВ»)

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВАГОНІВ ДЛЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ У ВАГОНИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ СИПКИХ ВАНТАЖІВ

Обґрунтовується можливість та доцільність використання вагонів-хоперів для мінеральних добрив при перевезенні сипких вантажів без зменшення показників несучої здатності їх елементів. Наведені результати теоретичних досліджень, міцнісних та експлуатаційних випробувань.

Обосновывается возможность и целесообразность использования вагонов-хопперов для минеральных удобрений при перевозке сыпучих грузов без уменьшения показателей несущей способности их элементов. Приводятся результаты теоретических исследований, прочностных и эксплуатационных испытаний.

The article substantiates the possibility and expediency of using hopper cars for mineral fertilizers in transportation of bulk freights without reduction of bearing ability parameters of their elements. Results of theoretical research, strength and operational tests are provided.

На даний час кількість вантажних вагонів робочого парку залізниць України не в повній мірі забезпечує обсяги перевезень сипких вантажів. Дослідження [1] за обсягом вантажних перевезень і забезпечення його рухомим складом, проведені Державним науково-дослідним центром Укрзалізниці (ДНДЦ УЗ), виявили впевнене зростання першого і нестачу останнього. Так, наприклад, дефіцит парку піввагонів на даний час обчислюється кількома тисячами, до 2010 року може сягнути вже кількох десятків тисяч, якщо ситуація не зміниться (рис. 1).

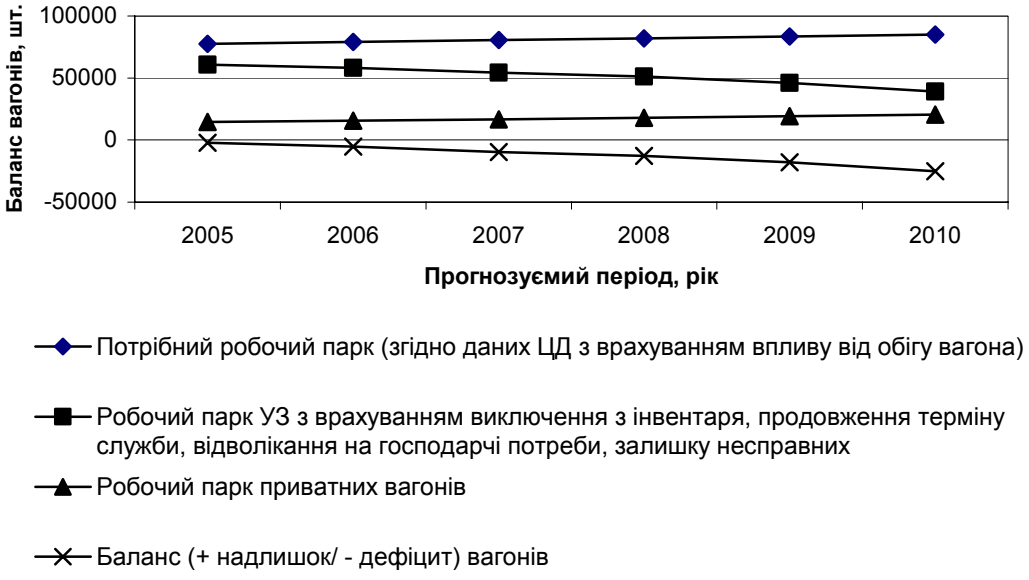


Рис. 1. Аналіз парку піввагонів

Одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є використання вагонів інших типів, кількість яких перевищує їх потребу. Приклад цього – вагони для мінеральних добрив (рис. 2). Вони в повній мірі не використовуються та, як наслідок, формують додаткові витрати. Застосування таких вагонів у перевезеннях сипких вантажів дозволить вантажовідправникам і вантажоодержувачам усунути неритмічність технологічного процесу відвантаження й доставки сировини, що має місце у зв'язку з невчасним надходженням вагонів.

Ідея використання вагонів за іншим призначенням стара. На початку 1990-х років Стахановським виробничим об'єднанням вагонобудування була здійснена спроба застосування своєї серійної продукції – вагона для мінеральних добрив моделі 19-923 – у виконанні без даху (згодом це модель 19-923А) для перевезення щебеню, піску, керамзиту, гранвідсіву тощо. На той час

будівництво важливих промислових об'єктів, безперервне зростання обсягів виробництва об'єктів житла виявило невідповідність в повній мірі універсального і спеціалізованого рухомого складу, що використовується будівельними організаціями по його вантажопідйомності і вантажомісткості сипким будівельним вантажам, що перевозяться, а також вимогам до проведення розвантажувальних робіт. Так, використання для перевезення сипких вантажів думпкарів, універсальних платформ, вагонів-хоперів для окатишів і хопер-дозаторів призводило до недовикористання їх вантажопідйомності через малий об'єм кузова, а використання платформ і піввагонів було пов'язане із значними витратами під час розвантажувальних операцій.

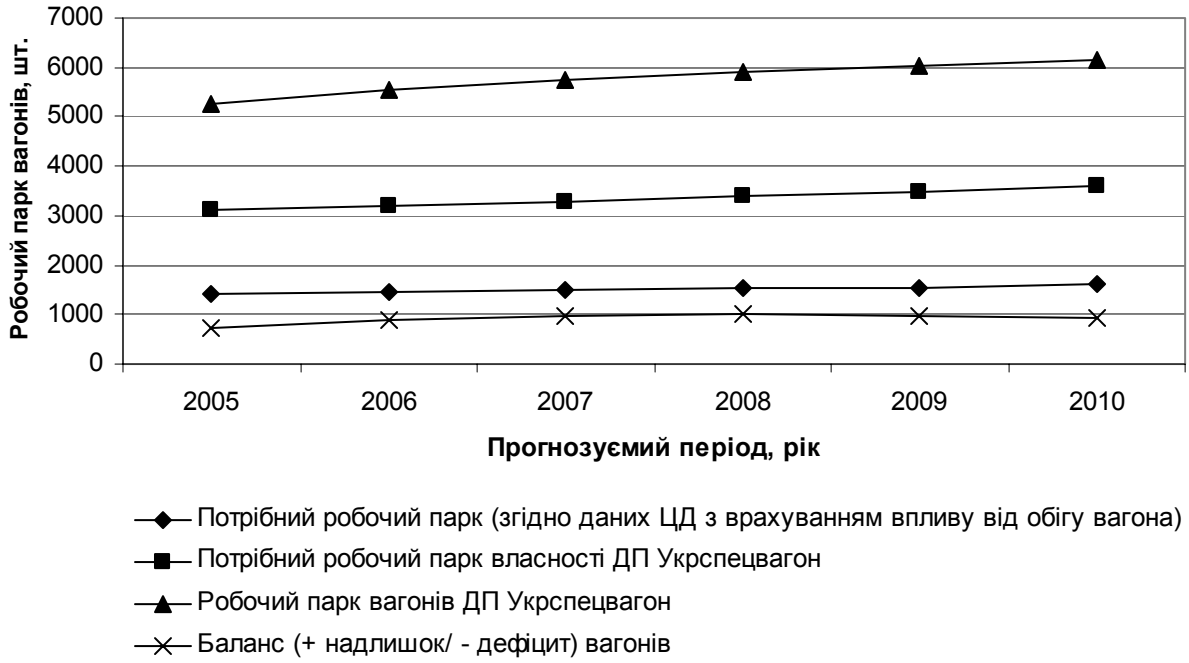


Рис. 2. Аналіз парку мінераловозів

Українським філіалом ВНИИВ [2] у 1991 році були проведені дослідження щодо збереження вагона в експлуатації, відповідність його конструкції і параметрів вимогам по навантаженню, розвантаженню й безпеці під час транспортування вантажів, що дозволили зробити такі висновки:

– порівняння параметрів вагона з вагонами, що традиційно використовуються для перевезення сипких будівельних вантажів (універсальна платформа, піввагон, думпкар, вагон-хопер для окатишів, хопер-дозатор) свідчить про істотні техніко-економічні переваги (рис. 3) при перевезенні відкритим хопером з позицій використання вантажопідйомності, раціональності використання тари і трудомісткості розвантажувальних робіт;

– параметри і конструкція вагона відповідають вантажно-розвантажувальним пристроям підприємств, на яких використовуються, забезпечуючи навантаження, розвантаження, зручність та безпеку обслуговування вагона, за винятком неможливості розвантаження грейферними кранами і на вагоноперекидачах;

– забезпечується повне збереження вантажів, що перевозяться;

– під час розвантаження практично відсутні залишки вантажу, однак, не припустимі завантаження і перевезення вологих вантажів при температурі навколишнього середовища, що спричиняє їх змерзання;

– техніко-економічний аналіз (рис. 4) підтвердив доцільність використання відкритого хопера на базі вагона для міндобрив 19-923 під час перевезення сипких вантажів.

– Контрольні випробування [3] довели, що за своїми міцнісними характеристиками вагон відповідає вимогам чинної нормативно-технічної документації.

У сучасних умовах, коли постала проблема забезпечення підприємств гірничо-металургійної галузі вторинною сировиною (аглоруда, флюси, щебінь тощо) УДЦ «Укрспецвагон» [4] запропонував модернізування вагонів-мінераловозів, які потребують капітального ремонту і мають пошкодження даху, шляхом усунення покрівлі з додатковим підсиленням конструкції, що значно скоротило б витрати на ремонт вагонів.

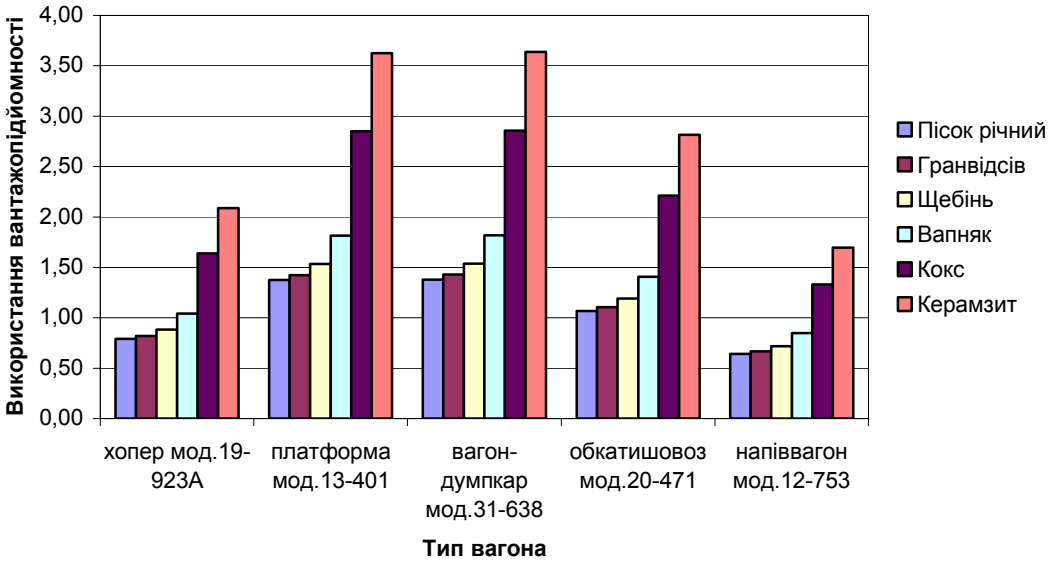


Рис. 3. Використання вантажопідйомності:
1, 00 – стовідсоткове використання; <1,00 – недовикористання по об'єму;
>1,00 – недовикористання по вантажопідйомності

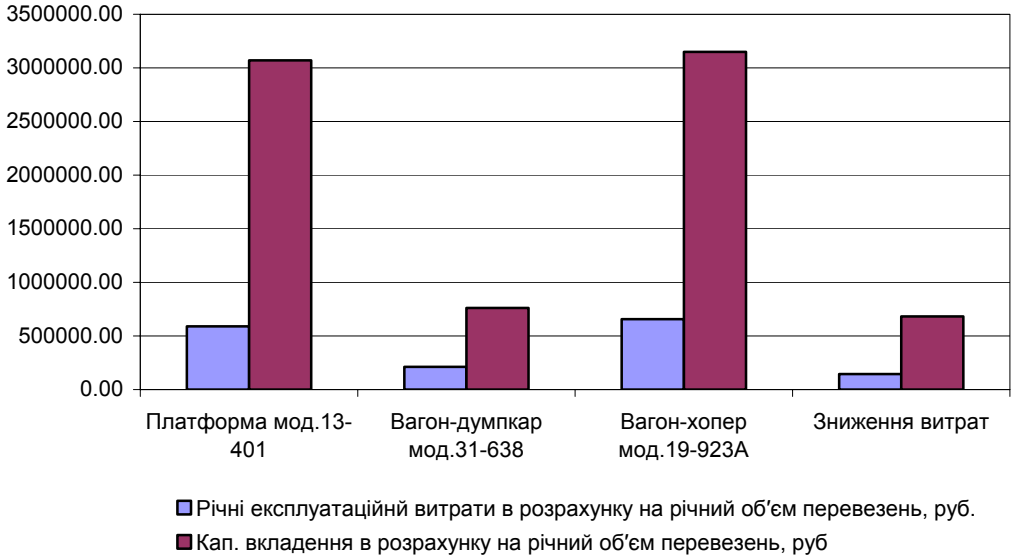


Рис. 4. Зниження витрат в розрахунку на річний обсяг перевезень вантажів (за даними 1991 р.)

Таким чином, у 2003 році Стахановським вагонобудівним заводом (СВЗ) була розроблена документація на виконання модернізації під час проведення капітального ремонту вагона для мінеральних добрив моделі 19-923 у вагон для сипких вантажів (нова модель 19-923-01), а у 2004 році – для вагона моделі 11-740 (нова модель 11-740-01), теж виробництва СВЗ. Згідно з ТУ [5; 6], модернізації підлягають мінераловози з ушкодженими чи відсутніми дахами, а також ті, що потребують заміни даху при ушкодженні його корозією більше 30 % товщини і мають залишковий термін служби не менше 10 років.

Результати міцнісних випробувань [7, 8], проведених УкрНДІВ, дослідних зразків вагонів моделей 19-923-01 та 11-740-01 свідчать про те, що:

– основні несучі елементи конструкцій вагонів за своїми міцнісними якостями відповідають вимогам нормативної документації, тобто зміна конструкцій не мала негативного впливу на міцність кузовів;

– гальмівне обладнання відповідає вимогам нормативної документації і дозволяє їх експлуатацію з установленими для вантажних потягів швидкостями руху.

Під час експлуатаційних випробувань [9; 10] вагон був завантажений доломітом на території ВАТ «Докучаєвський флюсодоломітовий комбінат» з застосуванням стрічкового конвеєра. Тривалість завантаження склала 30 хвилин.

Розвантаження вагона моделі 19-923-01 відбулося на аглофабриці ВАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» на естакаді. Тривалість розвантаження вагона через люки без урахування підготовчих робіт склала 50 секунд. Для розвантажування вагона моделі 11-740-01 використовувався вагоноперекидач роторного типу. Тривалість розвантаження вагона без урахування підготовчих робіт склала 3 хвилини.

У процесі розвантаження обох вагонів залишків вантажу в кузові не було виявлено, очищення кузова від залишків вантажу не проводилося. Виходячи з габаритних розмірів кузовів, модернізовані вагони можливо розвантажувати на вагоноперекидачах тільки роторного типу, оскільки довжина кузовів по верхній обв'язці не відповідає умовам розвантаження на вагоноперекидачах баштового типу.

Таким чином, пройшовши весь необхідний комплекс випробувань, вагон моделі 19-923 Стахановського вагонобудівного заводу, модернізований у вагон для перевезення сипких вантажів, був рекомендований до серійного виробництва. Крім задовільних основних показників, конструкція вагона має ще один не менш важливий показник – можливість розвантаження в міжрейковий простір, що розширює експлуатаційні можливості вагона, дозволяє проводити вивантажування в спеціалізовані приймальні пристрої на стрічкові конвеєри, а ручний привод розвантажувальних люків дає можливість розвантажувати вагон на малих підприємствах.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Комплексна програма оновлення рухомого складу залізничного транспорту України на 2006 – 2010 роки. – К.: ДНДЦ УЗ, 2005.
2. Исследование целесообразности использования вагона для минеральных удобрений для перевозки строительных материалов. Отчет о НИР. – Кременчуг, 1991.
3. Проведение контрольных испытаний вагона модели 19-923А для сыпучих стройматериалов. Отчет о НИР. – УкрНИИВ, Кременчуг, 1993.
4. Лист Головного управління вагонного господарства Укрзалізниці № ЦВ–19/410 від 08.05.2003.
5. Модернізація вагона для мінеральних добрив моделі 19-923 у вагон для сипких вантажів. Модель 19-923-01. Технічні умови. ТУ У 35.2-00210890-004-2003.
6. Модернізація вагона для мінеральних добрив моделі 11-740 у вагон для сипких вантажів. Модель 11-740-01. Технічні умови. ТУ У 35.2-00210890-008-2004.
7. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 362 від 16.02.2004 р. контрольних випробувань модернізованого вагона-хопера для перевезення сипких вантажів моделі 19-923-01 (статичних від дії вертикальних сил, випробувань на вагоноперекидачі та на співудар).
8. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 365 від 05.03.2004 р. контрольних випробувань модернізованого вагона-хопера для перевезення сипких вантажів моделі 11-740-01 (статичних від дії вертикальних сил, випробувань на вагоноперекидачі та на співудар).
9. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 360 від 04.02.2004 р. експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера для перевезення сипких вантажів моделі 19-923-01.
10. Протокол ВЦ ПВ УкрНДІВ № 361 від 04.02.2004 р. експлуатаційних випробувань модернізованого вагона-хопера для перевезення сипких вантажів моделі 11-740-01.

Надійшла до редколегії 06.12.2006.

УДК 629.4+62-83

Р. В. КОВАЛЕВ, Г. А. ФЕДЯЕВА, В. Н. ФЕДЯЕВ (Брянский государственный технический университет, Россия)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОВОЗОВ

Розроблена комп'ютерна модель електромеханічної системи магістрального тепловоза на базі поєднання програмних комплексів MatLab і «Універсальний механізм»

Разработана компьютерная модель электромеханической системы магистрального тепловоза на базе совмещения программных комплексов MatLab и «Универсальный механизм».

Based on combination of program packages MatLab and Universal Mechanism, a computer model of electromechanical system for a mainline diesel locomotive is developed.

Необходимость обновления парка российских тепловозов требует создания в кратчайшие сроки мощных магистральных машин. Брянским машиностроительным заводом (БМЗ) совместно с Всероссийским научно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом (ВНИКТИ МПС) ведется разработка новых тепловозов как с асинхронными тяговыми двигателями (АТД), так и с двигателями постоянного тока (ДПТ). Выпущен опытный образец магистрального тепловоза 2ТЭ25К мощностью 2 500 кВт с коллекторными двигателями, строится опытный образец тепловоза 2ТЭ25А с АТД.

Крайне сжатые сроки проектирования делают особенно актуальным использование для прогнозирования динамических свойств перспективных тепловозов современных методов компьютерного моделирования. Однако исследование локомотива как единой сложной электромеханической системы в настоящее время затруднено тем, что широко применяемые для моделирования автоматизированного электропривода программные комплексы MatLab и OrCad не имеют инструментария, позволяющего анализировать динамику сложных механических объектов с большим числом степеней свободы. Поэтому разрабатываемые в них модели локомотивов используют упрощенное представление механической части тепловозов в виде 2…6 – массовых систем, что ведет в ряде случаев не только к снижению точности, но и к полной утрате некоторых существенных явлений, таких, например, как перераспределение нагрузки по осям в режиме тяги.

Вместе с тем, программный комплекс (ПК) «Универсальный механизм» (UM), зарекомендовавший себя как надежный и эффективный инструмент анализа динамики железнодорожных экипажей, позволяет полностью автоматизировать построение уравнений движения локомотива как механической системы, что дает возможность использовать расчетные схемы с практически любой степенью детализации, и тем самым максимально приблизить модель к реальному объекту (рис. 1).

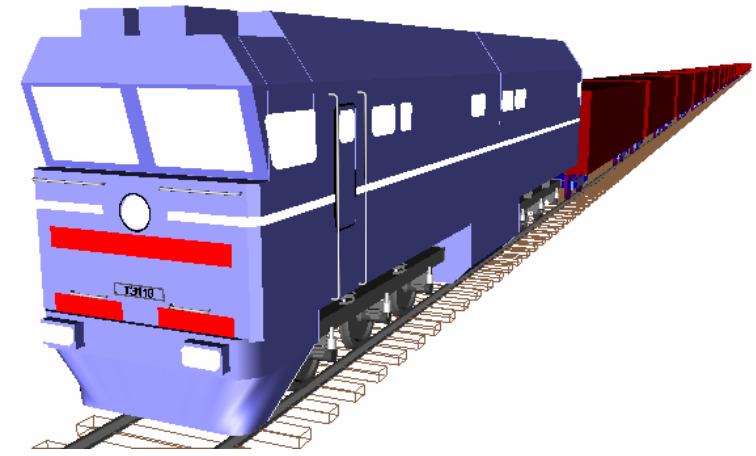


Рис. 1. Модель механической части тепловоза 2ТЭ116 с составом в ПК UM

При этом тепловоз (и при необходимости состав) представляются в виде системы твердых тел (кузова, рам тележек, зубчатых колес редукторов, колесных пар, остовов тяговых двигателей и т. д.), связанных друг с другом через элементы, обладающие упругими и диссипативными свойствами. Соединение такой модели с моделью электрической и управляющей подсистем открывает новые возможности для более полного анализа динамических свойств тепловозов. В рамках развития ПК UM на кафедре «Прикладная механика» Брянского государственного технического университета был разработан дополнительный модуль, обеспечивающий интеграцию моделей, созданных в MatLab/Simulink, в модели ПК UM. С использованием такой интеграции разработана модель двухсекционного 12-осного локомотива 2ТЭ116, на базе которого создан новый магистральный тепловоз 2ТЭ25К. Тепловоз имеет трехосные тележки с опорно-осевым подвешиванием тяговых двигателей (рис. 2, *а*, *б*).

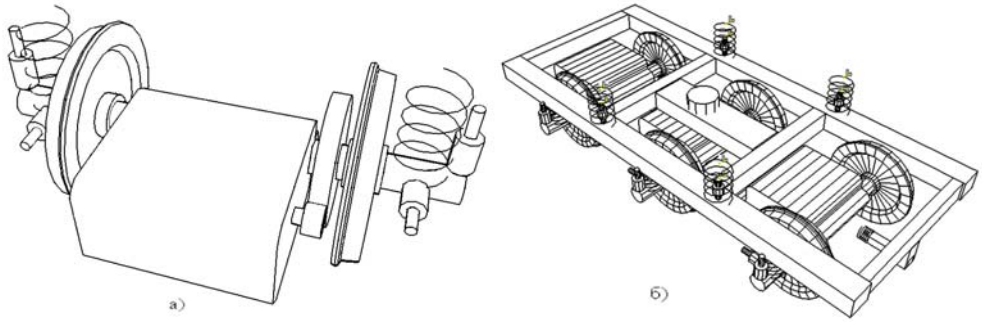


Рис. 2. Элементы модели механической части тепловоза 2ТЭ116 в ПК UM:
а – колесно-моторный блок; *б* – тележка

Моделирование электрической и управляющей подсистем выполнено в среде MatLab 7.0 средствами основной библиотеки Simulink, так как при использовании прикладного пакета SimPowerSystems в некоторых случаях возможны осложнения при совмещении уравнений MatLab с ПК UM. Для моделирования электрической части серийного тепловоза 2ТЭ116 принята силовая схема с параллельным подключением тяговых двигателей последовательного возбуждения к одной выпрямительной установке (ВУ).

При моделировании источника питания использованы зависимости выпрямленного напряжения тягового генератора от выпрямленного тока Ud(Id) (внешние характеристики) для каждой позиции контроллера машиниста. В комплексе MatLab это выполнено при помощи ключа Multiport Switch и блоков табличного задания функций Look Up Table (N1…N15) (рис. 3). Причем, благодаря тому, что при трансляции уравнения MatLab включаются в систему уравнений ПК UM с соблюдением определенных правил, обеспечивающих возможность корректировки параметров, можно, изменяя настройки блоков Step (S1…S15), управляющих ключом, менять режимы движения локомотива (время движения на каждой позиции контроллера машиниста) непосредственно в среде ПК UM.

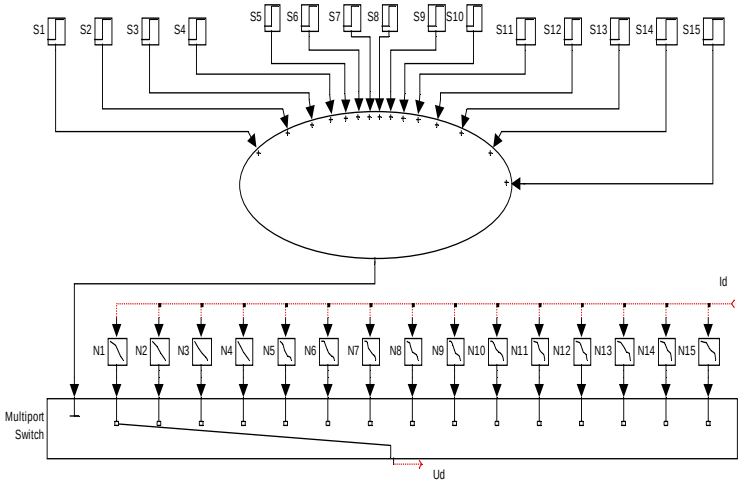


Рис. 3. Фрагмент модели электрической подсистемы тепловоза в MatLab,
выполняющий переключения позиций контроллера машиниста

Влияние переходных процессов в цепях системы автоматического регулирования (САР) напряжения тягового генератора на мгновенное значение его выходного выпрямленного напряжения U, подводимого к тяговым двигателям, учитывается уравнением [2]

$$T_1 \frac{dU}{dt} + U = U_d\left(I_d\right),$$

где T_1 – постоянная времени цепи генератора.

Инерционность изменения мощности дизеля при изменении позиции контроллера машиниста можно описать аналогично введением инерционного звена.

При моделировании двигателя последовательного возбуждения желательно для уточнения модели в нормальных, и особенно в аварийных и нестационарных режимах, учесть влияние вихревых токов, наводимых в магнитопроводе при изменении потока двигателя. Для моделирования тягового двигателя с учетом вихревых токов используются различные методы [3; 4].

В данной работе применен упрощенный подход [5; 6], при котором реальный контур вихревых токов заменяют фиктивным (с числом витков W_0 и сопротивлением R_0), расположенным по продольной оси β обобщенной машины (рис. 5), и связанным с потоком Ф по данной оси коэффициентом связи, равным единице. При этом в фиктивном контуре течет ток I_0, обмотки якоря и возбуждения двигателя обтекаются одним и тем же током $I_я$ (ослабление поля в данном случае не учитывается). В цепь якоря входят суммарная индуктивность $L_я$ и суммарное сопротивление $R_я$, включающие индуктивности и сопротивления обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной соответственно; собственная индуктивность обмотки возбуждения $L_в$; сопротивление обмотки возбуждения $R_в$ и противо-ЭДС двигателя $E_я$. Система уравнений двигателя в осях α, β (рис. 4) имеет вид

$$\frac{dI_я}{dt}\left(L_я + L_в(I_\mu)\right) + \frac{dI'_0}{dt}L_\mu = U - I_я(R_я + R_в) - c\Phi(I_\mu)\omega$$

$$\frac{dI_я}{dt}L_\mu + \frac{dI'_0}{dt}L_\mu = -I'_0 R'_0 \qquad (1)$$

где $I_\mu = I_я + I'_0$ – ток намагничивания;

$I'_0 = I_0 \frac{W_0}{W_в}$ – вихревой ток, приведенный к обмотке возбуждения;

$W_в$ – число витков обмотки возбуждения;

$R'_0 = \frac{W_в^2}{W_0^2} R_0$ – приведенное сопротивление контура вихревых токов;

$L_в(I_\mu)$ – индуктивность обмотки возбуждения, рассчитываемая на основе кривой намагничивания;

$L_\mu = L_в(I_\mu) - L_\sigma$ – приведенная взаимная индуктивность обмотки возбуждения и контура вихревых токов;

L_σ – индуктивность рассеяния главных полюсов;

$\Phi(I_\mu)$ – магнитный поток двигателя, определяемый по характеристикам машины; c – постоянная двигателя;

ω – угловая скорость вращения ротора. Параметры контура вихревых токов W_0, R_0 уточняются по экспериментальным данным [5].

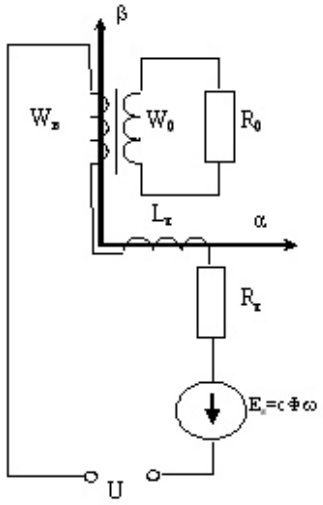


Рис. 4. Схема моделирования ДПТ

Выражая из системы (1) производные токов, получаем уравнения двигателя в форме Коши

$$\left.\begin{aligned}
\frac{dI_я}{dt} &= \frac{L_\mu\left[U - I_я(R_я + R_в) - c\Phi(I_\mu)\omega\right] + L_\mu I'_0 R'_0}{L_\mu(L_я + L_в(I_\mu)) - L_\mu^2}, \\
\frac{dI'_0}{dt} &= \frac{-I'_0 R'_0(L_я + L_в) - L_\mu\left[U - I_я(R_я + R_в) - c\Phi\left(I_\mu\right)\omega\right]}{L_\mu(L_я + L_в(I_\mu)) - L_\mu^2}.
\end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

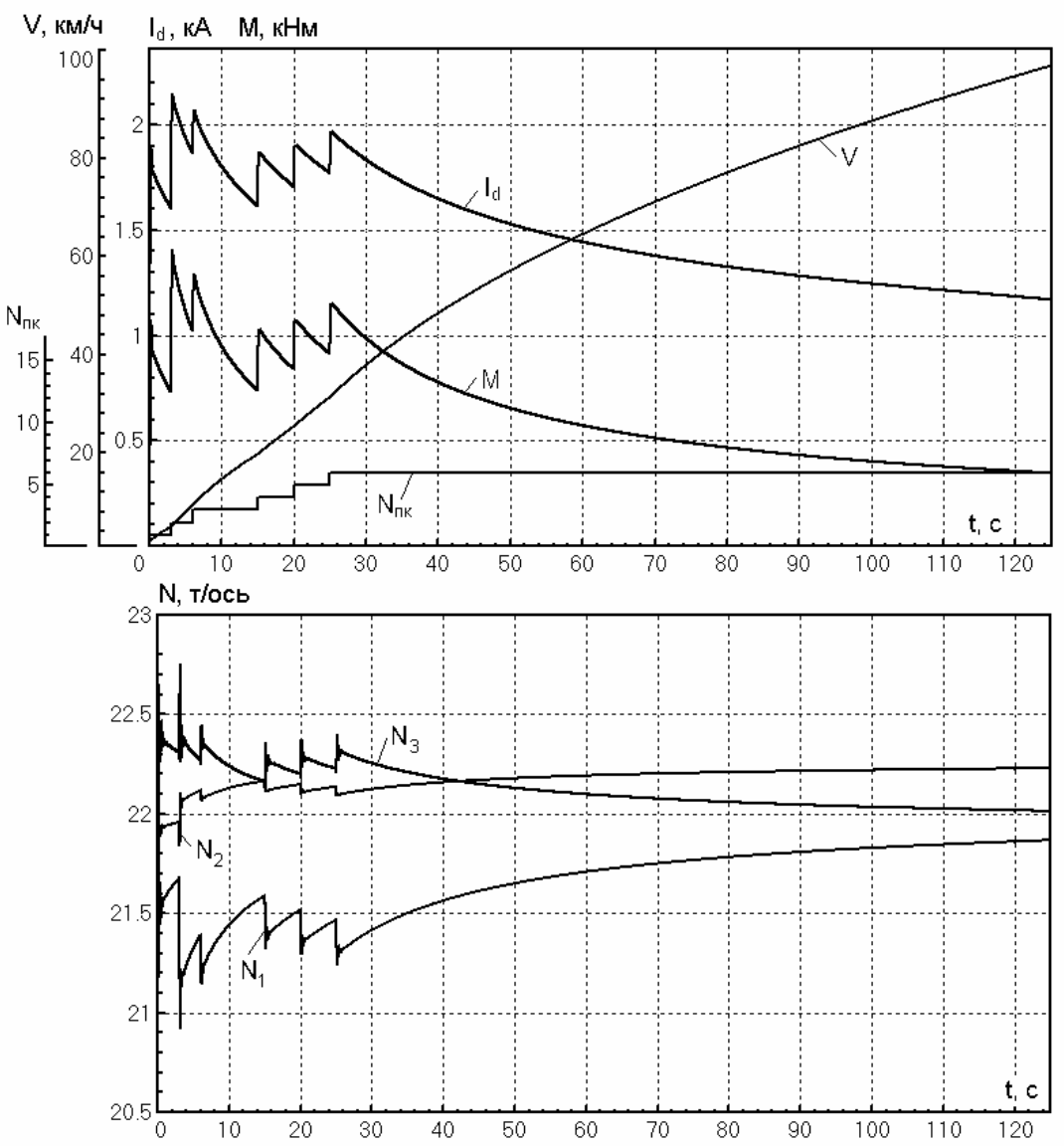


Рис. 5. Результаты моделирования динамики электромеханической системы секции тепловоза 2ТЭ116

Скорости роторов ω, входящие в уравнение (2), определяются при расчете механической части в ПК UM. Кривые $\Phi(I_\mu)$ и $L_в(I_\mu)$ в MatLab задаются таблично с интерполяцией промежуточных значений.

Сравнение результатов моделирования с осциллограммами эксплуатационных испытаний тепловоза 2ТЭ116, полученными ВНИКТИ МПС на участке Ртищево – Кочетовка Юго-Восточной железной дороги [7] показывает, что расхождение расчетных и экспериментальных данных при нормальных условиях сцепления составляет не более 12 %.

На рис. 5 в качестве примера приведены результаты моделирования разгона до конструкционной скорости одной секции тепловоза 2ТЭ116 при переключении позиций контроллера машиниста с 1 по 6. Изображены следующие графики: номер позиции контроллера $N_{пк}$, скорость тепловоза V, ток выпрямительной установки I_d, момент двигателя первой колесной пары M, нагрузки на оси колесных пар первой тележки $N_1 \ldots N_3$.

В рамках продолжения исследований планируется разработка и анализ электромеханической модели магистрального тепловоза 2ТЭ25К с различными конструкциями тележек.

Выводы

1. Разработана модель, иллюстрирующая принципиальную возможность прогнозирования динамических режимов в электромеханической системе тепловоза на базе совмещения программных комплексов MatLab и UM.

2. Для тепловоза 2ТЭ116 определены: продольный и поперечный крип и силы крипа;

суммарная сила тяги; вертикальные силы на колесах; усилия в элементах подвешивания, виброускорения кузова, рам тележек, корпусов тягоых двигателей и другие параметры с учетом динамических процессов в электрической подсистеме и обусловленного ими перераспределения нагрузок.

3. Модель позволяет исследовать аварийные и нестационарные режимы и, при дополнении ее системами защиты от буксования, выполнять сравнение различных вариантов защит.

4. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 05-01-00756.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Погорелов Д. Ю. Введение в моделирование динамики систем тел. – Брянск: БГТУ, 1997. – 156 с.
2. Павленко А. П. Динамика тяговых приводов магистральных локомотивов. – М.: Машиностроение, 1991. – 192 с.
3. Жиц М. З. Переходные процессы в машинах постоянного тока. – М: Энергия, 1974. – 112 с.
4. Плакс А. В. Параметры коллекторных тяговых двигателей при моделировании переходных процессов в цепях электровозов / А. В. Плакс , М. Ю. Изварин // Вестник ВЭлНИИ. – Новочеркасск: Из-во ВЭлНИИ, 2004, – С. 112–118.
5. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков – М.: Транспорт, 1979. – 303 с.
6. Ключев В. И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 704 с.
7. Клименко Ю. И. Моделирование электропривода с изменяемой жесткостью тяговой характеристики: Дис. … канд. техн. наук. – Коломна: ВНИКТИ, 2004. – 171 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

УДК 656.225

Г. И. МУЗЫКИНА, П. В. БЕХ (ДИИТ)

К ВОПРОСУ О РАБОТЕ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПУНКТОВ

Запропоновано шляхи вирішення задач по підвищенню ефективності роботи контейнерних пунктов.

Предложены пути решения задач по повышению эффективности работы контейнерных пунктов.

In this paper the authors suggest the methods of increasing efficiency of container handling.

На сегодня в Украине среди 274 грузовых станций свыше 66 % выполняют работу с контейнерами, в том числе 50 % – со среднетоннажными, 13 % – со средне- и крупнотоннажными и около 4 % – с крупнотоннажными. Работа с тридцатитонными контейнерами практически вся сосредоточена в сервисном центре «Лиски», где используются новейшие технические средства. Но среди 115 контейнерных терминалов, не учитывая 69 грузовых станций с небольшими контейнерными площадками, где работа осуществляется в основном автомобильными кранами, определено 11 непригодных для эксплуатации. Из 153 разных видов перегрузочных средств 16 требуют капитального ремонта практически с полным восстановлением, а свыше 10 % подлежат списанию. На 25 контейнерных терминалах отсутствуют автостропы, что значительно увеличивает эксплуатационные затраты на содержание дополнительного штата.

Использование перегрузочных средств крайне неэффективно, так ежегодно их простои составляют свыше 100 тыс. ч, из которых 70 % из-за отсутствия работы, и свыше 23 % – неисправность и межоперационные перерывы. На значительной части контейнерных терминалов верхнее строение подкрановых путей не обеспечивает безопасность эксплуатации транспортных средств и личную безопасность рабочих, которые их обслуживают. Больше половины грузовых станций и свыше 20 % механизированных дистанций не имеют соответствующей базы и оснащения для ремонта кранов и электрооборудования.

Из указанных выше недостатков вытекает целый ряд первоочередных задач, которые должны быть направлены на улучшение состояния использования средств комплексной механизации и автоматизации работы контейнерных терминалов. После решения задач по приведению технического оснащения контейнерных терминалов к надлежащему уровню необходимой становится задача организации оптимального управления перегрузочными процессами, в современных условиях появляется ряд требований, которые изменяют подходы к решению этой задачи.

Одна из целей – исследования вопросов оптимизации управления транспортными средствами на контейнерных терминалах в условиях приоритетного обслуживания отдельных потоков контейнеров с достижением минимальных приведенных эксплуатационных затрат, в которых находят отображения такие показатели, как производительность работы, затраты энергоресурсов, дальность перемещения перегрузочных средств и грузов.

Одна из основных проблем оптимального управления перегрузочными процессами – выбор рациональной стратегии управления транспортными средствами в границах выполнения рабочего цикла, когда дальность их перемещения при расчетных скоростях и ускорениях движения есть определяющей с учетом ограничений, которые накладываются на параметры управления. Эти ограничения определяются конструктивными и эксплуатационными условиями (допустимыми скоростями и ускорениями для конкретного грузового фронта, максимальными тяговыми усилиями, эксплуатационной производительностью, емкостью площадок и др.).

Критериями оптимизации могут быть стоимостные параметры на выполнение основных операций рабочего цикла с учетом энергетических затрат в зависимости от дальности перемещения транспортных средств. Но при решении этой задачи возникает ряд противоречий: с одной стороны, увеличение дальности перевозок дает возможность повышения скорости и сокращения общей продолжительности рабочего времени, уменьшение простоев под погрузочно-разгрузочными операциями, увеличение производительности и уменьшение числа перегрузочных механизмов, а с другой стороны,

обслуживание грузового фронта значительной длины вызовет дополнительные простои вагонов на путях сортировочного парка станции, увеличение числа путей, повторной сортировки вагонов и числа маневровых локомотивов. Вместе с тем уменьшение дальности перемещений увеличивает общее число включений двигателя, который резко изменяет объемы затрат электроэнергии, а также уменьшает среднюю скорость при выполнении рабочего цикла, однако, при этом есть возможность секционирования путей грузового фронта, который разрешит с одновременной подачей и уборкой вагонов на сопредельных секциях уменьшить простои в сортировочном парке и сократить межоперационные простои при выполнении основных технологических операций перегрузочного процесса.

Если данную площадку обслуживает несколько кранов, то простой одной группы вагонов зависит от простоя других групп или вызовет необходимость замены подачи с остановкой работы других кранов. Внедрение оптимальной технологии управления перегрузочными средствами должно отвечать такой конструкции станции и контейнерного терминала, которая бы дала возможность в полной мере реализовать расчетные параметры с минимальными эксплуатационными затратами.

Во-первых, схема сортировочного парка должна разрешать непосредственную подачу накопленных вагонов на любой грузовой фронт контейнерного терминала, во-вторых, выставочную и погрузочно-разгрузочную колею следует поделить съездами на отдельные секции с возможностью одновременной подачи и уборки вагонов из сопредельных грузовых фронтов. Часть контейнерной площадки, напротив съездов, должна назначаться для пустых и неисправных контейнеров, которые следует накапливать в несколько ярусов.

Площадь склада может быть определена методами удельных нагрузок или элементарных площадок. Метод удельных нагрузок применяется тогда, когда грузы не стандартизированы по геометрическим размерам, а также для ориентировочных расчетов. Для контейнерных грузов расчет площади склада выполняется по элементарным площадкам. В размеры элементарных площадок входят также площади, приходящиеся на проезды и проходы.

Общую площадь контейнерной площадки (склада) можно определить по формуле (м^2):

$$F_{\text{пл}} = \sum \Delta F \frac{E_{\text{ск}}}{\Delta E}, \qquad (1)$$

где ΔE – емкость элементарной площадки, конт.; ΔF – площадь элементарной площадки, м^2; $E_{\text{ск}}$ – общая емкость склада, конт.

$$E_{\text{ск}} = k_{\text{с}} \left(k_{\text{ск}} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{ci} T_{\text{хр}}}{q} + k_{\text{р}} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{ci} T_{\text{р}}}{q} \right), \qquad (2)$$

где $k_{\text{с}}$ – коэффициент сгущения подачи вагонов под погрузку-выгрузку контейнерных грузов; $k_{\text{ск}}$ – коэффициент складочности по прибытии и отправлении; q – масса груза в контейнере, т; Q_{ci} – объем суточной переработки контейнерных грузов по прибытии и отправлении, т; $T_{\text{хр}}$ – время хранения контейнеров на складе по прибытии и отправлении, сут.; $k_{\text{р}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную емкость для ремонтируемых (неисправных) контейнеров; $T_{\text{р}}$ – время ремонта неисправных контейнеров, сут.

Если при решении проблемы оптимальной организации контейнерных перевозок на крупных пунктах это достигается путем внедрения автоматизированных систем управления, то на станциях со средними и малыми объемами работы технология сортировки контейнеров и эффективность процесса всецело зависят от квалификации и опыта приемосдатчиков. Этот процесс наиболее трудоемок, сопровождается большими энергетическими затратами, а также значительными эксплуатационными расходами.

В целях повышения эффективности работы пунктов с малыми и средними объемами переработки разработаны методы оптимального планирования сортировки контейнеров на основе создания автоматизированных рабочих мест приемосдатчиков (АРМ-КП). При этом обеспечивается автоматизация таких функций управления, как учет наличия контейнеров на площадке, их дислокация с указанием назначений плана формирования, выдача выходных документов и ряд др.

Весь комплекс работ по созданию АРМа условно разбит на пять частей: формирование массивов нормативно-справочной информации (НСИ); ввод и контроль исходной информации; расчет плана сортировки контейнеров; организация информационно-справочного режима системы; подготовка выходных документов.

Фонд нормативно-справочной информации состоит из нескольких массивов, в которых содержатся: паспорт контейнерной площадки, включающий наименование и код сетевой разметки станции, основные характери-

стики площадки, условную длину вагонов, типы и размеры контейнеров, дату и состояние системы; план формирования контейнеров для данной станции; справочники описания подвижного состава, содержащие характеристики вагонов для перевозки контейнеров, специализации площадки с информацией о соответствии номеров секторов площадки назначениям плана формирования и схем погрузки, содержащий данные о вместимости вагонов в условных контейнерах как функции от числа контейнеров грузоподъемностью 5 т в комплекте; перечень станций, формирующих вагоны с контейнерами; справочник железных дорог и перечень получателей грузов, обслуживаемых станцией.

Предусмотрено поэтапное решение задачи. На первом этапе выбирают назначения вагонов, на втором подбирают комплекты контейнеров для вагонов с заданными назначениями. Работа алгоритма реализуется путем последовательного принятия решений. Сначала устанавливают последовательность выбора вагонов, определяют назначение следующего свободного вагона и выбирают все вагоны в данное назначение (ранее выбранные). Затем подбирают комплекты контейнеров для каждого вагона. В случае комплектования всех вагонов данной группы назначение фиксируется, а процедура выбора назначения повторяется для следующих свободных вагонов. При невозможности укомплектовать все выбранные вагоны назначение последнего из них не фиксируется, он рассматривается как свободный, в дальнейшем (в порядке очередности) ему присваивается другое назначение. После предварительного комплектования вагонов производится исключение нерациональных перемещений контейнеров в пределах каждой группы вагонов, следующих в одно назначение.

АРМ приемосдатчика контейнерного пункта предоставляет пользователю определенный сервисный режим, который позволяет проанализировать состояние информационной базы, обеспечивает доступ к информации (наличие вагонов в базе системы, контейнеров на площадке, в вагонах, статистические данные о поступлении вагонов с различных станций), получение дубля информационной базы.

Система предоставляет пользователю следующие выходные документы: сортировочный листок, вагонные листы на сформированные вагоны, наряд на выполнение работы краном, книги приема грузов, выгрузки и транзитных контейнеров.

Программа расчета плана сортировки контейнеров позволяет независимо от квалификации приемосдатчика контейнерной площадки получить рациональный план. Пользователю предоставляется возможность задавать режим загрузки вагонов по схемам и до полной вместимости, запрещать или разрешать совместную погрузку в вагоны контейнеров транзитных и своей погрузки, запрещать погрузку контейнеров в вагон, задавать по желанию назначение любого вагона (если назначение вагона не задано, ЭВМ выбирает его сама). В оперативной обстановке приемосдатчику предоставляется возможность корректировки плана сортировки контейнеров.

Большинство грузовых станций с контейнерными пунктами не оборудованы средствами технологической связи и автоматизированной системой управления, что резко уменьшает экономический эффект от контейнеризации перевозок грузов через завышенную продолжительность нахождения контейнеров в начально-конечных пунктах.

Переход на рыночные отношения создает благоприятные условия для возникновения большого числа мелких предприятий-поставщиков продукции. Это вызовет рост перевозок случайных грузов. Для освоения отправок грузов, масса или размеры которых, как правило, будут меньше грузоподъемности или вместимости вагонов, потребуется развивать перевозки в средне- или крупнотоннажных контейнерах или мелкими партиями. С полной уверенностью можно сказать, что наиболее эффективным вариантом будет доставка таких партий грузов в среднетоннажных контейнерах. Ведь они по грузоподъемности и вместимости в большей мере удовлетворяют потребностям мелких и средних производителей по объему или массе грузовых отправок, предъявляемых к перевозке, пригодны для транспортировки на всех видах транспорта. Для переработки таких контейнеров можно применять разные средства механизации погрузочных работ: козловые и краны на автомобильном ходу, автопогрузчики, автопоезда, оборудованные собственными грузовыми механизмами. Грузовые операции с такими контейнерами можно выполнять на неспециализированных грузовых фронтах.

К преимуществам данного способа следует отнести также относительно невысокие требования к мощности и качеству покрытия контейнерных площадок, возможность погрузки и выгрузки контейнеров как вне, так и внутри закрытых складских помещений без больших дополнительных затрат, экономию затрат на транспортную тару, складские помещения, повышение степени сохранности груза и др.

Учитывая, что среднетоннажные контейнеры будут использоваться для перевозки небольших партий дорогостоящих тарно-штучных грузов, оборудования и других грузов по разовым или неустойчивым корреспонденциям, потребуется развивать техническую и технологическую базу. С этой целью следует увеличить парк существующих контейнеров, создать новые конструкции универсальных и специальных среднетоннажных контейнеров, расширить сеть согласованных перевозок «от двери до двери» под общим началом железной дороги, внедрить систему оперативного планирования и управления процессом комплектообразования, которая обеспечивала бы минимальные затраты при транспортировке грузов при оптимальных для каждой их категории сроках доставки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солонин А. Т. Экономико-математический расчет количества погрузочно-разгрузочных машин и устройств // Промышленный транспорт. 1973. – № 4. – С. 15–17.
2. Котенко А. М. АСУ контейнерним пунктом залізничної станції Харків-Балашовський / А. М. Котенко, В. І. Петров // Залізн. трансп. України. – 1997. – Вип. 1. – С. 36–39.

Поступила в редколлегию 17.03.2006.

УДК 629.4.014.67

А. В. ДОНЧЕНКО, М. В. ТРОЦКИЙ, А. Г. КРУПА (ГП «УкрНИИВ»),
Г. В. РЕЙДЕМЕЙСТЕР (ДИИТ)

ТИПАЖ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ УКРАИНЫ

Розроблено типаж перспективних пасажирських вагонів локомотивної тяги для магістральних залізниць України – документ, що систематизує створення парку вітчизняних пасажирських вагонів як сукупності об'єктів з визначеними технічними параметрами та критеріями комфорту.

Разработан типаж перспективных пассажирских вагонов локомотивной тяги для магистральных железных дорог Украины – документ, систематизирующий создание парка отечественных пассажирских вагонов как совокупности объектов с определенными техническими параметрами и критериями комфорта.

A prospective prototype for locomotive-hauled passenger railcars has been developed for mainline services on the rail network of Ukraine. This is the document systematizing creation of domestically produced fleet of passenger cars as the totality of objects with a certain set of technical parameters and comfort criteria.

В Украине железнодорожный транспорт является основным видом перевозок населения в дальнем и пригородном сообщениях. Это определяется сравнительно невысокой стоимостью поездок, стабильностью работы и высоким уровнем провозной способности железных дорог.

По объему железнодорожных пассажирских перевозок Украина удерживает свои позиции, занимая лидирующее – второе после России – положение среди стран СНГ.

Железнодорожные перевозки в Украине осуществляются по путям общей эксплуатационной длиной более 22 тыс. км, входящим в структуру 6 железных дорог. Украина имеет международное железнодорожное сообщение с 15 странами.

Услугами только пассажирского железнодорожного транспорта за 2004 году в Украине воспользовались 4,2 млрд пассажиров, что на 10,8 % превышает показатель 2003 года. Объем пассажирской работы увеличился на 8,3 % и составил 104,7 млрд пас. км.

Требованием времени является сегодня объективно закономерное техническое перевооружение железнодорожного транспорта страны, обусловленное темпами технического прогресса, и – как одной из составляющих инфраструктуры транспорта – создание вагонного парка на основе современных подходов и реализации научно-технических достижений. В ряду этих насущных задач выделяется и обновление пассажирского подвижного состава.

С другой стороны, техническое состояние имеющегося в эксплуатации пассажирского подвижного состава, большую часть которого составляют единицы, приближающиеся к пределу ресурса или уже исчерпавшие его, настоятельно требует замены и обновления. Это дополнительно подчеркивает остроту вопроса и указывает на необходимость скорейшего внедрения современных подходов и получения практических результатов.

Обновление пассажирского вагонного парка должно осуществляться на основе продуманного системного и обоснованного формирования его структуры. А это, в свою очередь, предопределяется учетом и анализом целых групп факторов, не только финансово-экономического, технического и производственного характера, а и социального и даже психологического, определением на его основе тенденций, прогнозов и выводов, которые непосредственно лягут в основу долговременной технической политики отечественных вагоностроительных предприятий и транспортной отрасли государства.

Концептуально, основные подходы к созданию типажа пассажирских вагонов для магистральных железных дорог Украины и факторы, их формирующие, таковы.

Поскольку пассажирский железнодорожный транспорт является транспортом социального назначения, формирование типажа должно подчиняться цели наиболее полного удовлетворения потребностей широких социальных групп населения. В настоящее время отмечается значительная дифференциация населения по уровню доходов и личных запросов, но при этом любой пассажир стремится к комфорту и

получению более разнообразного перечня услуг. С другой стороны, возрастают требования относительно общей, санитарно-гигиенической и экологической безопасности.

Следовательно, условия поездки для пассажиров должны предопределять дифференцированные в определенных пределах, но изначально высокие уровень безопасности, удобств, гигиены, возможности пользования услугами связи, различного рода информации, в том числе оперативной, с помощью аудио- и видеосредств.

Необходимо обеспечение соответствующих удобств в пути пассажирам разных возрастных групп с учетом их вкусов и пожеланий, а также предоставление дополнительных удобств и матерям с детьми, и людям с физическими недостатками, включая инвалидов в колясках. Вместе с тем, пассажирский вагон является еще и рабочим местом для персонала, следовательно, в нем должны быть обеспечены надлежащие условия для выполнения служебных обязанностей и отдыха.

Указанная совокупность условий является как бы стартовым пакетом социального плана, обязанным быть реализованным в конструкциях всех вагонов, входящих в типаж.

Формирование типажа и определение целесообразной совокупности технических требований должны осуществляться исходя из внутренних транспортных потребностей и особенностей организации перевозочного процесса в государстве.

В Украине пассажирские железнодорожные перевозки распределены неравномерно. Учитывая географическое, экономическое и демографическое состояние, в Украине можно условно выделить 6 регионов: Киевский, Харьковский, Донецкий, Днепропетровский, Одесско–Крымский, Львовский. В пределах каждого из этих регионов осуществляются перевозки пассажиров, которые по классификации относятся к местному сообщению. Перевозки между регионами образуют дальнее сообщение.

Сегодня, к примеру, один из наиболее дальних во внутриукраинском сообщении пассажирский поезд № 511 Харьков – Ужгород – Чоп преодолевает расстояние между начальным и конечным пунктами протяженностью в 1 461 км за 32 часа 35 мин., скорый поезд № 22 Львов–Донецк расстояние в 1 393 км – за 25 часов 24 мин. Следовательно, маршрутная скорость первого поезда составляет 44,8 км/ч, второго – 54,8 км/ч. В местном сообщении этот показатель опускается до еще более низких значений. Однако современное состояние путей и инфраструктуры на многих направлениях Укрзализныци позволяют реализовать маршрутные скорости пассажирских поездов до 75 км/ч (при максимальной скорости движения 120 км/ч и минимальном количестве остановок). При этом время следования пассажира из начального в конечный пункт маршрута может находиться в пределах 5…6,5 часов (Харьков–Днепропетровск – 4,36 часа, Львов–Житомир – 5,63 часа, Запорожье–Луганск – 6,01 часа, Кировоград–Херсон – 4,45 часа).

В настоящее время принятые концепции реализации скоростного движения поездов на основных направлениях в Украине выводят на маршрутные скорости 105…110 км/ч. Это позволит осуществлять поездки из Киева в областные центры государства за 5…6 часов.

Приведенные примеры являются иллюстрацией выводов, подтверждают целесообразность и необходимость реализации комплекса мероприятий по развитию скоростного пассажирского движения на магистральных железных дорогах Украины.

Учитывая общие мировые тенденции, географическое положение, Украина ставит целью в предстоящие 10 лет создать сеть скоростного железнодорожного сообщения как внутри государства, так и со странами Западной Европы и СНГ. Скоростное движение пассажирских поездов рассматривается в Украине, как определяющий фактор сохранения конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

Этот фактор является одним из главенствующих в разработке и формировании типажа и является истоком для следующих концептуальных подходов:

1. Организация железнодорожных пассажирских перевозок в Украине будет склоняться к европейской модели, т. е. к увеличению объемов перевозок дневными поездами одновременно с рационализацией маршрутов и направлений движения, сообразуясь с интенсивностью пассажиропотоков и экономической целесообразностью. Следовательно, будет возрастать насыщенность парка вагонами купейного и салонного исполнений с местами только для сидения.

2. Поезда, курсирующие в ночное время, должны содержать в своем составе благоустроенные спальные вагоны только в купейном исполнении; популярные в советское время спальные некупейные (плацкартные) вагоны исключаются.

3. В пополнении парка будет возрастать удельный вес вагонов с новыми конструктивными особенностями, включая двухэтажные вагоны и вагоны, содержащие купе со сменной конфигурацией (вагоны-трансформеры).

4. Наряду с рационализацией маршрутов пассажироперевозок и перераспределением объемов последних, перевозки в местном и пригородном пассажирских сообщениях следует осуществлять принципиально новыми конструкциями подвижного состава вне схемы, основывающейся на вагонах локомотивной тяги, а с помощью моторвагонного подвижного состава и рельсовых автобусов – на направлениях с незначительным пассажиропотоком.

Помимо указанного, в расчет принимались факторы влияния европейских и российских тенденций на создание конструкций железнодорожного подвижного состава, но на основе критического осмысления и в сочетании с оценкой меры применимости их опыта к отечественным условиям и особенностям.

Изучение программных документов государства в области транспорта, особенностей пассажирских перевозок на украинских железных дорогах, прогнозов динамики их изменений, спроса на перспективу, анализ пассажироперевозок наличествующим вагонным парком, оценка состояния и возможностей вагоностроительной индустрии, анализ, обобщение и конкретизация результатов определяют круг рациональных решений применительно к типажу и техническим требованиям к входящим в него конкретным вагонам. Устанавливается, что типаж перспективных пассажирских вагонов локомотивной тяги охватывает вагоны колеи 1520 мм, предназначенные как непосредственно для перевозок пассажиров, так и для осуществления вспомогательных перевозок.

5. Разработка перспективных пассажирских вагонов требует, как указывалось выше, качественно нового уровня комфорта для пассажиров и улучшения условий работы обслуживающего персонала. В этой связи типажом предусматривается 4 уровня комфорта и услуг: особо высокий, высокий, повышенный и обычный. Каждый класс соответствует определенному набору критериев. Возможно также сочетание в пределах одного вагона двух смежных классов комфорта.

Вагоны, предназначенные непосредственно для перевозок пассажиров и обладающие отдельными техническими особенностями, образуют следующий типажный ряд (таблица).

Таблица

Типаж перспективных пассажирских вагонов локомотивной тяги для магистральных железных дорог Украины в сочетании с отдельными техническими особенностями

Перечень	Особенности	
1. Вагоны купейные с особо высоким классом комфорта	Одноместные спальные купе +2 мягких кресла Купе с двумя местами для сидения	Вагоны международного, прямого и местного сообщений, конструкционная скорость 200 и 160 км/ч
2. Вагоны купейные с высоким классом комфорта*	Двухместные спальные купе Четырехместные купе с местами для сидения (для вагонов дневных поездов)	
3. Вагоны купейные с повышенным классом комфорта 1	Двух- и четырехместные спальные купе, четырех- и шестиместные купе с местами для сидения (для вагонов дневных поездов)	Вагоны для поездов дальнего, прямого и местного сообщений, конструкционная скорость 200 и 160 км/ч. Могут использоваться для туристических перевозок
4. Вагоны – трансформеры с повышенным классом комфорта**	Вагоны, содержащие купе со сменной компоновкой и пассажировместимостью	
5. Вагоны с открытым салоном с повышенным классом комфорта*** (в одноэтажном и двухэтажном исполнениях)	Места только для сидения, полумягкие кресла, расположенные по схеме 2+1	Вагоны для дневных поездов прямого и местного сообщений, конструкционная скорость 200 и 160 км/ч
6. Вагоны с открытым салоном с обычным классом комфорт****	Места только для сидения. Полумягкие кресла для сидения, расположенные по схеме 2+2, 3+1 или комбинированной	Вагоны для дневных поездов прямого и местного сообщений. Конструкционная скорость 200 и 160 км/ч

* Имеет варианты исполнения: с купе для перевозок инвалидов в колясках; с кафе-баром; с багажным отсеком (камерами хранения багажа пассажиров); со штабным купе.

** Могут исполняться как вагоны с комбинированным салоном.

*** Имеет варианты исполнения: с купе для перевозок инвалидов в колясках; с кафе-баром.

**** Имеет варианты исполнения: с увеличенным пространством для размещения крупногабаритных вещей; с местом для проезда инвалидов в колясках.

Совокупность требований, которые характеризуют технические и качественные показатели перспективного подвижного состава, санитарно-гигиенические и комфортные параметры, уровень потребительских качеств, определяется общими техническими требованиями к конструкциям перспективных пассажирских вагонов локомотивной тяги, которые дополняют типаж вагонов.

Основные характерные технические особенности перспективных вагонов предполагают следующее:

– скоростные параметры – конструкционные скорости 160 и 200 км/ч;

– габарит: для сообщения внутригосударственного и по сети СНГ – 1-Т или 1-ВМ; с выходом на сеть железных дорог Европы – 03-ВМ;

– база вагона – около 19 м, длина по осям сцепления автосцепок – 26,4…26, 8 м;

– вагоны с выходом на колею 1435 мм устанавливаются на тележки с раздвижными колесными парами;

– тормозная система разрабатывается на основе дисковых тормозов с обязательным оснащением противоюзными устройствами;

– система электроснабжения используется в двух вариантах: автономная для вагонов со скоростью движения до 160 км/ч; централизованная – для вагонов со скоростью движения в диапазонах 160…200 км/ч;

– высоковольтная магистраль должна предусматриваться в виде двухпроводной изолированной линии, исключающей стекание обратных токов в рельсовые цепи;

– все вагоны должны оборудоваться системами кондиционирования воздуха;

– отопление вагонов – электрическое (электроводяное, электрокалориферное), т. е. отопление на твердом топливе не применяется;

– туалеты в вагонах устанавливаются только на основе внедрения замкнутых туалетных систем.

В общем перечне технических требований значительная их часть определяет обеспечение требований общей, противопожарной, санитарной безопасности и комфорта для пассажиров, функционирования систем жизнеобеспечения пассажирских вагонов.

Пассажирские вагоны, обеспечивающие вспомогательные перевозки, представлены следующим:

– вагоны – рестораны;
– вагоны – салоны;
– вагоны почтовые;
– вагоны почтово-багажные;
– вагоны багажные;
– вагоны служебно-технические.

Типажный ряд этих вагонов после дополнительного изучения востребованности и оценки объемов производства, может быть дополнен специализированным вагоном-платформой для перевозки автомобилей, следующим в составе пассажирского поезда, в котором едет его владелец. Такие вагоны входят в состав поездов, обращающихся, в частности, на маршруте Киев–Днепропетровск.

Типаж пассажирских вагонов локомотивной тяги в сочетании с современными техническими параметрами и художественно-эстетическим решением призван характеризовать определенный фирменный стиль и способствовать, безусловно, положительному имиджу украинских железных дорог.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

УДК 629.4.077-592(075.8)

В. В. КРАВЧУК, И. И. ДОРОНИНА, Е. А. ХАРИН (Дальневосточный государственный университет путей сообщений, Россия)

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ПОВЫШЕННОЙ МАССЫ И ДЛИНЫ

На основі аналізу причин пошкодження автозчепних пристроїв рухомого складу поїздів підвищеної маси і довжини показані найбільш ймовірні причини порушення безпеки руху поїздів. Представлені шляхи підвищення безпеки руху та причини додаткового опору руху поїзда.

На основе анализа причин повреждения автосцепных устройств подвижного состава поездов повышенной массы и длины показаны наиболее вероятные причины нарушения безопасности движения поездов. Представлены пути повышения безопасности движения и причины дополнительного сопротивления движению поезда.

Based on the analysis of causes for damage of autocoupling devices in the trains of increased weight and lengths, the most probable reasons of train traffic safety disturbances have been shown. The ways of increasing the traffic safety and the causes of additional resistance to the train movement have been presented.

Российские железные дороги вводят директивную повышенную массу и длину грузовых поездов. Правление ОАО «РЖД» считает, что оптимальным соотношением следует признать длину поезда 71 условный вагон и массу 6 тыс. тонн. Вождение таких поездов в первую очередь предстоит обеспечить на направлении Кузбасс–Северо-Запад и Кузбасс–Находка, то есть угольные направления.

В последние годы на железных дорогах Дальневосточного региона наблюдается стабильное повышение массы и длины поездов, что обусловлено возрастающими перевозками в страны Азиатско-Тихоокеанского бассейна. Рост массы и длины поездов обострил проблему обеспечения безопасности движения поездов на горных участках железных дорог с кривыми малого радиуса. О возможности появления этой проблемы в свое время предупреждал академик В. А. Лазарян.

Внедрение унифицированной массы поезда, на направлении Мариинск–Порты Приморья, было начато в ноябре 2002 года с угольными и наливными маршрутами. К тягово-энергетическим испытаниям были привлечены научные работники ВНИИЖТ, ДВГУПС, ОмГУПС и динамометрические лаборатории ВНИИЖТ, ЗабЖД и ДВЖД. Методика проведения опытных поездок была утверждена ЦТ МПС и базировалась на временной методике и инструкции по проведению опытных поездок для определения критических норм массы грузовых поездов при электровозной тяге [1]. Полигон железной дороги от Мариинска до Находки имеет ряд горных перевалов с кривыми малого радиуса, что требует применения распределенной многократной тяги в связи с существующим тяговым подвижным составом. На Дальневосточной железной дороге горными лимитирующими участками являются Сихотэ-Алинский, Тахинский и Бархатный перевалы – участка Смоляниново–Партизанск. Наиболее трудным является Сихотэ-Алинский перевал, где имеются S-образные кривые малого радиуса до 195 м и подъемы до 28 ‰. Общая длина этого участка 28 км. Тяговые испытания по оценке возможности ведения поезда массой 6000 т на этом участке кратной тягой с головы двумя электровозами серии ВЛ80Р и подталкивающим трехсекционным электровозом ВЛ80С, показали, что общая нагрузка электровозов по контактной сети превышает 1100А, имело место переключение проходного зеленного сигнала на красный, в результате воздействий обратного тока в рельсовой цепи повреждены 90 % основных и дублирующих соединителей, наблюдалось уширение колеи до 4 мм, зазоры в стыках увеличились с 17 до 25 мм, а угон пути до 150 мм [1].

Дальнейшие совместные исследования ДВГУПС и ВНИИЖТ по проблеме вождения поездов повышенной массы и длины на этом горном участке ДВЖД подтвердили, что электровозы работают в интенсивном режиме с переходом в недопустимый режим [2]. Не исключается возможность появления продольных усилий в поезде, превышающих допустимые по прочности автосцепки и устойчивости вагонов.

Рекомендовано установить массу поезда для участка Уссурийск–Находка 5 500 т с использованием четырехсекционного локомотива в голове и трехсекционного в хвосте поезда.

Моделирование динамических процессов в поезде при расстановке локомотивов по схеме – 4 секции электровоза ВЛ80 в голове и 3 секции в хвосте (первый вариант), а затем 3 секции в голове и 4 секции в последней трети поезда (второй вариант) показало, что опасными являются два аварийных случая – срабатывание защиты на головном локомотиве и снятие напряжения в контактной сети. В табл. 1 приведены результаты расчетов этих усилий, выполненных ВНИИЖТ для участка Фридман-Красноармейский ДВДЖ.

Таблица 1

Продольные усилия в поезде

Вес поезда, т	Схема расположения локомотивов по поезду	Срабатывание защиты на головном локомотиве, Тс	Снятие напряжения в контактной сети, Тс
6 000	Вариант 1	$F_{сж} = 120$	$F_{раст} = 75$
5 600	Вариант 1	$F_{сж} = 105$	$F_{раст} = 70$
6 000	Вариант 2		$F_{раст} = 76$
5 800	Вариант 2	$F_{сж} = 98$	$F_{раст} = 70$

Эти расчеты выполнены при скорости движения 47 км/ч на 26 ‰ подъеме.

Результаты расчетов ВНИИЖТ достаточно хорошо согласуются с опытными поездками. При вождении поездов массой 6 000…6 300 т на участке 7 секциями электровоза ВЛ80 отмечено значительное несоответствие фактической скорости движения поезда и расчетной. Аналогичное положение в свое время наблюдалось на обводном участке Северо-Муйского тоннеля. Это объясняется неточностью тяговых расчетов, а именно, отсутствием учета дополнительного сопротивления движению поезда при наличии *S*-образных кривых малого радиуса. В [3] предложены формулы для расчета дополнительного сопротивления движению в зависимости от радиуса кривой и их взаимного расположения. Так, при нахождении части поезда в двух кривых противоположного направления предложено дополнительное сопротивление учитывать по выражению

$$\omega_к = \frac{730}{R} \cdot \frac{\ell_к}{\ell_п},$$

где R – радиус кривой; $\ell_к$ – длина кривой; $\ell_п$ – длина поезда. Для трех кривых предложена формула

$$\omega_к = \frac{880}{R} \cdot \frac{\ell_к}{\ell_п}$$

и для четырех кривых

$$\omega_к = \frac{1050}{R} \cdot \frac{\ell_к}{\ell_п}.$$

На рис. 1 приведены зависимости дополнительного сопротивления от кривых согласно существующей формуле (зависимость *1*) и зависимости *2–4* при наличии *2–4* кривых соответственно.

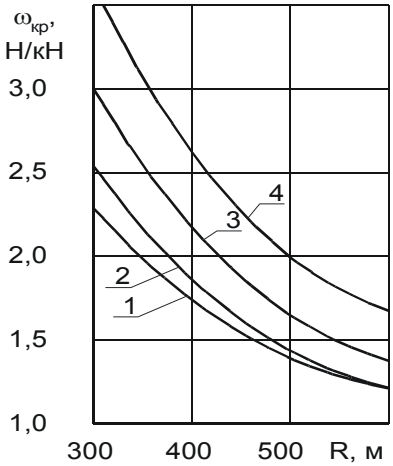


Рис. 1. Дополнительное сопротивление движению поезда от *S*-образных кривых

На горных участках Смоляниново–Партизанск и Дуссе–Алинь (Северный ход) ДВЖД согласно расчетам дополнительное сопротивление движению поезда, с учетом *S*-образных кривых, массой 6 000 т, длиной 1 200 м составляет 3,0…4,43 Н/кН. На этих участках имеет место значительное снижение скорости движения и частые случаи обрывов автосцепок. Дополнительное сопротивление от *S*-образных кривых превышает до 25 % расчетное значение согласно зависимости *1*.

Изучение условий движения тяжеловесных поездов по кривым малого радиуса показало, что тележки грузовых вагонов на первых метрах кривой устанавливаются в перекосное положение и сохраняют такое положение до выхода из кривой. Для определения причин, вызывающих разворот вагонных тележек в рельсовой колее, было выполнено исследование динамики вписывания вагонной тележки в кривые малого радиуса. Была разработана математическая модель вагонной тележки, позволяющая определить кинематические и динамические параметры вписывания для различных эксплуатационных условий.

Нами было проведено независимое исследование влияния изменений угла параллелограммирования вагонной тележки на силы давления гребней колес на наружный рельс в кривых малого радиуса. Использовалась математическая модель, описанная в [4].

Углом параллелограммирования тележки ниже считается угол между продольной осью колесной пары и плоскостью, перпендикулярной к продольной оси тележки. Наибольшие значения этого угла определяются величинами продольных и поперечных зазоров в узлах сопряжения корпусов букс с боковинами. При произвольном положении тележки в рельсовой колее ее продольная ось образует с соответствующей касательной к осевой линии колеи некоторый угол, называемый углом перекоса. Угол параллелограммирования λ и угол перекоса ψ взяты в качестве обобщенных координат тележки.

Возможны три режима движения тележки в кривой малого радиуса с прижатием к наружному рельсу гребня передней колесной пары: в первом режиме одновременно изменяются угол λ и угол ψ, во втором изменяется только угол λ при $\psi \equiv 0$ (к наружному рельсу прижаты гребни обеих колесных пар), в третьем изменяется угол ψ при постоянном угле λ (рама тележки – твердое тело). Расчетами установлено, что первый режим не бывает продолжительным: на первых метрах движения тележки по кривой он сменяется либо вторым, либо третьим режимом.

В зависимости от величины зазоров в буксовых узлах тележки возможны два варианта установившегося движения тележки в кривой малого радиуса: при небольших зазорах ($\lambda_{max} < 0,01$ рад) реализуется третий режим, при больших ($\lambda_{max} > 0,01$ рад) – второй режим. В работе [3] указывается, что среднее значение угла параллелограммирования для тележек ЦНИИ–ХЗ–0 равно 0,0212 рад, а в условиях эксплуатации встречаются тележки, у которых λ_{max} может быть более 0,0524 рад [5]. Значит, в эксплуатационных условиях движения тележек в кривых малого радиуса чаще встречается второй режим. Это согласуется и с экспериментальными данными, упомянутыми в [6].

В табл. 2 приведены результаты расчетов по определению максимальных значений сил нормального давления на наружный рельс гребней колес первой (N_1) и второй (N_2) колесных пар передней тележки четырехосного груженого полувагона, расположенного в середине состава, движущегося со скоростью 10 м/с в кривой радиуса 300 м при возвышении наружного рельса 0,15 м, ширине колеи 1,53 м, продольном уклоне пути 0,025; λ_0 и ψ_0 – начальные значения углов (принято $\dot{\lambda}_0 = 0$ и $\dot{\psi}_0 = 0$), t – время от начала движения до момента стабилизации соответствующего режима.

Из табл. 2 видно, какими параметрами характеризуются установившиеся режимы движения тележки для конкретных исходных данных. Были выполнены расчеты и для других исходных данных. Во всех случаях условия реализации установившихся режимов соответствовали описанным выше закономерностям. Характерно, что силы давления на наружный рельс растут с увеличением угла. Результаты, приведенные в таблице, соответствуют случаю, когда в узлах тележки отсутствует трение. Учет трения приводит к изменению только времени t, иногда в несколько раз.

Таблица 2

Второй режим движения тележки в кривой

λ_0, рад	λ_{max}, рад	t, с	N_1, кН	N_2, кН
0	0,02	1	61,02	43,65
	0,05	2,7	150,76	133,39
0,01	0,02	0,54	64,74	47,37
	0,05	2,1	174,10	120,72
0,02	0,02	0	64,73	47,30
	0,05	1,6	148,71	131,33
0,03	0,02	0	92,74	75,30
	0,05	1	145,04	127,67
0,04	0,02	1	120,74	103,30
	0,05	0,6	151,93	134,56

Значения сил N_1 и N_2 (табл. 2) получены в предположении, что в процессе изменения угла параллелограмирования λ_0 до λ_{max} касательные силы в точках контакта с рельсами поверхностей катания колес определяются гипотезой крипа. Были выполнены расчеты и для случаев, когда силы крипа сменяются постоянными по величине силами сухого трения. В этих случаях значения N_1 и N_2 получились меньше, чем в соответствующих строках табл. 2, особенно для $\lambda_{max} = 0,05$ рад; суммарное давление на наружный рельс оставалось по-прежнему значительным.

Выполненные исследования убедительно показали, что возможность чрезмерно большего увеличения угла параллелограммирования вагонных тележек при вписывании в кривые малого радиуса может быть одной из основных причин роста интенсивности бокового износа рельсов и обрыва автосцепок.

Если зазоры в буксовых узлах тележки позволяют увеличивать угол параллелограммирования до значений, больших 0,01 рад, то при установившемся движении тележки в кривой гребни обеих колесных пар будут прижаты к наружному рельсу; угол парллелограммирования стремительно увеличивается до значений, соответствующих полной выборке зазоров в буксовых узлах; суммарное давление на наружный рельс гребней колес такой тележки может стать в несколько раз больше давления на рельс гребня передней колесной пары тележки с малыми зазорами в буксовых узлах и углом параллелограммирования меньше 0,01 рад.

Чтобы существенно уменьшить интенсивность бокового износа рельсов в кривых малого радиуса, надо исключить из эксплуатации вагонные тележки с предельным углом параллелограммирования более 0,01 рад. Этого можно добиться ужесточением допусков на продольные и поперечные зазоры в узлах сопряжения корпусов букс с боковинами.

Комплексный анализ модели показал, что для тяжеловесных поездов надо разработать особые режимы движения по кривым малого радиуса: продольные силы в составе, скорость движения, возвышение наружного рельса должны быть такими, чтобы не было перегрузки внутреннего рельса. Тогда перекашивание тележек в рельсовой колее возникать не будет, вписывание тележек в кривые будет требовать меньше затрат энергии локомотива, боковой износ рельсов и гребней колес будет в нормальных пределах.

Представляется необходимым высказать еще одно замечание по проблеме пропуска поездов повышенной массы и длины на горных участках, когда имеется явное несоответствие возвышения наружного рельса и скорости движения поезда.

Такие случаи не редкость при состоянии пути в настоящее время, когда по причине износа рельсов или других дефектов устанавливается ограничение скорости, а возвышение остается прежним.

Известно, что непогашенное ускорение движения поезда рассчитывается по формуле

$$\tau = \frac{\upsilon^2}{13R} - \frac{h}{S} g ,$$

где υ – скорость, $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$; R – радиус круговой кривой, м; h – возвышение наружного рельса, мм; S – расстояние между кругами катания колес, равное для нормальной колеи 1600 мм.

В случае, если длина поезда больше длины кривой, то дополнительное сопротивление от кривой рассчитывается по формуле

$$w_r = \left(\frac{200}{R} + 1{,}5\tau \right) \frac{\ell_{\text{к}}}{l_{\text{п}}} .$$

Расчеты показали, что при ограничении скорости движения или невозможности выдержать скорость в кривых для вышеназванных горных участков 60…40 км/ч суммарное дополнительное сопротивление для поезда длиной 1200 м будет составлять 2,78…3,08 Н/кН, что приводит к значительным перегрузкам локомотивов и появлению продольно-динамических колебаний, способствующих обрывам автосцепок.

Как отмечается в [7] при ведении поезда повышенной массы и длины на горных участках железных дорог наблюдаются высокоамплитудные колебания при проходе *S*-образных кривых. Так, на участке Анисимовка–Тигровый, с помощью акселерометров производства Analog Devices ADXL–105 EM3, размещенных по длине поезда, выявлены «иглообразные» импульсы амплитудой до 2,78 g продолжительностью 0,1…0,15 мс. С природой появления таких кратковременных импульсов по длине поезда следует еще разобраться, хотя возможность их фиксации при современной методике постановки эксперимента, на наш взгляд, позволит дать ответ: – почему при нормальном режиме ведения поезда имеют место обрывы автосцепок «по живому» в головке автосцепки (рис. 2) или хвостовике автосцепки (рис. 3). При проведении технических экспертиз по этим обрывам были рассчитаны усилия на обрыв, которые в первом случае составили 3925 кН, а во втором – 4297 кН.



Рис. 2. Разрыв автосцепки в поезде на перегоне Дормидонтовка–Аскан–Верино



Рис. 3. Разрыв хвостовика в поезде № 2909 на участке Мони–Болен

Распределенная тяга при вождении поездов повышенной массы и длины, как отмечалось выше, опасна с точки зрения выдавливания вагонов при срабатывании защиты на головном локомотиве. Такие крушения имели место на Северной, Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской железных дорогах. Расчеты распределения по поезду массой 6 000 т усилия от подталкивающего электровоза ВЛ80Р и при отключении головного электровоза показали, что имеется реальная возможность выдавливания вагонов на участках с подъемами более 5 ‰. Следует напомнить, что рядом нормативных документов установлено – для выдавливания даже груженого вагона достаточно 50 тс. Процесс вкатывания колесной пары зависит от состояния центральной опоры и боковых скользунов, разницы коэффициентов трения на головке внутреннего и наружного рельса в кривых, наличия смазки на боковой поверхности рельсов и ряд других причин.

На рис. 4 построены зависимости возникающих продольных сил в составе поезда массой 6 000 т при движении вагонами вперед по подъемам 5 и 10 ‰ и кривым $R = 250$ м и $R = 500$ м.

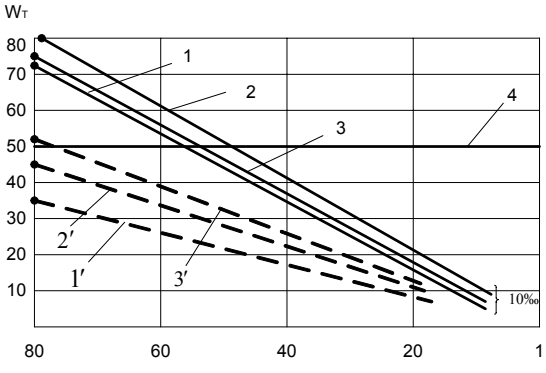


Рис. 4. Зависимость продольных сил в составе поезда при движении вагонами вперед

Из рис. 4 видим, что на 10 ‰ можно ожидать схода 50 вагона с хвоста поезда. Зависимость продольных сил в составе поезда при движении вагонами вперед: *1*, *2*, *3* – зависимость продольных сил в поезде при движении на прямом участке пути и по подъему $i = 10$ ‰ в кривых $R = 250$ м и $R = 500$ м соответственно; *1′*, *2′*, *3′* – зависимость продольных сил в поезде при движении по подъему $i = 5$ ‰ в кривых $R = 0$, $R = 250$ м и $R = 500$ м соответственно; *4* – значение максимально допустимых продольных сил в поезде при движении вагонами вперед.

Снизить вероятность выдавливания можно за счет обеспечения синхронного сброса нагрузки на всех локомотивах в поезде и исключения вывода поезда методом подталкивания.

По работе можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Для приведения в соответствие нагрузки локомотивов на горных участках железных дорог ввести в Правила тяговых расчетов учет дополнительного сопротивления от S-образных кривых малого радиуса с учетом их количества, взаимного расположения, радиуса и соотношения длины кривой и поезда.

2. Для участков кривых с длительно действующими ограничениями скорости движения поездов по состоянию пути производить корректировку наружного возвышения рельса.

3. С целью снижения дополнительного сопротивления от *S*-образных кривых малого радиуса рекомендуется запретить эксплуатацию вагонных тележек с предельным углом параллелограммирования более 0,01 рад.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Отчет по результатам опытных поездок на полигоне Мариинск – Находка. – М.: ЦТ МПС, 2002. – 97 с.
2. Мугинштейн Л. А. Комплексные испытания вождения поездов массой до 6000 т на направлениях Хабаровск – Находка–Владивосток: Отчет НИР / Л. А. Мугинштейн, В. И. Рахманинов. – М.: ВНИИЖТ, 2002. – 72 с.
3. Дениско Н. П. Возможные причины обрывов автосцепок: Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте / Н. П. Дениско, В. В. Кравчук, А. Е. Стецюк // Межвузовский сб. науч. трудов с международным участием. – Самара: СамИИТ, 2001. – Вып. 21. – С. 176–180.
4. Доронин В. И. Определение силы давления на рельс гребня набегающего колеса вагонной тележки в кривой малого радиуса / В. И. Доронин, И. И. Доронина // Новые технологии – же-

лезнодорожному транспорту: подготовка специалистов, организация перевозочного процесса, эксплуатация технических средств: Сб. науч. статей с международным участием. В 4 частях. Ч. 1 Омский гос. университет путей сообщения. – Омск, 2000. – С. 288–292.
5. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. – М.: ПТКБ ЦП МПС, 1997. – 207 с.
6. Сцепляемость и проходимость вагонов в кривых малого радиуса и по горкам / Под ред. Ю. А. Хапилова // Труды ЦНИИ МПС. – М.: Транспорт, 1971 – В. 440, – 96 с.
7. Кейно М. Ю. Анализ результатов опытных поездок с тяжеловесными поездами на участке Смоляниново–Находка // Вестник института тяги и подвижного состава: Труды 44-й Всероссийской науч.-прак. конференции «Современные технологии – железнодорожному транспорту и промышленности» №, 25–26 января 2006 г.; Под ред. В. Г. Григоренко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2006. – Вып. 3. С. 51 – 54.

Поступила в редколлегию 27.06.2005.

УДК 629.424.1

Ю. І. ОСЕНІН, В. П. ВОЙТЕНКО (Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля)

МОНІТОРИНГ СТАНУ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Обґрунтовано можливість адаптації та використання методу синтезованої фокусуючої апертури для контролю стану коліс під час руху рухомого складу. Одержано систему рівнянь для визначення місця розташування дефекту в колесі та уточнено формулу для відновлення зображення дефекту. Запропоновано бортовий пристрій для безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу.

Обоснована возможность адаптации и использования метода синтезированной фокусирующей апертуры для контроля состояния колес во время движения подвижного состава. Получена система уравнений для определения места расположения дефекта в колесе и уточнена формула для восстановления изображения дефекта. Предложено бортовое устройство для непрерывного мониторинга состояния колес во время движения подвижного состава.

The possibility of adaptation and use of the method of synthesized focusing aperture for checking the condition of wheels during movement of the vehicle is substantiated. A set of equations for the determination of defect location in a wheel is obtained and a formula for restoration of the defect image is improved. An on-board device for continuous monitoring of the condition of wheels during the vehicle movement is suggested.

Під час вирішення стратегічної задачі підвищення ефективності залізничних перевезень виникає необхідність у підвищенні швидкостей руху потягів, маси вантажних потягів, а також у забезпеченні безпеки руху і запобіганні виникненню аварійних ситуацій, пов'язаних з утворенням та розвитком внутрішніх напружень в матеріалі колеса і рейки, здатних привести до зламу коліс, розриву бандажів і зламів рейки.

З метою зниження аварійності на залізничному транспорті застосовується моніторинг стану колії і ходових частин рухомого складу. Існуючі пристрої, що здійснюють моніторинг стану рухомого складу, реалізовані у вигляді підлогового і бортового устаткування для виявлення несправностей буксових вузлів, деталей, що провисають і волочаться. Контроль стану рухомого складу під час руху на 90 % здійснюється на основі виявлення перегрітих букс із використанням болометричних датчиків вимірювання теплового випромінювання.

Розроблено стаціонарну систему, що включає в себе функціональний модуль виявлення макродефектів на ободі колеса, у той час як мікродефекти в колесах під час руху рухомого складу не контролюються [1]. Таким чином, зниження аварійності рухомого складу за рахунок безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу з метою своєчасного виявлення дефектів у колесі і вживання заходів щодо запобігання виникненню аварійних ситуацій є актуальною науково-технічною задачею.

Метою роботи є здійснення безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу на основі методів акустичного контролю і з використанням методу синтезованої фокусуючої апертури для виявлення дефектів і візуалізації результатів моніторингу.

Задачами дослідження є: вибір методу безперервного контролю стану коліс під час руху рухомого складу; обґрунтування можливості застосування й адаптація методу синтезованої фокусуючої апертури для виявлення і візуалізації нещільностей матеріалу коліс рухомого складу; розробка системи для контролю стану коліс і аналізу результатів моніторингу.

Основний зміст дослідження. Для виявлення нещільностей матеріалу елементів екіпажної частини рухомого складу, а також рейкової колії широко застосовуються акустичні методи контролю [2–4]. Однак інформація про внутрішній стан виробу, одержувана за допомогою стандартних акустичних методів контролю, не завжди є достатньою для встановлення ступеня небезпеки нещільності і можливості подальшої експлуатації виробу.

Для одержання більш точної інформації про розташування нещільності, її форму і розміри, а також для візуалізації нещільності матеріалу виробу використовується метод синтезованої фокусуючої апертури, що є методом моделювання широкодіапазонного фокусуючого променя ультразвукового перетворювача за допомогою цифрової обробки амплітуд сигналів у всьому діапазоні контролю й інформації, одержуваної за допомогою сканування нещільностей звичайним нефокусуючим променем [5].

Запис інформації для моделювання за методом синтезованої фокусуючої апертури здійснюється за допомогою механічного сканатора, що переміщає по поверхні нерухомого виробу необхідну кількість ультразвукових перетворювачів. Для виявлення і візуалізації нещільностей обертового колеса під час руху рухомого складу необхідно удосконалення й адаптація методу.

Контроль стану колеса під час руху рухомого складу здійснюватимемо одним нерухомим електромагнітоакустичним (ЕМА) перетворювачем. Принцип визначення місцезнаходження дефекту в колесі під час руху рухомого складу пояснюється схемою, наведеною на рис. 1.

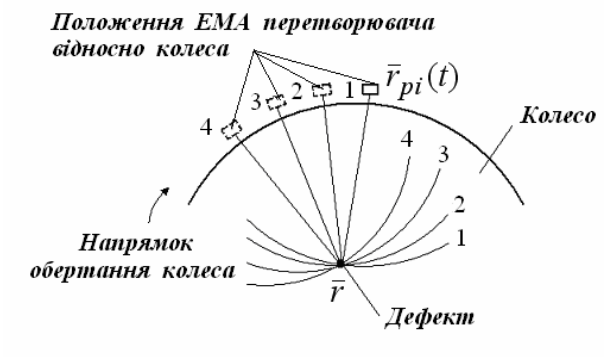


Рис. 1. Схема визначення місцезнаходження дефекту в колесі під час руху рухомого складу

Приймання ЕМА перетворювачем відбитого сигналу в момент часу t_0 після випромінювання означає, що неоднорідність матеріалу колеса знаходиться на дузі радіусом $r_0 = t_0 c/2$ з центром в точці відліку перетворювача (c – швидкість поширення ультразвукових хвиль в матеріалі колеса). Дуги, побудовані при різних положеннях перетворювача, перетинаються в місці розташування дефекту в колесі. Координати r і φ місця розташування дефекту в колесі визначаємо за допомогою системи рівнянь

$$\begin{cases} r^2 - 2r\rho_p \cos(\varphi - \varphi_{pi}) + \rho_p^2 = r_{0i}^2; \\ r^2 - 2r\rho_p \cos(\varphi - \varphi_{pj}) + \rho_p^2 = r_{0j}^2, \end{cases} \quad (1)$$

де ρ_p, φ_{pi} і φ_{pj} – координати перетворювача.

Максимальний кутовий зсув $\Delta\varphi_s$ ультразвукового сигналу, обумовлений обертанням колеса

$$\Delta\varphi_s = \omega t_0,$$

де ω – кутова швидкість обертання колеса, й для значень $t_0 = 2R/c \approx 0{,}35$ мс (R – радіус колеса) і $\omega \approx 64c^{-1}$, що відповідає швидкості руху потяга $\upsilon \approx 120$ км/год, $\Delta\varphi_s$ складе величину $2{,}24 \cdot 10^{-4}$ рад. Для перетворювача із шириною діаграми спрямованості $\alpha = 0{,}5$ рад відношення $\alpha / \Delta\varphi_s \approx 25$, що цілком достатньо для надійного виявлення дефектів в колесі під час руху рухомого складу.

Оцінимо неточність визначення місця розташування дефекту, обумовлену обертанням колеса, за формулою

$$\Delta r = \frac{0{,}5\Delta\varphi_s R\left(1 - \cos 0{,}5(\Delta\varphi_s + \alpha)\right)}{\sin 0{,}5(\Delta\varphi_s + \alpha)}, \quad (2)$$

обчислення за якою дають $\Delta r \approx 0{,}8$ мм при швидкостях руху потяга близько 120 км/год і $\Delta r \approx 1{,}1$ мм при швидкостях руху потяга близько 200 км/год.

Відновлення зображення з урахуванням особливостей взаємного розташування ЕМА перетворювача і колеса під час руху рухомого складу здійснюємо за адаптованою формулою [2]:

$$I(\bar{r}) = \frac{1}{N(\bar{r})} \sum_{i=1}^{N(\bar{r})} \left|\bar{r}_{pi}(t) - \bar{r}\right|^2 s(t_0, \bar{r}_{pi}(t)), \quad (3)$$

де $I(\bar{r})$ – інтенсивність зображення в місці розташування дефекту; $N(\bar{r})$ – число відліків, за яких перетворювач приймає сигнал із точки колеса з радіусом-вектором $\bar{r}$; $\bar{r}_{pi}(t)$ – радіус-вектор перетворювача; $s(t_0, \bar{r}_{pi}(t))$ – ультразвуковий сигнал, відбитий від дефекту і прийнятий перетворювачем; t_0 – час між випромінюванням і прийманням відбитого сигналу

$$t_0 = \frac{2\left|\bar{r}_{pi}(t) - \bar{r}\right|}{c}.$$

Суперпозиція ультразвукових сигналів, відбитих від дефекту матеріалу колеса і прийнятих ЕМА перетворювачем, приводить до збільшення рівня зображення в місці розташування дефекту.

Для здійснення безперервного моніторингу стану коліс під час руху рухомого складу розроблено пристрій, блок-схема якого наведена на рис. 2, а на рис. 3 наведено схему блока контролю колеса. ЕМА перетворювач, що збуджує в колесі ультразвукові хвилі, встановлюється на спеціальному кронштейні, що кріпиться нерухомо на вагонному візку, чим забезпечується необхідний зазор між перетворювачем і поверхнею кочення бандажа, що рухається відносно перетворювача. Для визначення кута повороту колеса застосовано магнітний датчик.

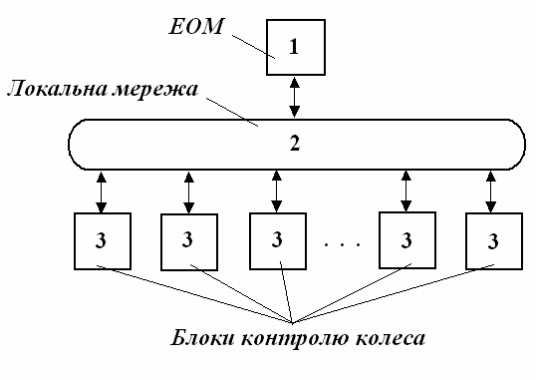


Рис. 2. Блок-схема пристрою для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу

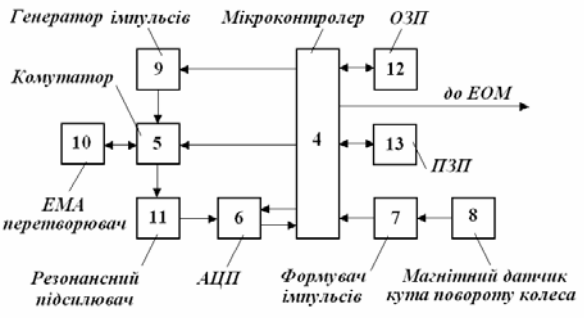


Рис. 3. Схема блока контролю колеса

Пристрій для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу працює таким чином. ЕОМ 1 ініціює обмін інформацією через локальну мережу 2 з блоками 3 контролю колеса. Кожний з цих блоків працює таким чином. Мікроконтролер 4 ініціює черговий цикл вимірювань стану колеса. Для цього у внутрішньому циклі він виконує послідовність зондувань колеса акустичними хвилями під різними кутами.

Щоб виконати зондування, мікроконтролер 4 переключає комутатор 5 в режим випромінювання та аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 6 в режим готовності. Після отримання сигналу з перетворювача 7, що перетворює сигнал з магнітного датчика 8 кута повороту колеса в стандартний логічний рівень, мікроконтролер ініціює генерацію потужного імпульсу генератором 9, який через комутатор 5 подається на ЕМА перетворювач 10, за допомогою якого перетворюється в поверхні колеса в короткий акустичний зондувальний сигнал. Після цього мікроконтролер 4 переключає комутатор 5 в режим приймання та ініціює процес перетворення АЦП 6, на вхід якого подається віддзеркалений від дефекту колеса, перетворений в ЕМА перетворювачі 10 та підсилений в резонансному підсилювачі 11 електричний сигнал.

Результати вимірювань амплітуди віддзеркаленого акустичного сигналу та його запізнення в часі з моменту випромінювання записуються в оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП 12). Після цього процедура зондування колеса повторюється. Після проведення заданої кількості вимірювань мікроконтролер 4 ініціює обробку масиву даних, що знаходиться в ОЗП 12, за алгоритмом синтезованої фокусуючої апертури.

Отриманий в результаті обробки масив, що містить розподіл інтенсивності віддзеркалених сигналів в колесі, порівнюється з еталонним масивом, записаним в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) 13. Якщо в результаті порівняння еталонного масиву розподілу інтенсивності віддзеркаленого сигналу з масивом, отриманим при поточних вимірюваннях, виявлена невідповідність, викликана утворенням дефектів в колесі, то мікроконтролер 4 повідомляє через локальну мережу 2 ЕОМ 1 про цю подію і передає масив розподілу інтенсивності віддзеркалених сигналів для візуалізації тріщини або іншого дефекту на екрані монітора.

Висновки

Встановлено, що метод синтезованої фокусуючої апертури дозволяє контролювати стан коліс при високих швидкостях руху потягів. Одержано систему рівнянь, що дозволяє визначити місця розташування дефектів у колесі. Неточність визначення місця розташування дефекту, обумовлена обертанням, складає $\Delta r \approx 0{,}8$ мм при швидкостях руху близько 120 км/год і $\Delta r \approx 1{,}1$ мм при швидкостях близько 200 км/год.

Отримана уточнена формула для відновлення зображення дефектів з урахуванням обертання колеса дозволяє здійснити статистичну обробку даних й візуалізувати результати моніторингу.

Застосування запропонованого бортового пристрою для безперервного моніторингу стану коліс рухомого складу дозволить уникнути аварійних ситуацій внаслідок руйнування коліс і бандажів рухомого складу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Белоногов А. Г. Контроль состояния подвижного состава в пути следования / А. Г. Белоногов, Г. А. Николаев, Ю. В. Моисеев, А. В. Бартель // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 4. – С. 56–57.
2. Деклараційний патент на корисну модель №u200508876 МПК[7]B61K9/08. Спосіб автоматичного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.

3. Деклараційний патент на корисну модель №u200508874 МПК[7]B61K9/08. Пристрій для діагностики колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.
4. Деклараційний патент на корисну модель №u200508879 МПК[7]B61K9/08. Пристрій для автоматичного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу / Осенін Ю. І., Войтенко Г. О. – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. Заявл. 19.09.2005. Опубл. 15.03.2006. Бюл. № 3.
5. Давыдов Е. А. Компьютеризированная технология НК для определения размеров несплошностей сварных соединений ответственных конструкций методами синтезированной фокусирующей апертуры / Е. А. Давыдов, В. П. Радько // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 2. – С. 32–35.

Надійшла до редколегії 24.11.2006.

УДК 629.439

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Обґрунтовано доцільність вивчення відносного руху магнітолевітуючого поїзда з застосуванням математичного моделювання. Виходячи з результатів аналізу альтернативних варіантів цього моделювання, показані деякі переваги тензорної методики. Наведено порядок побудови шуканої моделі з її використанням.

Обоснована целесообразность изучения относительного движения магнитолевитирующего поезда с применением математического моделирования. Исходя из результатов анализа альтернативных вариантов этого моделирования, показаны некоторые преимущества его тензорной методики. Приведен порядок построения искомой модели с ее использованием.

The expediency of studying the relative movement of magnetically levitated train with the use of mathematical modeling has been substantiated. Proceeding from results of alternative options of such modeling, advantages of its tensor techniques are shown. The order of required model construction with the use of these techniques has been tracked.

В связи с необходимостью резкой интенсификации пассажирских и грузовых перевозок, были созданы транспортные системы с магнитолевитирующими поездами (МЛП). Эксплуатационные скорости таких поездов, недосягаемые для иных видов наземного транспорта, весьма остро ставят проблемы их естественной и управляемой динамики. Однако процессы, протекающие в указанных системах в целом и в поездах в частности, слабо поддаются исследованию (в требуемой полноте и точности) обычными чисто теоретическими методами.

Прямой натурный эксперимент над ними долог, дорог, часто либо опасен, либо вовсе невозможен, так как многие из таких систем существуют в «единственном экземпляре». Цена ошибок и просчетов в обращении с ними недопустимо высока. Поэтому возможно большую часть указанных исследований рационально выполнять методами математического (шире – информационного) моделирования. Оно, как известно, сочетает в себе многие достоинства как теории, так и эксперимента.

Работа не с самой системой и процессами в ней, а с их моделями дает возможность безболезненно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать свойства и поведение исследуемых объектов в любых мыслимых ситуациях (преимущества теории). В то же время вычислительные (компьютерные, симуляционные имитационные) эксперименты с моделями объектов позволяют, опираясь на мощь современных вычислительных методов и технических инструментов информатики, подробно и глубоко изучать те же объекты в достаточной полноте, недоступной чисто теоретическим подходам (преимущества эксперимента).

Анализ естественной и, на этой основе, синтез управляемой динамики МЛП является одним из основополагающих вопросов при решении проблем качества такой динамики, а потому – ее безопасности, комфортности для пассажиров и сохранности перевозимых грузов.

Кроме того, та же динамика определяет собой нагруженность поездных конструкций, а также количество и качество использования энергии, потребляемой из фидерной линии и расходуемой на тягу, путенаправление и подвешивание поезда. Все это делает необходимым корректное и достаточно полное моделирование динамических процессов, протекающих в МЛП. Его экипажи являются путенаправляемыми. Поэтому, как правило, динамику такого поезда удобно изучать по отношению к пути, над которым он двигается. Такой подход облегчает интерпретацию результатов исследований и повышает их информативность. В то же время координатные триэдры, сопровождающие экипажи в движении и отслеживающие поверхность пути, являются неинерциальными: их начала имеют отличные от нуля абсолютные ускорения, а сами они вращаются. Итак, для каждого экипажа МЛП, движущегося по пространственному перелому пути, возникает задача динамики относительного движения.

Механика относительного движения, как известно [1], отличается от механики абсолютного движения необходимостью учета, наряду с реальными физическими силами, действующими на рассматриваемую систему, еще и эйлеровых – переносных и кориолисовых – сил инерции. Они, не являясь силами физического взаи-

модействия [2], зависят исключительно от обстоятельств кинематического характера, связанных с выбором конкретной подвижной системы координат. Третий закон Ньютона для них не применим. Поэтому эйлеровы силы инерции фактически являются псевдосилами [3], удобными воображаемыми понятиями и обозначениями, позволяющими придавать модели относительного движения вид уравнений динамического равновесия.

Решая многие задачи динамики МЛП, расчетную схему механической подсистемы его экипажа представляют агрегатом абсолютно твердых тел, соединенных при помощи связей через податливые блоки. В такой постановке, модель относительного движения упомянутого поезда обычно строится [4–6] с использованием уравнений Лагранжа второго рода. При этом, согласно отмеченному, к реальным физическим возмущениям поезда добавляются эйлеровы псевдосилы инерции. Однако в большинстве случаев, близких к реальным, рассмотрения относительного движения выражения для определения значений таких псевдосил весьма сложны и громоздки, а корректное построение лагранжиана системы с целью получения, с его использованием, этих выражений существенно затруднено.

Выход, как правило, находят в явной записи упомянутых выражений псевдосил инерции и их внесении (наряду с реальными возмущениями) в правые части уравнений относительной динамики МЛП. Видимо, подобные ситуации имел в виду А. Ю. Ишлинский, отмечая [2], что «…уравнения Лагранжа второго рода, столь эффективные в теоретических изысканиях, нередко оказываются не принципиально усложненными при рассмотрении конкретных задач механики систем с несколькими степенями свободы…». Положение усугубляется еще и тем, что модели динамики относительного движения, построенные с использованием уравнений Лагранжа, инвариантными относительно преобразований координат не являются. Они справедливы лишь для обобщенных координат, принятых при их составлении. Всякое изменение таких координат требует не преобразования имеющейся модели движения, а ее коренной перестройки. Это также неудобно в ряде исследований.

Исходя из изложенного, целью настоящей работы является разработка методики построения математической модели относительного движения МЛП, свободной от отмеченных несовершенств (неизбежных при использовании традиционных способов такого построения). Методика должна быть ориентирована на максимально возможную автоматизацию моделирования с использованием современных математических методов, а также систем компьютерной математики и, благодаря этому, позволять существенно облегчать процесс и усовершенствовать результат анализа естественной динамики рассматриваемого поезда.

Модель относительной динамики МЛП строится тензорным методом, свободным от указанных недостатков традиционных путей такого построения и, кроме того, обладающим рядом дополнительных положительных свойств [7]. В качестве основы, упомянутый метод базируется на дифференциальных уравнениях пространственного движения опорного тела расчетной схемы МЛП в инерциальной системе координат $OX_p \forall p \in [\overline{1,3}]$. Последние уравнения известны [8], всегда неизменны и имеют вид

$$f_{ij\alpha\beta}\ddot{\varepsilon}_{ij}^{\beta} + E_{ij\alpha,\beta\gamma}\dot{\varepsilon}_{ij}^{\beta}\dot{\varepsilon}_{ij}^{\gamma} = K_{ij\alpha} \quad \forall \alpha,\beta,\gamma \in [\overline{1,6}], \quad (1)$$

где $f_{ij\alpha\beta}, E_{ij\alpha,\beta\gamma} \forall \alpha,\beta,\gamma \in [\overline{1,6}]$ – ковариантный метрический тензор j-го опорного тела расчетной схемы i-го экипажа МЛП, а также трехиндексный символ Кристоффеля 1-го рода того же тела в координатах $\varepsilon_{ij}^{\beta} \forall \beta \in [\overline{1,6}]$; $\varepsilon_{ij}^{\beta}, K_{ij\alpha} \forall \alpha,\beta \in [\overline{1,6}]$ – опорные координаты того же тела относительно триэдра $OX_p \forall p \in [\overline{1,3}]$, а также соответствующие им обобщенные силы.

Принимая, например,

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_{ij}^{1} &= x_{ijC1}; \\ \varepsilon_{ij}^{2} &= x_{ijC2}; \\ \varepsilon_{ij}^{3} &= x_{ijC3}; \\ \varepsilon_{ij}^{4} &= \tilde{\psi}_{ij}; \\ \varepsilon_{ij}^{5} &= \tilde{\theta}_{ij}; \\ \varepsilon_{ij}^{6} &= \tilde{\gamma}_{ij}, \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

где $x_{ijCp} \forall p \in [\overline{1,3}]$ – декартовы координаты точки ijC – центра масс рассматриваемого тела – в триэдре $OX_p \forall p \in [\overline{1,3}]$; $\tilde{\psi}_{ij}, \tilde{\theta}_{ij}, \tilde{\gamma}_{ij}$ – эйлеровы углы, определяющие взаимную ориентацию связанного с телом $ijCz_r \forall r \in [\overline{1,3}]$ и того же инерциального $OX_p \forall p \in [\overline{1,3}]$ триэдров, можно показать, что

$$f_{ij\alpha\beta}=\begin{bmatrix} f_{ijt} & 0 \\ 0 & f_{ijr} \end{bmatrix}\forall\alpha,\beta\in\overline{[1,6]};$$

$$f_{ijt}=diag\ \{m_{ij},m_{ij},m_{ij}\};$$

$$f_{ijr}=\begin{bmatrix} f_{ij44} & f_{ij45} & f_{ij46} \\ f_{ij54} & f_{ij55} & 0 \\ f_{ij64} & 0 & f_{ij66} \end{bmatrix};$$

$$f_{ij44}=\Big(I_{ij11}\cos^{(2)}\tilde{\gamma}_{ij}+$$

$$+I_{ij22}\sin^{(2)}\tilde{\gamma}_{ij}\Big)\cos^{(2)}\tilde{\theta}_{ij}+I_{ij33}\sin^{(2)}\tilde{\theta}_{ij};$$

$$f_{ij45}=f_{ij54}=\Big(I_{ij11}-I_{ij22}\Big)\cos\tilde{\theta}_{ij}\sin\tilde{\gamma}_{ij}\cos\tilde{\gamma}_{ij};$$

$$f_{ij46}=f_{ij64}=I_{ij33}\sin\tilde{\theta}_{ij};$$

$$f_{ij55}=I_{ij11}\sin^{(2)}\tilde{\gamma}_{ij}+I_{ij22}\cos^{(2)}\tilde{\gamma}_{ij};$$

$$f_{ij66}=I_{ij33}, \qquad (3)$$

где $m_{ij},I_{ijpp}\forall p\in\overline{[1,3]}$ – масса того же опорного тела, а также его главные центральные (относительно осей триэдра $ijCz_r\forall r\in\overline{[1,3]}$) моменты инерции.

Уравнения (1) имеют [8] тензорную природу. Следовательно, они обладают свойством форминвариантности к преобразованиям координат, в которых записаны. Поэтому в координатах $\rho_{ij}^{\kappa}\forall\kappa\in\overline{[1,6]}$, определяющих положение того же тела относительно неинерциального триэдра $iQY_q\forall q\in\overline{[1,3]}$, сопровождающего i-й экипаж в его движении относительно поверхности пути под ним, движение тела может быть описано моделью, получаемой из (1) подстановкой

$$\varepsilon_{ij}^{\beta}=\frac{\partial\varepsilon_{ij}^{\beta}}{\partial\rho_{ij}^{\kappa}}\cdot\rho_{ij}^{\kappa}\forall\beta,\kappa\in\overline{[1,6]} \qquad (4)$$

и умножением получающихся выражений на матрицу преобразования

$$\tau_{ij\kappa}^{\beta}=\frac{\partial\varepsilon_{ij}^{\beta}}{\partial\rho_{ij}^{\kappa}}\forall\beta,\kappa\in\overline{[1,6]}. \qquad (5)$$

Аналогично (2), положение тела в триэдре $iQY_q\forall q\in\overline{[1,3]}$ может быть определено, например, координатами:

$$\left.\begin{aligned}
&\rho_{ij}^{1}=y_{ijC1};\\
&\rho_{ij}^{2}=y_{ijC2};\\
&\rho_{ij}^{3}=y_{ijC3};\\
&\rho_{ij}^{4}=\nu_{ij}^{1}=\psi_{ij;}\\
&\rho_{ij}^{5}=\nu_{ij}^{2}=\theta_{ij};\\
&\rho_{ij}^{6}=\nu_{ij}^{3}=\gamma_{ij};
\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

где $y_{ijC\xi},\nu_{ij}^{\xi}\forall\xi\in\overline{[1,3]}$ – декартовы координаты точки ijC в триэдре $iQY_q\forall q\in\overline{[1,3]}$, а также эйлеровы углы, определяющие ориентацию относительно него триэдра $ijCz_r\forall r\in\overline{[1,3]}$.

Тогда из (2), (5) и (6) следует, что

$$\left.\begin{aligned}
&\tau_{ij\kappa}^{\beta}=\begin{bmatrix} \varsigma_{ijpq} & 0 \\ 0 & \sigma_{ijv}^{u} \end{bmatrix},\\
&\varsigma_{ijpq}=\frac{\partial x_{ijCp}}{\partial y_{ijCq}},\\
&\sigma_{ijv}^{u}=\frac{\partial\lambda_{ij}^{u}}{\partial\nu_{ij}^{v}},\\
&\forall\beta,\kappa\in\overline{[1,6]};p,q,v\in\overline{[1,3]}.
\end{aligned}\right\} \qquad (7)$$

В то же время из кинематических соображений заключаем, что

$$\lambda_{ij}^{u}=\lambda_{ij}^{u}\left(\nu_{ij}^{v},\chi_i^{w}\right)\forall u,v,w\in\overline{[1,3]}, \qquad (8)$$

где $\chi_i^{w}\forall w\in\overline{[1,3]}$ – эйлеровы углы, определяющие взаимную ориентацию триэдров $iQY_q\forall q\in\overline{[1,3]}$ и $OX_p\forall p\in\overline{[1,3]}$. Можно принять, например, что

$$\left.\begin{aligned}
&\chi_i^{1}=\psi_i^{*};\\
&\chi_i^{2}=\theta_i^{*};\\
&\chi_i^{3}=\gamma_i^{*},
\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

где $\psi_i^{*},\theta_i^{*},\gamma_i^{*}$ – углы, определяющие конфигурацию пути под i-м экипажем МЛП.

Считая путь склерономным, получаем

$$\chi_i^{\vartheta}=\chi_i^{\vartheta}(w_{iQ})\forall\vartheta\in\overline{[1,3]}, \qquad (10)$$

где w_{iQ} – расстояние, пройденное точкой iQ вдоль оси пути за интервал наблюдения движения поезда.

Из (4) следует, что

$$\dot{\varepsilon}_{ij}^{\beta} = \frac{\partial \varepsilon_{ij}^{\beta}}{\partial \rho_{ij}^{\kappa}} \cdot \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} = \tau_{ij\kappa}^{\beta} \cdot \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} \forall \beta, \kappa \in [\overline{1,6}]. \quad (11)$$

Тогда

$$\ddot{\varepsilon}_{ij}^{\beta} = \ddot{\rho}_{ij}^{\kappa} \cdot \tau_{ij\kappa}^{\beta} + \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} \cdot \dot{\tau}_{ij\kappa}^{\beta} \forall \beta, \kappa \in [\overline{1,6}]. \quad (12)$$

В последних выражениях, исходя из (5),

$$\dot{\tau}_{ij\kappa}^{\beta} = \frac{d}{dt}\frac{\partial \varepsilon_{ij}^{\beta}}{\partial \rho_{ij}^{\kappa}} = \dot{\rho}_{ij}^{n} \cdot \frac{\partial^{(2)} \varepsilon_{ij}^{\beta}}{\partial \rho_{ij}^{\kappa} \partial \rho_{ij}^{n}} =$$

$$\dot{\rho}_{ij}^{n} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho_{ij}^{n}} \tau_{ij\kappa}^{\beta} \quad \forall \beta, \kappa, n \in [\overline{1,6}]. \quad (13)$$

После подстановки выражений (11)–(13) в модель (1), она приобретает вид

$$f_{ij\alpha\beta} \cdot \left(\ddot{\rho}_{ij}^{\kappa} \cdot \tau_{ij\kappa}^{\beta} + \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} \cdot \dot{\rho}_{ij}^{n} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho_{ij}^{n}} \tau_{ij\kappa}^{\beta} \right) +$$

$$E_{ij\alpha,\beta\gamma} \tau_{ij\kappa}^{\beta} \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} \tau_{ijn}^{\gamma} \dot{\rho}_{ij}^{n} = K_{ij\alpha} \ \forall \alpha, \beta, \gamma, \kappa, n \in [\overline{1,6}] \quad (14)$$

Умножая эти уравнения на τ_{ijp}^{α}, со сверткой по α, модель движения опорного тела относительно триэдра $iQY_q \forall q \in [\overline{1,3}]$ получаем в виде:

$$g_{ijp\kappa} \ddot{\rho}_{ij}^{\kappa} + \Gamma_{ijp,\kappa n} \dot{\rho}_{ij}^{\kappa} \dot{\rho}_{ij}^{n} = T_{ijp} \quad \forall p, \kappa, n \in [\overline{1,6}]; \quad (15)$$

$$\left.\begin{array}{l} g_{ijp\kappa} = f_{ij\alpha\beta} \tau_{ijp}^{\alpha} \tau_{ij\kappa}^{\beta}; \\ \Gamma_{ijp,\kappa n} = f_{ij\alpha\beta} \tau_{ijp}^{\alpha} \dfrac{\partial}{\partial \rho_{ij}^{n}} \tau_{ij\kappa}^{\beta} + E_{ij\alpha,\beta\gamma} \tau_{ijp}^{\alpha} \tau_{ij\kappa}^{\beta} \tau_{ijn}^{\gamma}; \\ T_{ijp} = K_{ij\alpha} \tau_{ijp}^{\alpha} \\ \forall \alpha, \beta, \gamma, p, \kappa, n \in [\overline{1,6}], \end{array}\right\} \quad (16)$$

где $g_{ijp\kappa}, \Gamma_{ijp,\kappa n}, T_{ijp} \forall p, \kappa, n \in [\overline{1,6}]$ – ковариантный метрический тензор рассматриваемого тела, его трехиндексный символ Кристоффеля 1-го рода в координатах $\rho_{ij}^{\kappa} \forall \kappa \in [\overline{1,6}]$, а также соответствующие этим координатам обобщенные силы.

В модели (15), (16), как известно [8],

$$\Gamma_{ijp,\kappa n} = 0,5 \left(\frac{\partial g_{ijp\kappa}}{\partial \rho_{ij}^{n}} + \frac{\partial g_{ijpn}}{\partial \rho_{ij}^{\kappa}} - \right.$$

$$\left. - \frac{\partial g_{ij\kappa n}}{\partial \rho_{ij}^{p}} \right) \quad \forall p, \kappa, n \in [\overline{1,6}]. \quad (17)$$

Итак, модель (15)–(17) описывает относительное движение свободного опорного тела расчетной схемы экипажа МЛП в неинерциальном триэдре $iQY_q \forall q \in [\overline{1,3}]$.

До объединения в агрегат, являющийся расчетной схемой поезда, входящие в нее тела ничем не соединены, их движения ничем не стеснены и конфигурация этой совокупности в триэдрах $iQY_q \forall i \in [\overline{1,N}], q \in [\overline{1,3}]$ может быть определена опорными координатами

$$\xi^{\beta} \forall \beta \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}], \quad (18)$$

где H, N – число опорных тел в расчетной схеме экипажа, а также таких экипажей в поезде.

После сопряжения в агрегат, на движения тел расчетной схемы МЛП накладываются ограничения, формализуемые уравнениями связей, которые будем считать склерономными голономными

$$\xi^{\beta} = \xi^{\beta}(\eta^{\lambda}) \forall \beta \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}], \lambda \in [\overline{1,L}], \quad (19)$$

где $\eta^{\lambda} \forall \lambda [\overline{1,L}], L$ – обобщенные координаты, принятые для описания движения рассматриваемой системы и их число.

Таким образом, способ сопряжения тел в агрегат, являющийся расчетной схемой МЛП, может быть описан структурной матрицей [7] этого агрегата

$$s = \frac{\partial \xi^{\beta}}{\partial \eta^{\lambda}} \forall \beta \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}], \lambda \in [\overline{1,L}]. \quad (20)$$

Пользуясь координатами (18), движение совокупности тел, входящих в расчетную схему МЛП, может быть описано моделью, являющейся совокупностью уравнений вида (15):

$$b_{\alpha\beta} \ddot{\xi}^{\beta} + \mathrm{B}_{\alpha,\beta\gamma} \dot{\xi}^{\beta} \dot{\xi}^{\gamma} = U_{\alpha} \quad \forall \alpha, \beta, \gamma \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}]; \quad (21)$$

$$\left.\begin{array}{l} b_{\alpha\beta} = diag\{\left[g_{ijp\kappa} \right]\} \\ \mathrm{B}_{\alpha,\beta\gamma} = diag\{\left[\Gamma_{ijp,\kappa n} \right]\} \\ U_{\alpha} = \left[T_{ijp} \right]^{T} \\ \forall \alpha, \beta, \gamma \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}]; \\ i \in [\overline{1,N}]; j \in [\overline{1,\mathrm{H}}]; \\ p, \kappa, n \in [\overline{1,6}], \end{array}\right\} \quad (22)$$

где $b_{\alpha\beta}, \mathrm{B}_{\alpha,\beta\gamma} \forall \alpha, \beta, \gamma \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}]$ – ковариантный метрический тензор совокупности и ее трехиндексный символ Кристоффеля 1-го рода в координатах $\xi^{\beta} \forall \beta \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}]$; $U_{\alpha} \forall \alpha \in [\overline{1,6\mathrm{H}N}]$ – соответствующие им обобщенные силы.

Уравнения (21), как и их составляющие – уравнения (15), являются тензорными. Поэтому они форминвариантны относительно преобразований координат, в которых записаны. То есть могут быть (без изменения формы) преобразованы к записи в координатах $\eta^{\lambda}\forall\lambda[\overline{1,L}]$. Для этого (аналогично преобразованию уравнений (1) в модель (15)) воспользуемся структурной матрицей (20) расчетной схемы МЛП, а также выражениями:

$$\dot{\xi}^{\beta}=\frac{\partial\xi^{\beta}}{\partial\eta^{\lambda}}\cdot\dot{\eta}^{\lambda}\forall\beta\in[\overline{1,6HN}];\quad\lambda\in[\overline{1,L}];\quad(23)$$

$$\ddot{\xi}^{\beta}=\frac{\partial\xi^{\beta}}{\partial\eta^{\lambda}}\ddot{\eta}^{\lambda}+$$

$$+\frac{\partial^{2}\xi^{\beta}}{\partial\eta^{\lambda}\partial\eta^{\mu}}\dot{\eta}^{\lambda}\dot{\eta}^{\mu}\quad\forall\beta\in[\overline{1,6HN}];\lambda,\mu\in[\overline{1,L}],\quad(24)$$

непосредственно следующих из уравнений (19) связей, наложенных на тела этой схемы. После умножения уравнений (21) на матрицу (20) (со сверткой по «немым» индексам), а также подстановки в них соотношений (23) и (24), модель движения МЛП в координатах $\eta^{\lambda}\forall\lambda[\overline{1,L}]$, то есть относительно неинерциальных триэдров $iQY_{q}\forall i\in[\overline{1,N}],q\in[\overline{1,3}]$, получаем в виде:

$$c_{\lambda\mu}\ddot{\eta}^{\mu}+C_{\lambda,\mu\nu}\dot{\eta}^{\mu}\dot{\eta}^{\nu}=Y_{\lambda}\quad\forall\lambda,\mu,\nu\in[\overline{1,L}]\quad(25)$$

$$c_{\lambda\mu}=b_{\alpha\beta}\cdot\frac{\partial\ \xi^{\alpha}}{\partial\ \eta^{\lambda}}\times$$

$$\times\frac{\partial\ \xi^{\beta}}{\partial\ \eta^{\mu}}\quad\forall\alpha,\beta\in[\overline{1,6HN}];\lambda,\mu\in[\overline{1,L}];\quad(26)$$

$$C_{\lambda,\mu\nu}=b_{\alpha\beta}\cdot\frac{\partial\xi^{\alpha}}{\partial\eta^{\lambda}}\cdot\frac{\partial^{2}\xi^{\beta}}{\partial\eta^{\lambda}\partial\eta^{\nu}}+\frac{\partial\xi^{\alpha}}{\partial\eta^{\lambda}}\cdot\frac{\partial\xi^{\beta}}{\partial\eta^{\mu}}\cdot$$

$$\cdot\frac{\partial\xi^{\gamma}}{\partial\eta^{\nu}}\cdot\mathrm{B}_{\alpha,\beta\gamma}\quad\forall\alpha,\beta,\gamma\in[\overline{1,6HN}];\ \lambda,\mu,\nu\in[\overline{1,L}];\quad(27)$$

$$Y_{\lambda}=\frac{\partial\xi^{\alpha}}{\partial\eta^{\lambda}}U_{\alpha}\forall\alpha,\beta,\gamma\in[\overline{1,6HN}];\quad\lambda\in[\overline{1,L}],\quad(28)$$

где $c_{\lambda\mu},C_{\lambda,\mu\nu},Y_{\lambda}\forall\lambda,\mu,\nu\in[\overline{1,L}]$ – ковариантный метрический тензор расчетной схемы поезда, ее трехиндексный символ Кристоффеля 1-го рода в координатах $\eta^{\lambda}\forall\lambda[\overline{1,L}]$, а также соответствующие обобщенные силы.

Аналогично (17),

$$C_{\lambda,\mu\nu}=0,5\left(\frac{\partial c_{\lambda\mu}}{\partial\eta^{\nu}}+\frac{\partial c_{\lambda\nu}}{\partial\eta^{\mu}}-\right.$$

$$\left.-\frac{\partial c_{\mu\nu}}{\partial\eta^{\lambda}}\right)\quad\forall\lambda,\mu,\nu\in[\overline{1,L}].\quad(29)$$

Вывод

Как следует из изложенного, построение модели (25), (26), (28), (29) требует использования лишь операций матричной алгебры. Они реализовались программно с использованием символьного компонента системы компьютерной математики Mathematica 5. Поэтому такое построение происходит в полностью автоматическом режиме, имея своим итоговым результатом явные выражения всех элементов указанной модели (которые не приводятся ввиду громоздкости). При этом, благодаря синтетичности учета функционально-структурной организации МЛП, в полученных уравнениях модели его относительного движения автоматически учтены все члены, отражающие истинное динамическое силовое равновесие в системе. Рассмотрение псевдосил инерции при этом не требуются.

Упомянутые уравнения снова являются тензорными. Поэтому при возникновении такой надобности они без фундаментальной перестройки, преобразуемы (согласно изложенному алгоритму) не только к любой иной удобной для какого-либо исследования системе обобщенных координат (в которой они записаны), но и структуре расчетной схемы исследуемого объекта. Это, наряду с прочими достоинствами, обеспечиваемыми современными системами компьютерной математики [9], позволяет облегчить и усовершенствовать комплекс исследований, связанных с анализом естественной и, на этой основе, синтезом требуемой управляемой динамики МЛП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Березкин Е. Н. Курс теоретической механики. – М.: Из-во МГУ, 1974. 647 с.
2. Ишлинский А. Ю. Классическая механика и силы инерции. – М.: Наука, 1987. 320 с.
3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1976. Т. ½. 439 с.
4. Дзензерский В. А. Некоторые вопросы математического моделирования левитационного движения электродинамических транспортных средств / В. А. Дзензерский, А. А. Зевин, Н. А. Радченко, Н. М. Хачапуридзе // Математическое моделирование в образовании, науке и промышленности: Сб. научн. трудов. СПб.:

Санкт-Петербургское отделение МАН ВШ, 2000. – С. 65–66.
5. Дзензерский В. А. Динамика транспорта на сверхпроводящих магнитах / В. А. Дзензерский, Н. А. Радченко. – Д.: Арт-Пресс, 2003. – 232 с.
6. Дзензерский В. А. Система электродинамического подвеса левитирующего транспорта с плоской путевой структурой / В. А. Дзензерский, А. А. Зевин, Н. А. Радченко // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и безопасность движения: XI Международная конференция. Тезисы докладов. – Д.: ДНУЖТ, 2004. – С. 74.
7. Коренев Г. В. Целенаправленная механика управляемых манипуляторов. – М.: Наука, 1979. – 448 с.
8. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Гостехиздат, 1961. – 824 с.
9. Дьяконов В. П. Mathematica 4.1/4.2/5.0 в математических и научно-технических расчетах. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 696 с.

Поступила в редколлегию 29.03.06.

УДК 629.45.016.56

В. И. ПРИХОДЬКО, О. А. ШКАБРОВ (ОАО «КВСЗ»), С. В. МЯМЛИН,
П. А. ЯГОДА (ДИИТ)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ДЛЯ СКОРОСТНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Пропонуються варіанти удосконалення конструкції і зниження ваги кузовів пасажирських вагонів. Розроблена математична модель для вивчення напружено-деформованого стану кузова. Наведені деякі результати.

Предлагаются варианты совершенствования конструкции и снижения веса кузовов пассажирских вагонов. Разработана математическая модель для изучения напряженно-деформированного состояния кузова. Приведены некоторые результаты.

The article offers some options of improving design and reducing the weight of passenger car bodies and develops a mathematical model for studying the strained-deformed state of the body. Some practical results have been presented.

Улучшение технико-экономических параметров рельсовых экипажей возможно различными способами, но приемлемыми следует считать те, которые приводят в конечном итоге к повышению доходности эксплуатации подвижного состава.

Одним из наиболее существенных способов улучшения технико-экономических характеристик подвижного состава является снижение металлоемкости несущих конструкций. Уменьшение массы тары рельсовых экипажей, как известно, способствует также снижению энергопотребления, расходуемого на тягу поездов. Но эти мероприятия следует проводить обосновано: с учетом соблюдения нормативных значений по допускаемым напряжениям в элементах и узлах металлоконструкции. Рассмотрим некоторые варианты совершенствования конструкции кузовов пассажирских вагонов для скоростных перевозок на примере вагонов поездов «Столичный экспресс» (рис. 1) [1].



Рис. 1. Вагоны для скоростных перевозок

Описанию математической модели посвящена статья [2]. Кузов рассматривался как система стержневых и пластинчатых конечных элементов. Расчетная схема приведена на рис. 2. Как стержни рассматривались стойки и верхняя обвязка боковых стен, дуги крыши и др. (фрагмент стержневой конструкции показан на рис. 3). Рама кузова, нижняя обвязка, обшива боковых стен, торцевые стены, обшива крыши и настил пола моделировались с помощью пластинчатых конечных элементов.

Стержневые конечные элементы работают на растяжение (сжатие), изгиб, кручение и сдвиг. Плоские конечные элементы работают на изгиб (как пластины) и на растяжение (сжатие) под действием сил, линии действия которых лежат в срединной плоскости.

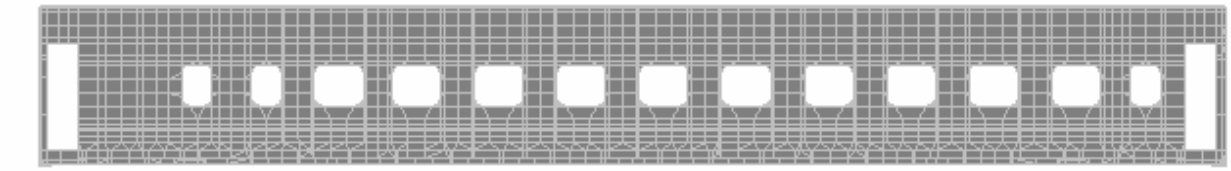


Рис. 2. Расчетная схема кузова пассажирского вагона

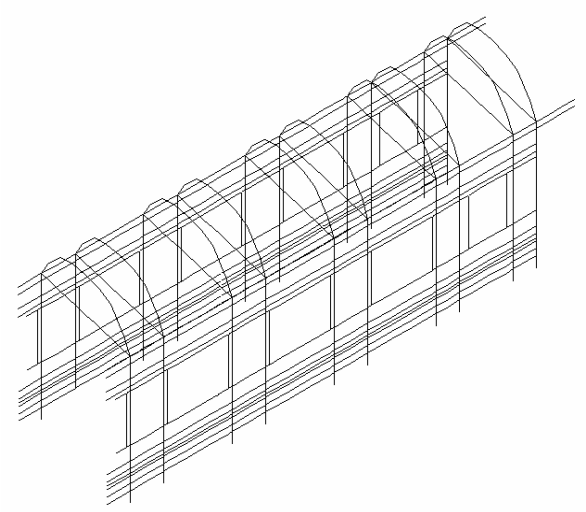


Рис. 3. Фрагмент стержневой конструкции кузова

Расчеты выполнялись при помощи метода конечных элементов с использованием программного комплекса SCAD [3] в соответствии с нормами [4].

Всего расчетная схема содержит 7220 узлов и 11458 конечных элементов.

При проведении расчетов рассматривалось три варианта приложения нагрузок. Первый вариант отвечает I расчетному режиму, второй вариант – III режиму при скорости движения 160 км/ч , третий вариант – III режиму при скорости движения 200 км/ч. Нагрузки, которые прикладываются в каждом из вариантов, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Нагрузки при разных расчетных режимах

Расчетный режим	Продольная нагрузка, кН	Вертикальная нагрузка, кН	Боковая нагрузка, кН
I	–2500	510	—
III (160 км/ч)	+1000	641	95,3
III (200 км/ч)	+1000	669	95,3

Для подтверждения правильности созданной модели результаты расчета кузова при стандартных толщинах обшивы сравнивались с экспериментальными данными: напряжения в кузове, полученные при расчете по первому расчетному режиму сравнивались с результатами ударных испытаний, а по третьему – с результатами ходовых динамических испытаний. Сходимость результатов позволила продолжить исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона при различных его модернизациях.

Исследования проводятся с целью уменьшить массу тары кузова пассажирского вагона для возможности повышения скорости движения. Учитывается также тенденция создания кузовов с гладкой обшивой (без гофр).

Рассматривались следующие варианты изменения конструкции и параметров кузова:

– толщина обшивы боковых стен составляет 2 мм, крыши – 1,5 мм;

– толщина обшивы боковых стен и крыши составляет 1,5 мм;

– толщина обшивы боковых стен составляет 2 мм, крыши – 1,5 мм; стержни, моделирующие гофры, удалены;

– толщина обшивы боковых стен и крыши составляет 1,5 мм; стержни, моделирующие гофры, удалены.

Результаты расчетов приведены в табл. 2 и на рис. 4–7.

На графиках значению 2,5 мм соответствуют напряжения в кузове при стандартных толщинах обшивы.

Анализируя полученные зависимости, можно сделать вывод, что такие элементы кузова как рама, крыша (рис. 5) и торцевые стены (последние на графиках не приводятся ввиду малости возникающих в них напряжений) независимо от наличия гофр и расчетного режима обладают достаточным запасом прочности.

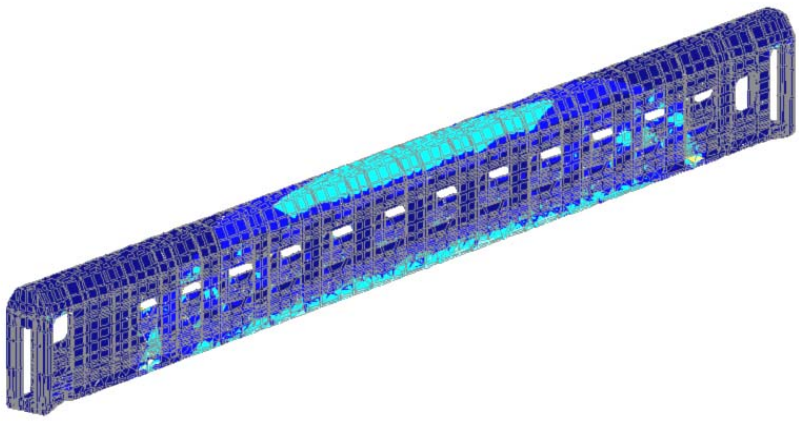
Наиболее «узкое» место – это боковые стены вагона (рис. 6) при нагружении по третьему расчетному режиму. Концентраторами напряжений являются углы окна. Из графиков видно, что при уменьшении толщины обшивы до 2 мм напряжения возрастают примерно на 20 МПа, но остаются значительно ниже допустимого значения 190 МПа для применяемой стали 09Г2Д. Уменьшение толщины обшивы до 1,5 мм приводит к росту напряжений до пределов допустимых, а при III р.р. (200 км/ч) даже к превышению их.

Таблица 2

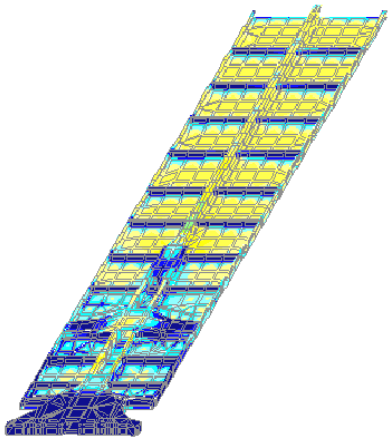
Напряжения в элементах кузова вагона при разных толщинах обшивы, МПа

Элемент кузова	Толщина обшивы, δ мм	I р.р.	III р.р. (160км/ч)	III р.р. (200км/ч)	Толщина обшивы, δ мм	I р.р.	III р.р. (160км/ч)	III р.р. (200км/ч)
Кузов с гофрами					Кузов без гофр			
Рама	2,5	157,24	119,52	124,81	2,5	158,85	119,9	125,18
	2,0	158,47	120,88	126,18	2,0	160,28	120,1	126,4
	1,5	161	133,08	137,13	1,5	163	133,2	137,18
Стена боковая подветренная	2,5	139	134,48	139,4	2,5	137,3	132,85	137,76
	2,0	140,3	154,54	160,25	2,0	140,85	152,31	158,02
	1,5	150,62	187,34	194,57	1,5	160,38	184,38	191,56
Стена боковая неподветренная	2,5	120,97	141,43	146,62	2,5	129,22	140,28	145,44
	2,0	127,85	159,91	165,93	2,0	139,1	158,13	164,08
	1,5	149,16	193,23	200,73	1,5	160	190,61	198
Крыша	2,5	57,86	103,02	103,95	2,5	49,39	106,64	107,64
	2,0	66,15	103,49	104	2,0	54,94	107,34	108,53
	1,5	89,43	117,28	117,7	1,5	75,66	120,3	120,75

а



б



в

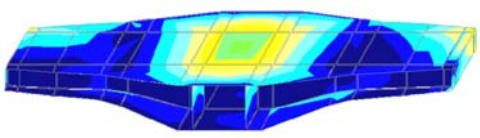
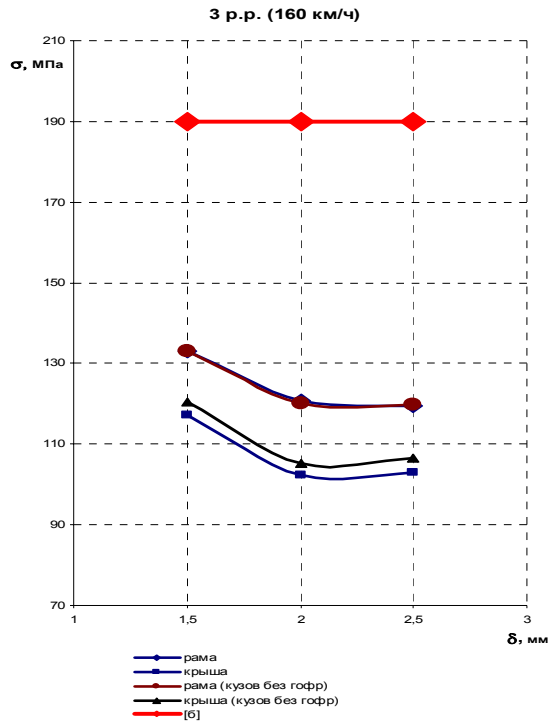


Рис. 4. Напряжения в кузове вагона (*а*), в раме, вид снизу (*б*), в шкворневой балке (*в*)

а



б

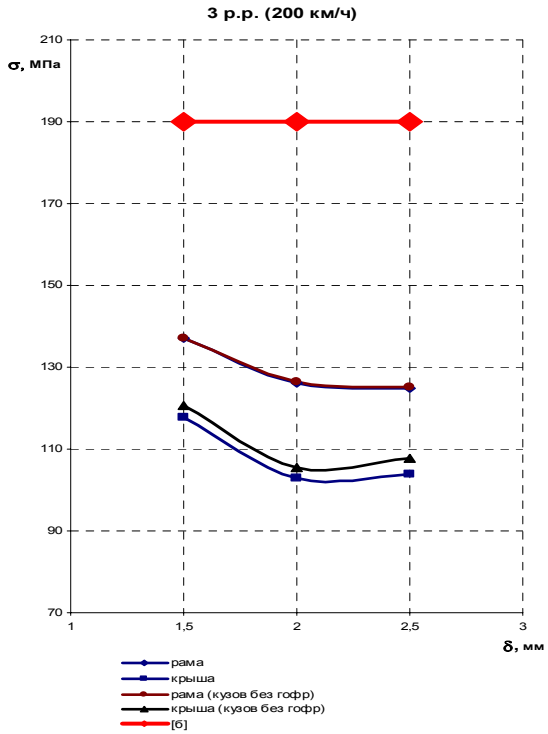
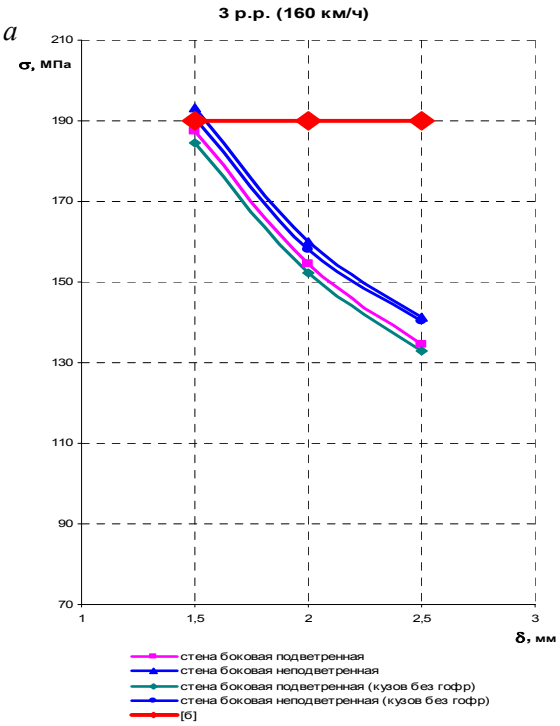


Рис. 5. График зависимости напряжений в раме и крыше вагона при III р.р.:
а – скорость движения 160 км/ч; *б* – скорость движения 200 км/ч

а



б

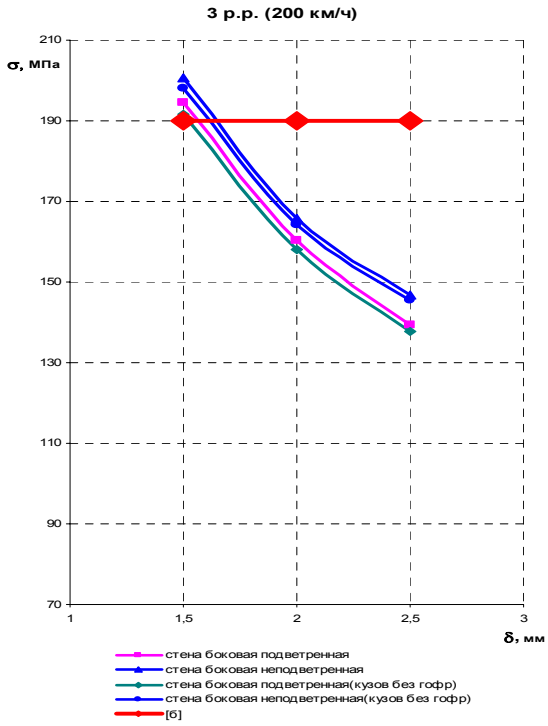


Рис. 6. График зависимости напряжений в боковых стенах вагона при III р.р.:
а – скорость движения 160 км/ч; *б* – скорость движения 200 км/ч

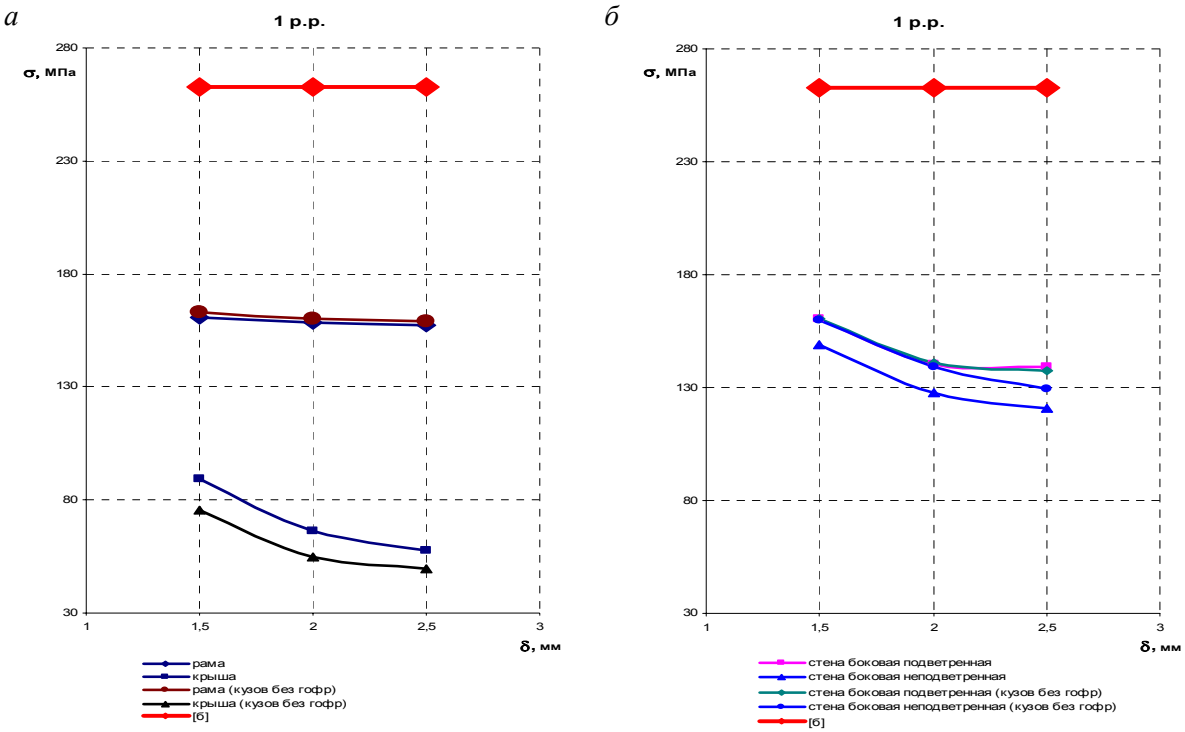


Рис. 7. График зависимости напряжений:
а – в раме и крыше вагона при I р.р.; *б* – в боковых стенах вагона при I р.р.

Таким образом, на основе полученных результатов можно сделать вывод, что уменьшение толщины обшивы кузова до 2 мм существенно не влияет на напряженно-деформированное состояние, но при этом достигается снижение масса тары вагона на 1,05 т, что составляет 1,78 %. Предложенный вариант уменьшения металлоемкости конструкции кузова вагона совместно с другими мероприятиями позволит повысить скорость движения, снизить расход электроэнергии на тягу и тем самым повысить технико-экономические характеристики пассажирских вагонов для скоростных перевозок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федюшин Ю. М. Розробка, створення, освоєння виробництва та впровадження сімейства моделей вітчизняних сучасних пасажирських вагонів для швидкісних перевезень / Ю. М. Федюшин, Л. М. Лобойко, О. М. Пшінько та ін. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. – Вип. 7 – С. 5–24.
2. Мямлин С. В. Снижение веса металлоконструкции пассажирских вагонов для скоростных перевозок / С. В. Мямлин, О. А. Шкабров, П. А. Ягода, Т. И. Дедаева // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2006. – Вип. 13. – С. 118–120.
3. Карпиловский В. С. SCAD для пользователя. – К.: ВВП «Компас», 2000.– 358 с.
4. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1 520 мм (несамоходных). – М: ВНИИВ–ВНИИЖТ, 1983. – 258 с.

Поступила в редакцию 09.10.2006.

УДК 624.073.11:539.371

С. Ю. БЕРЕСТЯНСКАЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Проведено випробування впливу різних схем вогневої дії та засобів теплового захисту на несучу здатність навантаженого сталебетонного перекриття. Рекомендовані способи захисту сталевого листа від дії високої температури.

Проведено исследование влияния различных схем огневого воздействия на несущую способность нагруженного сталебетонного перекрытия. Рекомендованы способы защиты стального листа от действия высокой температуры.

The author provides the tests in order to evaluate the impact of variable heating modes on carrying capacity of loaded steel concrete slab. Safety methods in order to defend the steel sheet from high temperature influence are also proposed in the article.

В работах [1; 2] получено следующее уравнение, описывающее двухосный изгиб неравномерно нагретой сталебетонной плиты:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(M_T - M_x\right) + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(M_T - M_y\right) - \frac{\partial^2 M_{xy}}{\partial x \partial y} + \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) M_T = q(x, y). \quad (1)$$

Температурные изгибающие моменты в бетоне и стальном листе определяются так:

$$M_T = M_T^b + M_T^s;$$

$$M_T^b = -\int_{x_i}^{x_i} \frac{\alpha_b E_b \left(T - T_0\right)}{3\left(1 - \nu_b\right)} x dx;$$

$$M_T^s = -\int_{h_b}^{h_b + \delta} \frac{\alpha_b E_b \left(T - T_0\right)}{3\left(1 - \nu_b\right)} x dx, \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура; α_b, α_s – коэффициенты объемного расширения бетона и стали.

Моменты M_x, M_y, M_{xy} связаны с жесткостными коэффициентами и кривизнами зависимостями [2–4]

$$\begin{vmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_{11} D_{12} D_{13} \\ D_{21} D_{22} D_{23} \\ D_{31} D_{32} D_{33} \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} K_x \\ K_y \\ 2K_{xy} \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

$$D_{11} = D_1 \sin^2 \alpha + D_2 \cos^2 \alpha; \quad D_{12} = D_{21} = D_\mu;$$

$$D_{13} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = \left(D_1 - D_2\right) \cos\alpha \sin\alpha / 2;$$

$$D_{22} = D_1 \cos^2 \alpha + D_2 \sin^2 \alpha;$$

$$D_{33} = \left(D_1 + D_2 - 2D_\mu\right)/4;$$

$$D_i = \overline{x}_i^3 E_b / \left(3\left(1 - \nu_b^2\right)\right) + \overline{x}_{ti}^3 E_{bt} / \left(3\left(1 - \nu_{bt}^2\right)\right) + E_s A_s \left(h_0 - x_i\right)^2 \lambda_i / \left(1 - \nu_s^2\right);$$

$$D_\mu = 0{,}5 \left(D_{\mu 1} + D_{\mu 2}\right);$$

$$D_{\mu i} = \nu_b \overline{x}_i^2 \overline{x}_j E_b / \left(3\left(1 - \nu_b^2\right)\right) + \nu_{bt} \overline{x}_{ti}^2 \overline{x}_{tj} E_{bt} / \left(3\left(1 - \nu_{bt}^2\right)\right) + \nu_s E_s A_s \left(h_0 - x_i\right)\left(h_0 - x_j\right)\lambda_j / \left(1 - \nu_s^2\right);$$

$$i = 1, 2; \quad j = 2, 1;$$

$$\left.\begin{aligned} K_x &= -\partial^2 w / \partial x^2; \\ K_y &= \partial^2 w / \partial y^2; \\ K_{xy} &= \partial^2 w / \partial x \partial y. \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

где A_s – площадь стального листа на единице длины; $E_b, E_{bt}, \nu_b, \nu_{bt}$ – параметры деформирования сжатого и растянутого бетона; E_s, ν_s – параметры деформирования стального листа; λ_i – коэффициент податливости контакта листовой арматуры с бетоном; x_i, x_{ti} – высоты сжатой и растянутой зон.

Для решения задачи о напряженно-деформированном состоянии сталебетонной плиты необходимо сначала знать распределение температурно-влажностного поля в ее сечении. Будем предполагать, что плита прогревается равномерно: *а*) со стороны стального листа; *б*) со стороны бетона; *в*) со стороны стального листа и бетона одновременно. В случае равномерного прогрева задача о распределении температуры и влаги сводится к одномерной (рис. 1). Необходимость рассмотрения влажностного поля связана с наличием влаги в порах бетона, при испарении которой возникает подвижная граница парообразования [5].



Рис. 1. Расчетная схема сталебетонной плиты: температурное воздействие *а* – со стороны стального листа; *б* – со стороны бетона; *в* – с обеих сторон

В работах [1; 5] на основе анализа уравнения баланса масс в фазах, уравнений движения и уравнений баланса энергии показано, что для микропористых сред с размерами пор $r \le 10^{-7}$ м типа плотных тяжелых бетонов с пористостью порядка 20…30 % тепломассообмен описывается следующей системой уравнений:

$$\left.\begin{aligned} c\rho\,\partial T/\partial t &= \partial/\partial x\left(\lambda\,\partial T/\partial x\right), \\ \partial\rho_3/\partial t &= \left(8r/3\right)\sqrt{R/2\pi M}\;\partial\left(\rho_3\sqrt{T}\right)\Big/\partial x, \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

где T – температура твердого каркаса вместе с паром, К; c – удельная теплоемкость бетона; ρ – плотность сухого твердого каркаса; λ – коэффициент теплопроводности сухого каркаса; ρ_3 – плотность пара; M – молярная масса пара; R – газовая постоянная; t – время.

Для каждой схемы температурного воздействия записываются начальные и граничные условия, и путем разностной аппроксимации решается задача тепломассообмена. Зная распределение температурного поля по толщине плиты, по зависимостям (2) определяются температурные моменты, а решением уравнения равновесия (1) с учетом зависимостей (3) определяется напряженно-деформированное состояние сталебетонной плиты.

В качестве численного метода решения используется метод конечных разностей (МКР). Для этого на серединной поверхности плиты выбирается конечное число точек, распределенных с некоторой закономерностью и представляющих собой узлы конечно-разностной сетки с дискретными координатами (*I*, *J*) (рис. 2).

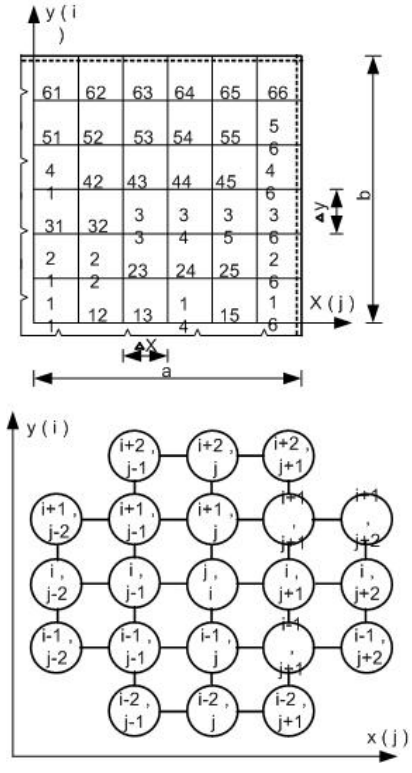


Рис. 2. Схема конечно-разностной сетки

Для каждой точки, полученной таким образом, записывают исходные уравнения, в которых частные производные заменяют приближенными значениями искомой функции прогибов в узлах сетки. В результате, непрерывное решение заменяют его дискретными значениями в узлах сетки, а дифференциальное уравнение сводят к системе алгебраических.

Для решения поставленной задачи уравнения (1) (3) и (4) сводились в одно разрешающее уравнение. Уравнение равновесия [1; 2] представлялось в конечно-разностной форме с использованием обычных центральных разностей относительно неизвестных прогибов W. Выражения для кривизн в соответствии с (4) представляют собой производные второго порядка. Температурные моменты M_T записывались в конечных разностях и после вычислений представляли собой величину, независящую от прогиба.

В свернутом виде конечное разрешающее уравнение для точки с координатами (I, J) можно представить следующим образом:

$$\sum_{L=-2}^{L=2}\sum_{K=-2}^{K=2} B(N)\cdot w(I+K, J+L) = \\ = P(I,J) - M_T(I,J), \quad (6)$$

где

$$N = 5K + L + 13; \quad L, K = -2, 0, -1, 0, 0, 1, 0, 2, 0.$$

Как уже отмечалось, жесткости D_{ij}, $I, J = 1, 2, 3$, входящие в уравнения (3) и определяющие матрицу коэффициентов СЛАУ, являются функциями кривизны сечений $K_i(I,J)$ $(i = 1,2)$, (I,J) – номера узлов сетки (дискретные координаты). Для линеаризации решения организуется процесс последовательных приближений, заключающийся в последовательном уточнение жесткостей элементов конструкции по результатам предыдущего расчетного цикла.

При записи разрешающего уравнения (6) для точек на контуре и прилежащих к контуру приходится иметь дело с законтурными значениями функций прогибов, которые увязываются дополнительными (граничными) условиями со значениями этой функции внутри контура. Для всех точек, в том числе контурных и законтурных, использовались центральные разности. Описание граничных условий производится заданием соответствующих значений прогибов и моментов для точек, лежащих на контуре и за контуром.

Рассматривается случай шарнирного опирания плиты. В этом случае прогибы на контуре равны нулю и разрешающее уравнение для этих точек не записывается. При записи уравнений (6) для точек (61–66) и (16–66), необходимо знать значение прогибов для точек, лежащих вне контура.

При расчете прямоугольных сталебетонных пластин на действие симметричной нагрузки достаточно рассматривать ее четвертую часть (см. рис. 2,) при этом вдоль линии 11–16 и 11–61 накладывается условие равенства прогибов в симметричных точках.

Совокупность разрешающих уравнений вида (6), полученных для каждой точки конечно-разностной сетки, с учетом граничных условий, представляют собой систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных значений прогибов $W(I,J)$. Решение СЛАУ выполнялось методом Гаусса, для чего использовалась стандартная подпрограмма. В результате решения СЛАУ находит значения функции прогибов $W(I,J)$ нулевого приближения.

Моделирование процесса деформирования сталебетонной плиты под нагрузкой осуществлялось шагами в 10 кН/м^2. Действие температуры учитывалось по уравнению стандартного пожара и моделировалось как добавка к нагрузке в каждой точке конечно-разностной сетки. Температурные поля определялись с интервалом времени до испарения влаги – 0,67 мин., после испарения – 1,67 мин.

Процесс последовательных приближений организован таким образом, что в каждом n-м приближении уточняются жесткостные характеристики в соответствии с деформированным состоянием $(n-1)$-го приближения. Организованный таким образом процесс сходится не во всех случаях. При малых нагрузках, непосредственно после образования трещин, вследствие резкого падения жесткостей в местах локального трещинообразования и сильных перераспределений усилий, итерационный процесс расходится. Это объясняется тем, что трещины в процессе перехода от расчетного цикла к действительному циклу то раскрываются, то закрываются и соответственно жесткости то уменьшаются, то увеличиваются. Такое явление характерно для статически неопределимых железобетонных конструкций.

Для обеспечения сходимости процесса последовательных приближений Васильевым А. П. рекомендовано уменьшать величину воспри-

нимаемых бетоном растягивающих напряжений и выводить таким образом систему из состояния неустойчивого распределения усилий. Однако искусственное снижение сопротивляемости бетона растяжению, незначительно сказываясь на действующих в системе усилиях, улучшает сходимость, но при этом искажается картина деформаций конструкции. Поэтому для улучшения сходимости итерационного процесса усилия, вводимые в последующую итерацию, определять как среднее арифметическое усилий, полученных на всех предшествовавших итерациях. В [3] эту процедуру рекомендовано применять не к усилиям, а к жесткостям, для чего жесткости, участвующие в процессе формирования матрицы коэффициентов СЛАУ, определяются по формуле

$$D'_n = \frac{D_{n-1} \cdot n + D_n}{n+1}, \qquad (7)$$

где D_n – жесткость, полученная в текущей итерации, D_{n-1} – жесткость, использованная в процессе формирования матрицы коэффициентов СЛАУ в $(n-1)$ – итерации, n – номер текущей итерации. Такой прием обеспечивает уверенную сходимость процесса последовательных приближений, хотя вызывает его замедление.

Предел огнестойкости конструкции характеризуется ее способностью сопротивляться температурным воздействиям и определяется временем *t*, за которое перекрытие теряет несущую способность. В свою очередь, несущая способность характеризуется следующими факторами, имеющими место в какой-либо точке конечно-разностной сетки: прочностью бетона, прочностью стального листа, прочностью контакта.

В качестве примера для численных расчетов было использовано сталебетонное перекрытие 6000×6000 мм толщиной $h_b = 300$ мм из бетона прочностью $R_b = 20$ МПа. Перекрытие армировалась плоским листом толщиной $\delta = 3$ мм из стали с физическим пределом текучести $\sigma_т = 235$ МПа. Начальные значения модуля упругости бетона и стали $E_b = 3{,}30 \times 10^4$ и $E_s = 2{,}06 \times 10^5$ МПа. Нагрузка на перекрытие была принята равномерно распределенная. Опирание по контуру шарнирное. Объединение стального листа с бетоном выполнялось наклонными петлевыми анкерами и имело жесткость $\xi = 80$ кН/м^3 [3; 4].

Результаты расчетов приведены на рис. 3, 4. Из рис. 3 видно, что при температурном воздействии сверху обеспечивается требуемый предел огнестойкости согласно СНиП 2.01.02-85* до нагрузки 90 % от разрушающей. При огневом воздействии со стороны стального листа и с обеих сторон несущая способность не обеспечивается даже при минимальной нагрузке. В этом случае необходимо предусматривать защиту конструкции от температуры. Как видно из рис. 4, тип защитного слоя значительно увеличивает огнестойкость сталебетонного перекрытия при действии пожара со стороны стального лита. Так, например, огнестойкость перекрытия при нагрузке 10 кН/м^2 с защитным слоем из минераловатных плит $h = 40$ мм – 58,3 мин. Этот способ защиты может быть рекомендован для зданий, соответствующих II степени огнестойкости.

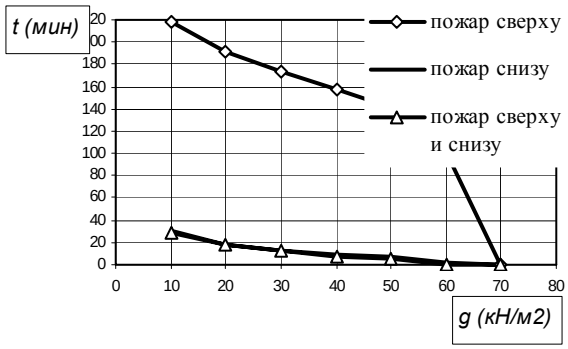


Рис. 3. Зависимость несущей способности сталебетонного перекрытия от схемы температурного воздействия

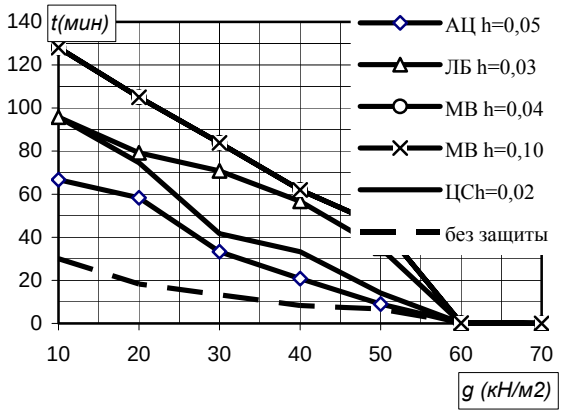


Рис. 4. Зависимость несущей способности сталебетонного перекрытия от вида температурной защиты

Огнестойкость сталебетонного перекрытия при нагрузке 10 кН/м^2 с защитным слоем из асбестоцементных плит $h = 500$ мм – составляет 66,7 мин., цементно-стружечных плит h=200 мм составляет 95,8 мин., с защитным слоем из ми-

нераловатной плиты $h = 100$ мм – 143 мин, с защитным слоем из легкого бетона $h = 30$ мм – 95,8 мин. Эти способы защиты могут быть рекомендованы для зданий, соответствующих I степени огнестойкости.

Предложенная методика позволяет смоделировать процесс деформирования и разрушения сталебетонных плит при силовых и температурных воздействиях, определить предел огнестойкости при различных схемах температурного воздействия и предусмотреть различные способы защиты конструкции от действия высокой температуры. Полученные результаты могут быть использованы для расчета сталебетонных перекрытий строительных сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Огнестойкость бетонных и сталебетонных конструкций // Сб. трудов ХарГАЖТ. – Харьков, – 2000. – Вып. С. 40–97.
2. Чихладзе Э. Д. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит при силовых и температурных воздействиях / Э. Д. Чихладзе, М. А. Веревичева, С. Ю. Берестянская // Коммунальное хозяйство городов: Научно-технический сборник: – К.: Техника, – 2002. – Вып. 39, – С. 98–104.
3. Чихладзе Э. Д. Напряженно-деформированное состояние сталебетонных плит / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 2. – С. 22–26.
4. Чихладзе Э. Д. Несущая способность сталебетонных плит / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10. – С. 30–31.
5. Жакин А. И. Теория тепломассообмена в пористых средах / А. И. Жакин, Э. Д. Чихладзе, М. А. Веревичева // Изв. ВУЗов. Строительство. – 1998. – № 1. – С. 111–116.

Поступила в редколлегию 29.05.2006.

УДК 681.518

С. А. БОКАРЕВ, Л. Ю. СОЛОВЬЕВ, Д. Н. ЦВЕТКОВ (Сибирский государственный университет путей сообщений, Россия)

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ СПОСОБОВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ

Розглядаються питання удосконалення методів оцінки технічного стану сталезалізобетонних прогонових будов із використанням параметрів, які отримані під час статичних та динамічних випробувань.

Рассматриваются вопросы совершенствования методов оценки технического состояния сталежелезобетонных пролетных строений с использованием параметров, получаемых при статических и динамических испытаниях.

The article considers the issues of improving the estimation methods of technical of condition reinforced-concrete span structures with the use of the parameters received at static and dynamic tests.

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируется достаточно большое количество сталежелезобетонных пролетных строений. Особенностью этих конструкций является применение сборной железобетонной плиты балластного корыта, которая состоит из блоков заводского изготовления, объединяемых при монтаже поперечными швами бетона омоноличивания. От качества выполнения этих швов напрямую зависит включение плиты в совместную работу с главными балками, а следовательно, и несущая способность конструкции в целом. Практика показывает, что к настоящему моменту бетон швов многих сталежелезобетонных пролетных строений оказался частично или полностью разрушен. Поскольку влияние состояния поперечных швов на несущую способность конструкции является весьма существенным, то своевременное выявление степени нарушения монолитности плиты является актуальной задачей.

Оценить степень включения плиты в совместную работу с металлическими балками можно по нескольким параметрам. В частности, такими параметрами могут быть провис и форма изогнутой оси балки от постоянных нагрузок, прогиб балки и распределение напряжений по высоте сечения (положение нейтральной оси) от временных нагрузок, характеристики собственных колебаний пролетного строения - частота и форма. Оценку эффективности применения перечисленных показателей провели на сталежелезобетонных пролетных строениях, конструкция которых показана на рис. 1, имеющих расчетный пролет 23,0 м и выполненных по типовому проекту №739.

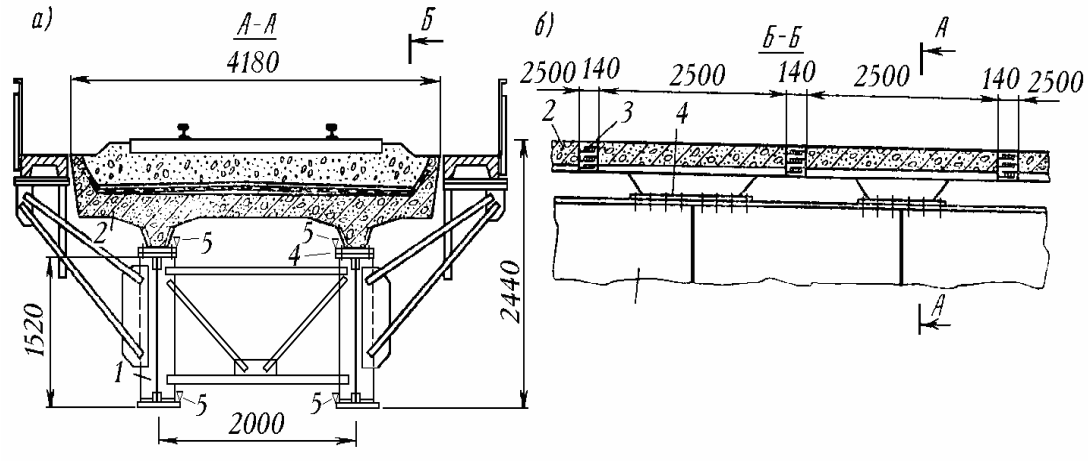
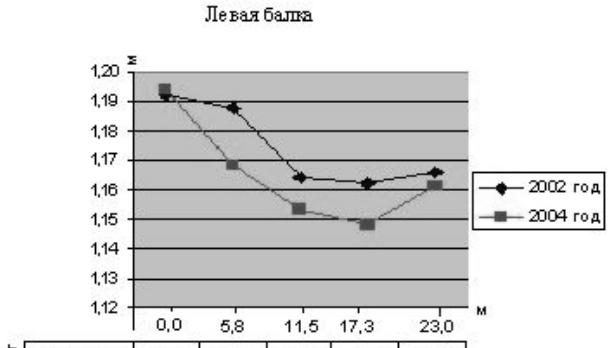


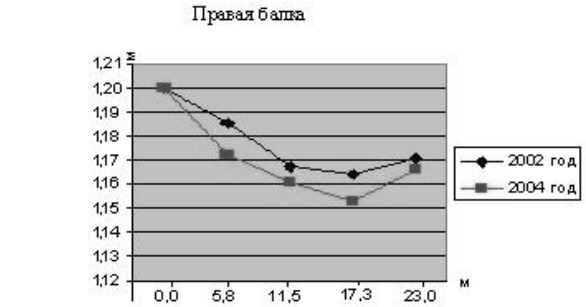
Рис. 1. Конструкция пролетного строения:
а – поперечный разрез; *б* – продольный разрез с омоноличиваемыми стыками; *1* – стальная балка; *2* – железобетонная плита; *3* – поперечный шов, омоноличиваемый на монтаже; *4* – закладная деталь объединения плиты и балки; *5* – места установки датчиков

Статические и динамические обследования испытания моста проводили в 2002–2004 гг. до и после капитального ремонта конструкций, необходимость которого была вызвана неудовлетворительным состоянием швов омоноличивания плиты балластного корыта.

Перед проведением испытаний как до, так и после ремонта, было выполнено детальное обследование пролетного строения, в процессе которого выполнили съемку профиля пути и балок, фиксировали параметры мостового полотна, повреждения элементов балок, опорных частей, опор, проводили контроль качества бетона в поперечных швах плиты балластного корыта с помощью склерометра Шмидта. На рис. 2 приведен продольный профиль нижних поясов главных балок пролетного строения.



2004 г 2002 г						
	Отметки, м	1,192	1,188	1,164	1,162	1,166
	Провис, мм	0	2	-15	-11	0
	Отметки, м	1,194	1,168	1,153	1,148	1,161
	Провис, мм	0	-18	-25	-21	0



2004 г 2002 г						
	Отметки, м	1,200	1,185	1,167	1,164	1,171
	Провис, мм	0	-8	-19	-14	0
	Отметки, м	1,200	1,172	1,161	1,153	1,166
	Провис, мм	0	-20	-22	-21	0

Рис. 2. Продольный профиль нижних поясов главных балок пролетного строения

Сравнение графиков показало, что прогиб (провис) балок от постоянных нагрузок в середине пролета, составлявший до ремонта 15…19 мм, после проведения ремонта достиг величины 22…25 мм. Изменилась и форма изогнутой оси балок.

Причиной отмеченного изменения, скорее всего, служит проведение ремонта швов без разгрузки пролетного строения от веса балласта и верхнего строения пути. Балласт всего лишь «отодвигали» над поперечными швами, освобождая место для проведения работ по восстановлению бетона шва. Старый бетон при этом удаляли, и все постоянные нагрузки воспринимались составным сечением из металлических балок и объединенных выпусков продольной арматуры плит. До проведения капитального ремонта из семи швов плиты балластного корыта некоторую прочность бетона сохранили только два шва (второй – 163 МПа и седьмой – 137 МПа). После выполнения ремонта доступными для осмотра оказались швы четвертый и седьмой, низкое качество бетона которых не позволило с помощью склерометра определить его прочность.

Форма изогнутой оси пролетного строения имеет явно выраженные точки перелома, более ярко проявляющиеся для балок до проведения ремонта. Видимо, расположение точек перелома соответствует зонам резкого изменения жесткости балок из-за нарушенных швов омоноличивания. Теоретически оценить степень изменения изгибной жесткости балки по форме изогнутой оси можно на основании варианта методики расчета слоистых стержней, приведенного в [1].

Однако в целом прогиб от постоянных нагрузок не позволяет однозначно судить о состоянии швов омоноличивания и о включении железобетонной плиты в совместную работу. Связано это с тем, что, во-первых, не известен первоначальный вид профиля – сразу после сдачи сооружения в эксплуатацию и, во-вторых, прогиб от постоянных нагрузок «не чувствителен» к восстановлению швов.

При проведении статических испытаний сооружения нагружения пролетного строения производили электровозом ВЛ60, масса которого составляет 138 т. Интенсивность распределенной испытательной нагрузки равнялась 6,63 тс/м, что составило 47 % нормативной временной вертикальной нагрузки С14. Локомотив устанавливали таким образом, чтобы одна из осей тележки находилась над серединой пролетного строения.

Зафиксированные величины прогибов балок в середине пролета приведены в табл. 1. Так как на момент проведения испытаний в конструкции уже имелись повреждения в швах плиты, расчетный прогиб от испытательной нагрузки был определен с помощью конечно-

элементной модели сталежелезобетонной балки, состоящей из балочных элементов. Изменение изгибной жесткости по длине пролета учитывалось в модели уменьшением площади и момента инерции конечных элементов в сечениях с поврежденными поперечными швами.

Таблица 1

Прогибы балок в середине пролета от испытательной нагрузки

Год	Измеренный прогиб, мм		Расчетный прогиб, мм	Расчетный прогиб исправного ПС, мм
	ЛБ	ПБ		
2002	21,0	21,0	21,1	9,0
2004	21,0	21,0	20,7	

Кроме прогиба, во время статических испытаний измеряли относительные деформации в поясах металлических балок в середине пролета и по ним определяли положение нейтральной оси, считая линейным распределение деформаций по высоте сечения. В табл. 2 приведены расстояния от нижней фибры нижнего горизонтального листа балки до нейтральной оси, полученные по результатам испытаний, и расчетное положение нейтральной оси, соответствующее различному составу сечения сталежелезобетонной балки.

Таблица 2

Положение нейтральной оси в сечении балок в середине пролета

Год (состав сечения)	Расстояние от нейтральной оси до нижней фибры нижнего горизонтального листа металлической балки, мм	
	ЛБ	ПБ
2002	546	487
2004	613	534
Стальная балка	545	
Стальная балка + арматура	613	
Сталежелезобетонное сечение	1 239	

Нетрудно убедиться, что положение нейтральной оси в рассматриваемом поперечном сечении до ремонта практически соответствует положению нейтральной оси сечения только стальных балок. Положение нейтральной оси после ремонта указывает на частичное включение в совместную работу со стальными балками арматуры плиты балластного корыта, что подтверждается результатами обследования (наличие в швах объединенной продольной арматуры плиты). Распределение напряжений по высоте сечения и положение нейтральной оси являются наиболее информативными параметрами в сравнении с рассмотренными выше и они могут быть использованы для оценки несущей способности исследуемого сечения.

В ходе динамических испытаний сооружения (колебания в конструкции возбуждались проходом электровоза ВЛ60 с различными скоростями) частоты собственных колебаний пролетного строения определяли по виброграммам относительных деформаций в верхних поясах балок. Регистрацию и запись виброграмм выполняли с помощью специализированной измерительной системы [2] и тензометрических преобразователей, которые были установлены на нижних и верхних горизонтальных листах металлических балок, как показано на рис. 1. В результате анализа виброграмм, одна из которых для примера показана на рис. 4, были выделены низшие частоты собственных колебаний пролетного строения до ремонта – 2,77 Гц, после ремонта – 3,44 Гц.

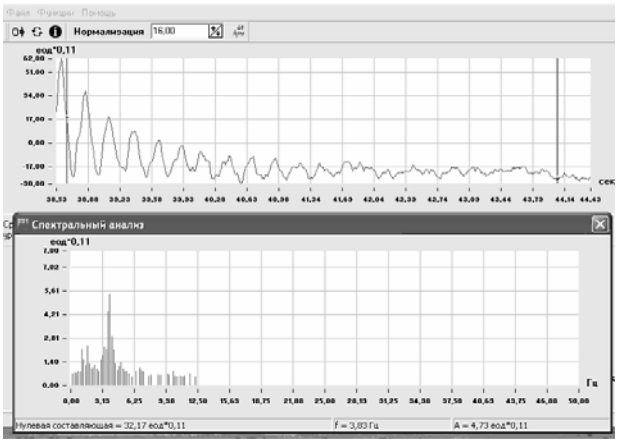


Рис. 3. Виброграмма деформаций и спектр частот свободных колебаний ПС

Для теоретического исследования динамических параметров пролетного строения при изменении его жесткости по длине пролета была создана конечно-элементная модель (рис. 5). Железобетонную плиту балластного корыта моделировали 8-узловыми объемными элементами, металлическую балку – 4-узловыми пластинчатыми элементами, а связи – пространственными 3-узловыми трехмерными балочными элементами. Балласт моделировали как массу, приложенную на уровне верха плиты путем изменения плотности верхнего слоя плиты балластного корыта. Соответствие конечно-элементной мо-

дели рассматриваемому пролетному строению было проверено расчетами на постоянную и временную нагрузки, показав удовлетворительное совпадение теоретических значений прогибов в середине пролета и напряжений в поясах балок с измеренными значениями.

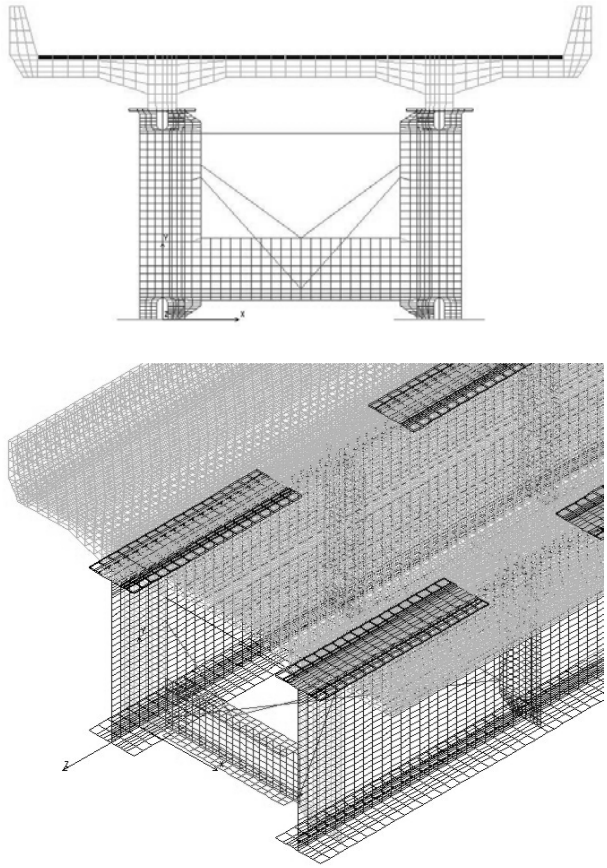


Рис. 4. Конечно-элементная модель пролетного строения

Сравнивая измеренные при испытаниях и полученные расчетом значения частот собственных колебаний, можно отметить близкое совпадение теоретических и экспериментальных значений, полученных в предположении разрушения пяти и семи швов плиты (2,92…2,73 Гц для первой формы колебаний) с измеренными до ремонта значениям 2,77 Гц. Результаты испытаний, выполненных после ремонта швов (3,44 Гц) близки к расчетным величинам частот при трех разрушенных швах (3,17…3,77 Гц для первой формы колебаний), что свидетельствует о частичном включении плиты в совместную работу с главными балками (только за счет объединения выпусков арматуры).

Для принятой расчетной схемы были определены три низшие частоты и соответствующие им формы собственных колебаний пролетного строения для исправного состояния конструкции и при различных степенях повреждения поперечных швов, учитываемых в исходной модели снижением модуля упругости бетона швов. Результаты расчетов приведены в табл. 3 и на рис. 5.

Таблица 3

Расчетные значения параметров собственных колебаний ПС

Номер формы	Частота, Гц	Характеристика формы колебания
Исправное ПС		
1	5,50	Вертикальные
2	5,63	Крутильные плиты
3	7,32	Крутильные балок
4	12,6	*S*-образные с кручением
Средний шов разрушен		
1	3,77	Крутильные
2	4,37	Вертикальные
3	7,27	Со сдвигом плиты
Три шва разрушены (2, 4, 6)		
1	3,17	Крутильные (рис. 2, *а*)
2	3,84	Вертикальные (рис. 2, *б*)
3	6,44	*S*-образные с кручением (рис. 2, *в*)
Пять швов разрушены (1, 3, 4, 5, 6)		
1	2,92	Крутильные
2	3,48	Вертикальные
3	6,03	*S*-образные с кручением
Пять швов разрушены (2, 3, 4, 5, 6)		
1	2,85	Крутильные
2	3,39	Вертикальные
3	6,00	*S*-образные с кручением
Все швы разрушены		
1	2,73	Крутильные
2	3,34	Вертикальные
3	5,35	*S*-образные с кручением

В табл. 3 для исправного состояния конструкции приведены не три, как для остальных расчетных схем, а четыре формы колебаний, так как вторая и третья формы представляют собой крутильные колебания различного вида. Основной формой колебаний исправного пролетного строения являются вертикальные колебания. Колебания по второй форме являются

крутильными и связаны с перемещениями плиты и верхних поясов стальных балок. Крутильные колебания третьей формы выражаются крутильными колебаниями стальных балок.

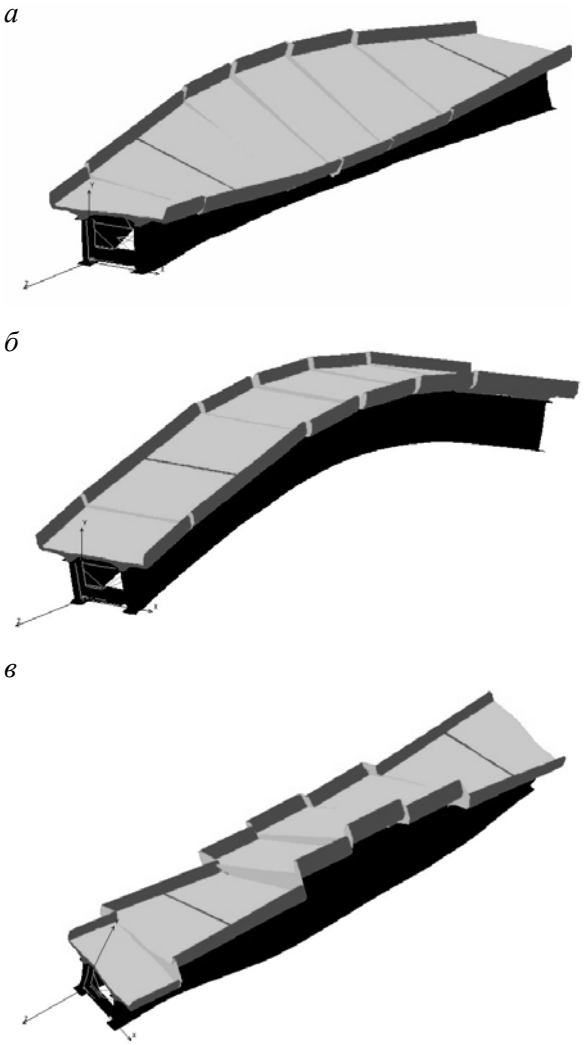


Рис. 5. Формы колебаний при трех разрушенных швах

В качестве примера в табл. 4 приведены расчетные значения низших частот собственных колебаний рассматриваемого пролетного строения при различном положении одного поврежденного шва омоноличивания плиты балластного корыта по длине пролета. Данные табл. 4 показывают, что частота зависит от положения дефектного шва относительно подвижной опорной части, расположенной в рассматриваемом примере – со стороны шва 7–8. Например, расчетные значения частот при расположении дефектных швов 2–3 и 6–7 симметрично относительно середины пролетного строения, не равны между собой и отличаются на величину порядка 4 %.

Таблица 4

Расчетные значения низших частот собственных колебаний ПС, Гц

Шов	Частота		
	Форма колебания		
	1	2	3
1-2	5,18	5,42	6,71
2-3	4,49	4,97	6,76
3-4	3,87	4,53	7,33
4-5	3,78	4,38	7,27
5-6	3,87	4,53	7,33
6-7	4,33	4,99	7,14
7-8	4,98	5,44	7,00

Из данных табл. 3 можно видеть, что изменение частоты собственных колебаний проявляется при различных комбинациях количества и расположения дефектных участков с пониженной жесткостью. В частности, для случая при пяти разрушенных швах, расположенных симметрично относительно середины пролета, частота колебаний составила 2,85 Гц, а при перемещении одного из разрушенных швов ближе к опоре – 2,92 Гц.

Сравнение полученных расчетом форм колебаний показало, что в зависимости от расположения разрушенных швов по длине пролета и их количества, меняются не только частота, но и форма колебаний низшего тона. Основной становится крутильная форма, а вертикальные колебания оказываются колебаниями второго тона. Этот факт указывает на то, что при измерениях параметров собственных колебаний эксплуатируемых пролетных строений полезно кроме частот получать информацию и о соответствующих им формах колебаний. Следует так же отметить, что частота первого тона собственных колебаний пролетного строения значительно (на 25…50 %) уменьшается при наличии дефектов в железобетонной плите, т. е. является «чувствительной» характеристикой, и ее использование для мониторинга технического состояния может оказаться перспективным.

Таким образом, можно констатировать, что для получения оперативной информации о техническом состоянии сталежелезобетонных пролетных строений можно использовать частоту собственных колебаний пролетного строения. Для ее измерения не требуется специальных условий. Запись виброграмм можно проводить после схода поезда с моста. Формы собствен-

ных колебаний конкретного сооружения являются дополнительным важным количественным источником информации для идентификации положения повреждений. Сравнивая расчетные (эталонные) значения динамических параметров, полученных на численных моделях с их измеренными значениями для конкретного пролетного строения, можно оперативно оценить объем повреждений железобетонной плиты. В случае обнаружения существенных отклонений измеренных частот от частот исправного сталежелезобетонного пролетного строения возникает необходимость в обследовании и, возможно, испытании конструкции специальной нагрузкой, что позволит определить ее фактическую несущую способность.

Для реализации предлагаемой технологии диагностики сталежелезобетонных пролетных строений необходимо провести дополнительные как натурные, так и численные эксперименты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Немировский Ю. В. Об оценке несущей способности сталежелезобетонных пролетных строений по результатам испытаний / Ю. В. Немировский, Л. Ю. Соловьев, Д. Н. Цветков // Вестник СГУПСа. – Новосибирск, – 2005. – Вып. 12. – С. 139–143.
2. Козятник И. И. Опыт испытания мостов с использованием автоматизированного измерительного комплекса // ВУЗы Сибири и Дальнего Востока ТРАНССИБу: Тезисы региональной научно-практической конференции – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2002.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.

УДК 624.191.1

Э. А. БОРИСОВ (ДИИТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЮБИНГОВЫХ КОЛЕЦ ТУННЕЛЯ

Пропонується методика знаходження просторового положення точок тюбінгових кілець, заснована на лінійно-кутових вимірах великої кількості точок у двох взаємно перпендикулярних площинах. Після обробки результатів вимірів одержують дані про зсуви центра і точок кільця щодо вихідних (проектних) величин.

Предлагается методика нахождения пространственного положения точек тюбинговых колец, основанная на линейно-угловых измерениях большого количества точек в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. После обработки результатов измерений получают данные о смещениях центра и точек кольца относительно исходных (проектных) величин.

The article proposes a method of finding spatial position of tubing rings on the basis of linearly-angular measurings of a larger number of points in two mutually perpendicular planes. After processing of measuring results, data are obtained about displacement of center and points of ring in relation to the initial (projected) values.

Определение параметров внутренней части тюбинговой обделки транспортных туннелей кругового очертания – диаметров, центров и эллиптичностей колец – является необходимым регулярным действием, поставляющим сведения о пространственном состоянии отдельных элементов туннеля. Используемая методика наблюдений дает представление о размерах горизонтальных, вертикальных и наклонных диаметров, не связанных с местоположением фактического центра кольца [1].

В [2] показано, что более емкую информацию о формах колец и направлениях сил внешнего воздействия на туннель может дать сравнительный анализ частных радиусов колец.

Для нахождения частных параметров кольца (центров окружностей для частей кольца, частных радиусов и полуэллиптичностей) обрабатывают большое количество координированных точек на полу, стенах и своде кольца (на рис.1 точки 1, Л, 2, 3, 4, П, 5, 6).

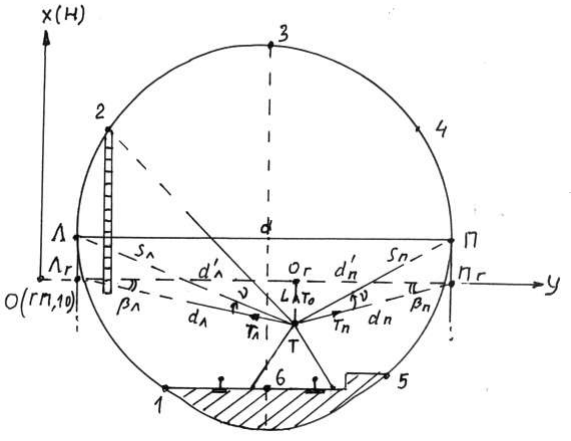


Рис. 1. Топосъемка тюбингового кольца

Для координирования точек кольца задается прямоугольная система координат с началом, снесенным за пределы кольца (во избежание отрицательных координат). Ось абсцисс направлятся по отвесной линии вверх, она совмещается с направлением аппликаты высотной системы туннеля ($X_i = H_i$).

Ось ординат перпендикулярна оси абсцисс, направлена от левой стороны туннеля к правой, а левой точке горизонтального диаметра кольца (т. Л) придается, например, значение $Y_{Л} = 10{,}000$ м.

Определение координат ведется с помощью теодолита (тахеометра), устанавливаемого в 4…10 м от кольца вблизи оси туннеля, мерного прибора (рулетка металлическая или лазерная) и нивелирной рейки (РНЗ).

1. Для получения ординат точек теодолит T наводят на левую точку $Л$ горизонтального диаметра кольца, маркируют ее и берут отсчеты по горизонтальному $N_{Л}$ и вертикальному V кругам. При том же вертикальном отсчете наводят трубу на правую точку ($П$) того же диаметра, маркируют ее и снимают отсчет $N_{П}$. Расстояния между точками T и $Л$ ($S_{Л}$), T и $П$ ($S_{П}$), $Л$ и $П(d)$ измеряют.

Затем трубу наводят на другие точки кольца (1, 2,…, 6) и снимают отсчеты по обоим кругам теодолита: N_i , V_i (последние – для аналитического вычисления абсцисс точек).

Вычисление ординат проводят в плоскости горизонта прибора (ГП), для этого переводят измеренные наклонные расстояния $S_{Л}$, $S_{П}$ в горизонтальные проложения

$$d_Л = S_Л \cos\upsilon\,, \quad d_П = S_П \cos\upsilon\,,$$

где $\upsilon = \upsilon$ (V, MO), MO – место нуля, и находят в плоскости ГП отрезок перпендикуляра L между точками T и $O_Г$ (рис. 2)

$$L = d_Л \sin\beta_Л = d_П \sin\beta_П\,,$$

где

$$\beta_Л = \arcsin\cdot\frac{d_П \sin T_П}{d}\,;$$

$$\beta_П = \arcsin\cdot\frac{d_Л \sin T_П}{d}\,;$$

$$T_П = N_П - N_Л\,.$$

Контроль

$$T_П = \arccos\cdot\frac{d_Л^2 + d_П^2 - d^2}{2 d_Л d_П}\,.$$

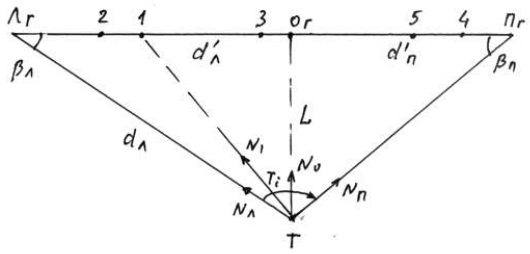


Рис. 2. Элементы измерений
в плоскости горизонта теодолита

Ординаты точек, расположенные в левой (углы $T_i < N_0$) и правой ($T_i > N_0$) частях кольца равны:

- для точек левой стороны

$$y_i = y_Л + d'_Л - L\,\mathrm{tg}\left(T_0 - T_i\right);$$

- для точек правой стороны

$$y_i = y_Л + d'_Л + L\mathrm{tg}\left(T_i - T_0\right),$$

где $T_0 = 90° - \beta_Л$; T_i – углы от левого конца горизонтального диаметра до точек кольца, спроектированных на плоскость ГП (линия $Л_Г = П_Г$).

$$d'_Л = d_Л \cos\beta_Л\,, \quad d'_П = d_П \cos\beta_П\,,$$

$$T_0 - T_i = N_0 - N_i = \left(T_0 + N_Л\right) - N_i\,.$$

2. Абсциссы точек кольца могут определяться: а) горизонтальным и б) наклонным лучами визирования.

В случае геометрического нивелирования (а) зрительную трубу теодолита устанавливают горизонтально, на точки кольца ставят рейку нижней или верхней пятками. Для точек, находящихся ниже плоскости ГП, абсциссы равны

$$X_i = H_i = ГП - N_i\,,$$

$$ГП = H_{Рп} + a\,,$$

где N_i, а – отсчеты по рейке, стоящей на i-х точках кольца и на репере.

Для точек, расположенных выше ГП, когда рейка ставится на точку верхней пяткой, получаем

$$X_i = H_i = ГП + (3000 - N_i)\,.$$

При установке рейки на верхние точки нижней пяткой (отсчет 0000) имеем

$$X_i = H_i = ГП + N_i\,.$$

Для случая тригонометрического нивелирования (δ) используются горизонтальные (T_i) и вертикальные (υ_i) углы точек:

$$X_i = H_i = ГП + h_i\,, \quad h_i = d_i \cdot tg\upsilon_i\,,$$

где

$$d_i = \frac{L}{\cos(T_o - T_i)}, \quad \text{если} \quad N_i < N_0$$

и

$$d_i = \frac{L}{\cos(T_i - T_0)}, \quad \text{если} \quad N_i > N_0\,.$$

Такая детальная топосъемка тюбинговых колец позволяет произвести вычисление частных параметров колец и получить геометрические характеристики деформированных участков туннеля [2; 3], что способствует разработке профилактических мер для предотвращения возможных нарушений тела туннеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Визиров Ю. В. Электронная съемка и обследование геометрии туннеля // Геодезия и картография, – 1999. – № 10.
2. Борисов Э. А. Восстановление геометрических параметров туннельной обделки // Современные пути развития маркшейдерско-геодезических работ…: Сб. трудов н.-т. конф. – Д., 1997.
3. Борисов Э. А. Исследование способов определения центра тюбингового кольца // Разработка рудных месторождений: Респ. межвед. н.-т. сб., – Кривой Рог, 1997. – Вып. 61.

Поступила в редколлегию 29.05.2007.

УДК 624.075.2

Е. И. ГАЛАГУРЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНЫХ И СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ НА ОСЕВОЕ СЖАТИЕ

Наведені результати іспиту тонкостінних сталевих і сталебетонних колон коробчатого перетину на центральний стиск. У ході експерименту були отримані критичні зусилля місцевої втрати стійкості сталевих колон і несуча здатність сталебетонних колон.

Приведены результаты испытания тонкостенных стальных и сталебетонных колонн коробчатого сечения на центральное сжатие. В ходе эксперимента были получены критические усилия местной потери устойчивости стальных колонн и несущая способность сталебетонных колонн.

The article reresents the outcomes of testing the thin-walled steel and steel-concrete pillars of box-like section for central compression. In the course of experiment critical efforts of local stability loss of steel pillars and carrying ability of steel-concrete pillars were received.

Задачи снижения металлоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, могут быть успешно решены путем применения конструкций с внешним армированием взамен стальных и во многих случаях железобетонных. Этому способствует ряд преимуществ сталебетонных конструкций, а именно: упрощение технологии изготовления; сокращение расходов на опалубку и закладные детали; простота сборки, ремонта и усиления; лучшая сопротивляемость в агрессивных средах; понижение высоты элементов за счет отсутствия защитного слоя и компактного расположения арматуры. Наиболее распространенными видами конструкций с внешним армированием являются колонны.

Автором выполнены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния сталебетонных колонн коробчатого сечения на осевое сжатие. Для проведения эксперимента было запроектировано и изготовлено четыре серии образцов по три образца в каждой серии в виде металлических колонн пустотелых и с заполнителем (в качестве заполнителя использовали бетон). Высота образцов: 400 мм (1, 2-й серий); 800 мм (3, 4-й серий). При этом 1, 3-я серии представляют собой пустотелые образцы, а 2, 4-я – с заполнителем, поперечные сечения экспериментальных образцов представлены на рис.1. Относительные размеры поперечных сечений $b/a = 1$. Толщина оболочки $\delta = 2$ мм. В образцах оболочка выполнена из стальной квадратной электросварной холоднодеформированной трубы.

Бетонирование опытных образцов 2 и 4 серий было выполнено в лаборатории кафедры «Строительная механика и гидравлика» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Для изготовления бетонной смеси составом по массе $1:1,\ 23:2,9$, при водоцементном отношении 0,38…0,4, использовался шлакопортландцемент Балаклейского цементно-шиферного комбината активностью 400, песок Безлюдовского карьера модулем крупности 1…1,4. В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень марки М-1200 (по прочности) фракции 5…10 мм. Контрольные и опытные образцы выдерживали в естественных условиях до набора ими 100 % прочности.

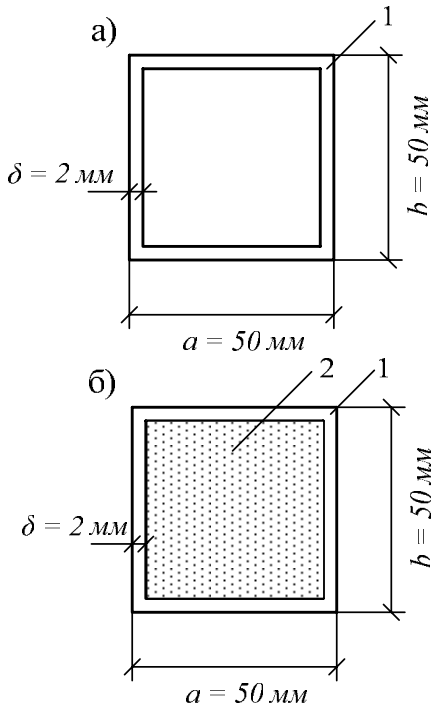


Рис. 1. Геометрические размеры поперечных сечений опытных образцов: *а* – образцы *1*, *3* серий; *б* – образцы *2*, *4* серий; *1* – квадратная оболочка; *2* – бетонное ядро

Для определения прочностных и деформативных характеристик применяемых материалов были проведены стандартные испытания. Прочность и деформативность бетона на сжатие определялись по результатам испытаний кубов $10\times10\times10$ см; предел прочности бетона на сжатие $R_b = 25$ МПа; модуль упругости бетона $E_b = 28{,}1\cdot10^3$ МПа. Деформативно-прочностные характеристики стали получены в результате испытаний на растяжение полосок размерами $20\times4\times0{,}2$ см в количестве трех штук. Предел текучести стали $\sigma = 343$ МПа.

Металлические колонны 1 и 2 серий испытывались на гидравлическом прессе ИП-2000. Испытание колонн 3 и 4 серий производились на прессе ПММ-125. Опорные устройства обеспечивали шарнирную схему закрепления образца. Схема загружения образцов представлена на рис. 2



Рис. 2. Схема загружении образцов

В процессе испытаний измерялись продольные и поперечные деформации. В образцах 1, 2, 3 и 4 серий по всему периметру среднего по длине сечения наклеивались тензодатчики в количестве 8 штук (4 – в продольном направлении и 4 в поперечном направлении). Для определения прогибов было установленно 2 индикатора (см. рис. 2). Отсчеты по приборам снимались на каждой ступени нагрузки один раз до уровня $N/N_{\text{пред}} \le 0{,}5$, а при $N/N_{\text{пред}} > 0{,}5$ дважды – сразу после установления необходимого уровня и после пятиминутной выдержки для фиксирования изменений деформаций во времени.

В ходе испытаний пустотелых колонн изучалась местная потеря устойчивости сжатых тонкостенных стержней прямоугольного сечения, были получены величины критических усилий местной потери устойчивости и предела несущей способности выпучившихся стержней, а также определены с помощью тензометрических измерений эпюры продольных до- и закритических напряжений в поперечных сечениях тонкостенных стержней и построены графики продольных и поперечных деформаций в двух сечениях.

В табл. 1 содержаться геометрические характеристики испытанных пустотелых образцов и результаты сопоставления с теоретическими расчетами. Как видно из приведенных в таблице результатов, теоретические расчеты критических напряжений и предела несущей способности дают избыточную, по сравнению с экспериментальным результатом, относительную ошибку, не превышающую 5 %. То, что полученные экспериментальным путем значения критических напряжений меньше теоретических, можно объяснить наличием начальных несовершенств в реальных стержнях. Ошибки в определении несущей способности можно отнести за счет специфического характера использованной в расчетах величины предела упругости $\sigma = 245$ МПа при остаточных деформациях не более 0,2 %, являющейся, по существу, условной границей между областями упругой и пластической работы материала стержней. Можно предположить, что в случае использования в расчетах напряжений физического предела упругости были бы получены более точные значения несущей способности стержней.

Таблица 1

Результаты испытаний пустотелых металлических колонн на центральное сжатие

№ серии	№ образцов	Эксперимент		Теория	
		$\sigma_{\text{пр}}$, МПа	N, кН	$\sigma_{\text{пр}}$, МПа	Погр., %
1	1	346	133	354	2,2
	2	338	132	354	4,5
	3	343	130	354	3,1
3	1	281	108	282	0,3
	2	286	110	282	1,4
	3	289	111	282	2,4

В экспериментальных исследованиях представленных в табл. 2 содержатся результаты испытаний сталебетонных коротких колонн на центральное сжатие.

Таблица 2

Результаты испытаний сталебетонных колонн на центральное сжатие

№ серии	№ образцов	Эксперимент	
		$\sigma_{пр}$, МПа	N, кН
2	1	355	155
	2	357	156
	3	348	152
4	1	326	137
	2	327	138
	3	322	136

Величины отношений средних напряжений в бетоне сталебетонной колонны к прочности неизолированного бетона зависят от размеров оболочки и ее толщины. Наиболее эффективно бетон работает в квадратной обойме. Как отмечалось ранее, причиной повышения прочности бетона в оболочке является боковое обжатие. Бетонное ядро испытывает неравномерное напряженное состояние, изменяющееся в зависимости от отношения сторон обоймы. Наиболее нагружен бетон в зонах, непосредственно прилегающих к углам сечения и расположенным по диагоналям. Здесь наибольшее боковое обжатие. По мере удаления от угловых зон и диагоналей боковое давление ослабевает.

Механизм разрушения тонкостенных металлических колонн, заполненных бетоном, представляется следующим: разрушение бетона в угловых зонах сечения приводит к исчезновению контактных сил в этих зонах сечения. Поскольку продольные напряжения в пластинах контура близки к $\sigma_т$, то уменьшение до нуля растягивающих контактных сил на этом участке, является причиной выпучивания пластины. В контуре с квадратным поперечным сечением пластины выпучиваются одновременно в одном сечении по длине образца.

Проанализировав результаты испытаний стальных и сталебетонных колонн, можно сделать вывод:

1. Стальные колонны с заполнителем из бетона отличаются от пустотелых колонн более рациональным использованием материалов, выражающемся в том, что бетонное ядро имеет повышенную прочность за счет бокового обжатия, создаваемого оболочкой.

2. Заполнитель, препятствуя местной потере устойчивости, увеличивает сопротивляемость контура. В этом случае контур работает как отдельные шарнирно-опертые пластинки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В. М. Устойчивость гибких железобетонных стержней под действием нескольких сжимающих сил / В. М. Бондаренко, Э. Д. Чихладзе // Прочность и деформативность железобетонных конструкций. – Харьков, 1969.
2. Тимошенко С. П. Устойчивость стержней пластин и оболочек. – М., 1971, – 808 с.

Поступила в редколлегию 04.12.2006.

УДК 624.072.22

Е. Ю. ГАЛАГУРЯ (Украинская государственная академия железнодорожного транспорта)

РАБОТА БЕТОННЫХ БАЛОК С ВНЕШНИМ ЛИСТОВЫМ АРМИРОВАНИЕМ

Наведено результати іспитів чотирьох серій бетонних балок. Експериментальні дослідження були виконані для того, щоб досліджувати спільну роботу бетону і сталевої пластини об'єднаної анкерами і клеєм різного типу.

Представлены результаты испытаний четырех серий бетонных балок. Экспериментальные исследования были выполнены для того, чтобы исследовать совместную работу бетона и стальной пластины объединенной анкерами и клеем разного типа.

The author presents the results of testing four series of concrete beams. The experiential trials were performed in order to study the joint work of concrete core and steel plate, united by the anchors and different types of glue.

В данное время в нашей стране и за границей все большее внимание уделяются исследованиям железобетонных конструкций с внешним армированием. Применение продольной полосовой арматуры разрешает значительно уменьшить строительную высоту балки, которая определяет экономичность решения при проектировании несущих конструкций перекрытий многоэтажных домов и пролетных сооружений мостов, уменьшить высоту сечения балки и снизить расход арматурной стали, увеличить жесткость и несущую способность. Так, экономия стали достигается вследствие выноса листовой арматуры на грань пересечения, отсутствия многорядного расположения арматуры по высоте сечения конструкции.

Однако гладкая полосовая арматура, применяемая в данное время для этой цели, не имеет достаточного сцепления с бетоном. Сцепление бетона с гладкой поверхностью полосовой арматуры не может обеспечить монолитность конструкции даже на первой стадии ее работы. В конструкциях с листовой арматурой механическая связь обеспечивается специальными анкерными устройствами.

Связям-анкерам полосовой арматуры с бетоном по длине контакта предоставляется первостепенное значение, так как надежная связь – анкернение служит гарантией эксплуатационной пригодности конструкции.

В бетонных балках с внешним армированием связь гладкой полосовой арматуры с бетоном за счет разных типов анкеров является решающей для обеспечения надежности работы конструкции под нагрузкой. Назначение связей: обеспечение монолитности работы такой конструкции, препятствие сдвигу полосовой арматуры относительно бетона и восприятие поперечных сил, действующих по наклонным сечениях.

В данной работе выполнены экспериментальные исследования двух серий балочных образцов с листовым армированием размерами $0{,}08\times0{,}15\times1{,}30$ м ($b\times h\times L$). В каждой серии было по шесть образцов. В качестве листовой арматуры использовались стальные полосы размерами $0{,}08\times0{,}0015\times1{,}30$ м и $0{,}08\times0{,}002\times1{,}30$ м, объединенные с бетонным телом балки для совместной работы: хомутами монтажной арматуры (1-я серия); петлевыми анкерами (2-я серия). Схемы армирования балок представлены на рис. 1, 2.

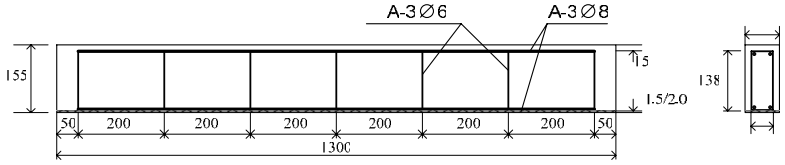


Рис. 1. Схема армирования балок 1-й серии

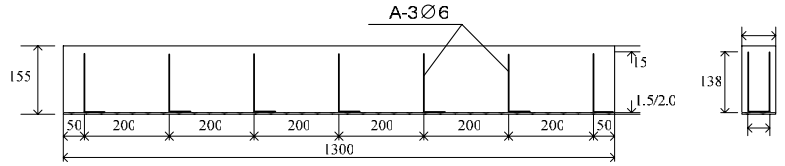


Рис. 2. Схема армирования балок 2-й серии

Целью предпринятых исследований было: определение деформативных характеристик объединения стального листа с бетоном; выявление закономерности распределения усилий, возникающих в плоскости соприкосновения листовой арматуры с бетоном; определение несущей способности и характера предельного состояния.

Работы по изготовлению опытных образцов были выполнены в лаборатории кафедры «Строительная механика и гидравлика» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Для изготовления бетонной смеси составом по массе 1:1,23:2,9, при водоцементном отношении 0,38…0,4, использовался шлакопортландцемент Балаклейского комбината марки 400, песок Безлюдовского карьера модулем крупности 1…1,4. В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень марки М-1200 (по прочности) фракции 5…20 мм.

Бетонирование осуществлялось в деревянной опалубке в горизонтальном положении при уплотнении вибрацией. Одновременно для определения деформативных и прочностных свойств бетона, были изготовлены бетонные кубы размерами 0,1×0,1×0,1 м в стандартных формах, по три штуки на каждую партию смеси. Контрольные и опытные образцы выдерживали в естественных условиях до набора ими 100 % прочности.

Нагружение опытных образцов производилось в соответствии со схемой, показанной на рис. 3, двумя сосредоточенными силами на машине ГРМ-1. Нагружение балки осуществлялось ступенями, после каждой из которых замерялись относительные деформации листовой арматуры, сжатого бетона, сдвиги между бетоном и листом. Деформации в стальном листе и бетоне замерялись методом электротензометрии с применением датчиков типа КФ 5П 1-20-100-А-12 с сопротивлением 99,8 ±0,1 Ом на базе 20 мм. Показания датчиков регистрировались прибором АИД-4. Электротензодатчики на бетон и сталь наклеивались после соответствующей подготовки мест установки. Величины сосредоточенных сдвигов измерялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01мм. Скорость нагружения в пределах ступени выдерживалась постоянной.

Для оценки влияния сил трения между листом и бетоном, возникающих у опор балки, была испытана вторая балка 1-й серии, в которой листовая арматура не доходила до опор и опирание осуществлялось непосредственно на бетонную часть, как показано на рис. 4, *б*. Испытание каждой второй балки серий проводилось для определения несущей способности и выявления характера предельного состояния.

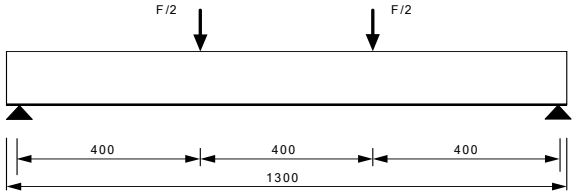


Рис. 3. Схема испытания опытных образцов

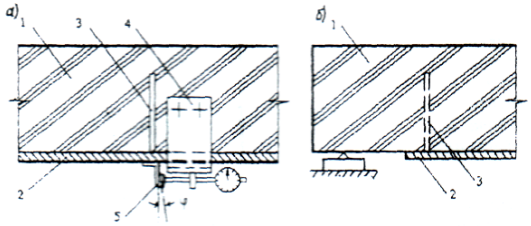


Рис. 4. *а* – измерение сдвиговых деформаций; *б* –опирание второй балки 1-й серии; *1* – бетон; *2* – внешняя арматура; *3* – анкер; *4* – скоба; *5* – уголок

В результате проведенных экспериментальных исследований сталебетонных балок получены сведения о деформировании анкеров в виде диаграмм «нагрузка-сдвиг», представленных на рис. 5.

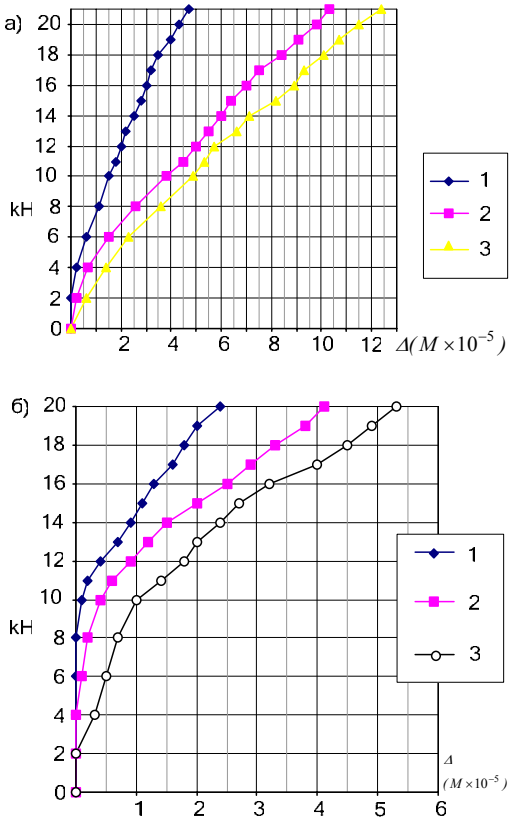


Рис. 5. Диаграммы деформирования анкеров и монтажных хомутов:
а – балки 1-й серии; *б* – балки 2-й серии; *1* – первый анкер от края балки; *2* – второй анкер; *3* – третий анкер

Вертикальные и наклонные анкера показали себя достаточно жёсткими на сдвиг связями. Максимальные деформации вплоть до разрушения балок не превысили $2 \cdot 10^{-4}$ м.

В предварительных испытаниях контрольных образцов бетона и стали были определены физические характеристики материалов: средняя прочность бетона при одноосном сжатии $R = 16$ мПа; модуль упругости листовой арматуры $E = 200000$ мПа; предел текучести при одноосном растяжении $\sigma = 267$ мПа.

Анализ закономерности распределения и перераспределения усилий (представленных на рис. 6) по контакту внешней арматуры с бетоном свидетельствует о том, что после образования трещин в бетоне стальной лист начинает работать как затяжка, стягивающая берега трещин. По этой причине распределение усилий в объединительном шве отличается от известных в теории составных стержней А. Р. Ржаницина [2] и характеризуется тем, что сначала в работу активно включаются связи сдвига, расположенные непосредственно вблизи трещин, и по мере их деформирования включаются остальные. Разрушение испытанных балок произошло по прочности нормальных сечений.

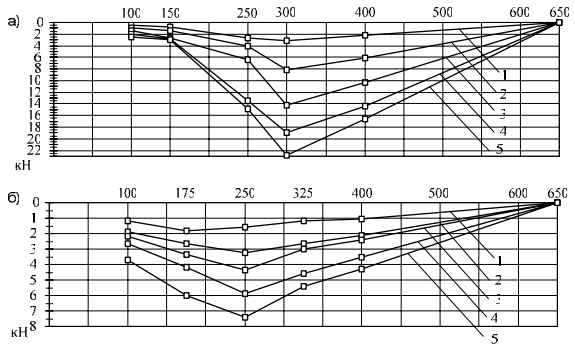


Рис. 6. Распределение сдвигающих усилий:
а – балки 1-й серии; *б* – балки 2-й серии; *1* – при нагрузке 4 кН; *2* – при нагрузке 8 кН; *3* – при нагрузке 12 кН; *4* – при нагрузке 16 кН; *5* – при нагрузке 20 кН

Несущая способность находилась в узких пределах, статистическая обработка позволяет утверждать, что значение предельной нагрузки с вероятностью 0,95 заключено в доверительном интервале 18,8…19,7кН.

В то же время значения жесткостей, полученные для различных анкеров одной и той же балки (табл. 1), в некоторой степени различаются. Отмеченный факт можно объяснить внецентренным приложением растягивающего усилия к стальному листу, в результате чего последний вместе с уголком 5 (см. рис. 4, *а*) мог получить незначительное угловое перемещение, искажающее измеренные индикатором величины сдвигов по контакту.

Таблица 1

Жесткость петлевых анкеров, т/м

№ балки	Порядковый номер анкера от торца балки			Среднее значение
	№ 1	№ 2	№ 3	
БП 1-1	$6 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^3$	$11{,}7 \cdot 10^3$
БП 2-1	$6 \cdot 10^3$	$14 \cdot 10^3$	$11 \cdot 10^3$	$10{,}3 \cdot 10^3$

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Петлевые вертикальные анкеры показали себя достаточно жесткими на сдвиг, связями. Максимальные деформации вплоть до разрушения балок не превысили 0,2 мм; значения экспериментально полученных жесткостей приведены в табл. 1.

2. Влиянием сил трения между бетоном и листом в приопорных участках можно пренебречь, так как они практически не изменяют напряженно-деформированного состояния контакта листа с бетоном и балки в целом.

3. Закон деформирования петлевых наклонных и вертикальных анкеров в условиях сдвига может считаться с некоторым приближением линейным, естественно, до предела его прочности, достижение которого должно считаться одним из критериев предельного состояния конструкции по прочности контакта.

4. Характер разрушения балок с внешним листовым армированием, при достаточной интенсивности объединения армирующего листа с бетоном, не отличается от характера разрушения обычных железобетонных балок.

В настоящее время с появлением и широким применении в строительстве эффективных клеящих средств находятся новые конструктивные решения элементов с внешним армированием, в том числе балок и плит с плоской листовой арматурой. Для определения прочностных характеристик клеевых соединений можно воспользоваться результатами исследований М. Н. Кисилиера [3]. В связи с этим готовятся к экспериментальным исследованиям еще две серии образцов, в которых объединение полосовой арматуры с телом балки осуществляется с помощью: эпоксидного клея ЭД-16 (состав: эпоксидная смола ЭД-16 – 100 ч. по массе, пластификатор дибутилфталат – 20 ч. по массе, отвердитель полиэтиленполиамин – 10 ч. по массе) (3-я серия); акрилового клея ЗС-3 (состав: эпоксидная смола ЭД-20 – 100 ч. по массе, КУС – 150 ч. по массе, цемент – 50 ч. по массе, отвердитель УП583 – 25 ч. по массе) (4-я серия). Схема армирования балок 3, 4-й серии представлена на рис. 7.

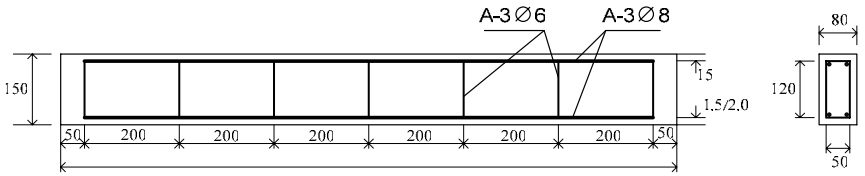


Рис. 7. Схема армирования балок 3, 4-я серии

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чихладзе Э. Д. Экспериментальные исследования сталебетонных балок / Э. Д. Чихладзе, А. Д. Арсланханов // Известия вузов. Строительство. 2000, – № 12. – С. 4–7.
2. Ржаницин А. Р. Составные стержни и пластинки. – М.: Стройиздат, 1986. – С. 316.
3. Кисилиер М. И. Клеевое соединение внешней клеевой арматуры при сдвиге // Бетон и железобетон. – 1977. – № 6 – С. 22–23.

Поступила в редколлегию 04.12.2006.

УДК 666.97:69.059.25

О. В. ГРОМОВА (ДІІТ)

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРИШАРОВИХ ЗРАЗКІВ ДЛЯ РІЗНИХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРІВ

Розглянуто застосування методу скінченно-елементного аналізу програмного забезпечення «ANSYS» для вирішення питань, пов'язаних зі структурною сумісністю матеріалів основи споруди – старого бетону і ремонтного матеріалу – нового бетону у разі різних співвідношень фізико-механічних властивостей шарів з метою теоретичного обґрунтування процесів зчеплення під час ремонту транспортних споруд.

Рассмотрено применение метода конечно-элементного анализа програмного обеспечения «ANSYS» для решения вопросов, связаных со структурной совместимостью материалов основания сооружения – старого бетона и ремонтного материала – нового бетона при различных соотношениях физико-механических свойств слоев с целью теоретического обоснования процессов сцепления при ремонте транспортных сооружений.

The article considers application of the software ANSYS finite-element analysis method for solving the issues related with structural compatibility of materials put in the basis of a construction – old concrete and repair material – new concrete at various ratios of physico-mechanical properties with the purpose of theoretical substantiation of coupling processes in repair of transport constructions.

Вплив природних та антропогенних агресивних факторів спричиняє зниження довговічності і несучої здатності штучних транспортних споруд. З метою подовження терміну служби штучних транспортних споруд необхідно прийняття радикальних заходів щодо вибору ремонтних матеріалів, а також способів відновлення, ремонту і захисту пошкоджених конструкцій. При цьому основним критерієм якості здійснення ремонту є сумісність, надійність та довговічність зчеплення ремонтного бетону з бетоном старої кладки [1–3].

Для вирішення поставленої задачі треба використовувати комплексний підхід, з урахуванням властивостей матеріалу споруди – старого бетону, з метою оптимізації фізико-механічних і адгезійних характеристик нового бетону для їх довговічної сумісної роботи. При цьому потрібно застосовувати сучасні ремонтні матеріали, вдосконалені технології ремонту для використання наукового підходу під час організації і в процесі виконання ремонтних робіт, можливість прогнозування довговічності ремонту, використовуючи способи математичного моделювання [2] складних конструкцій в експлуатаційних умовах.

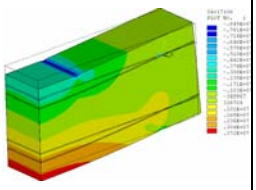
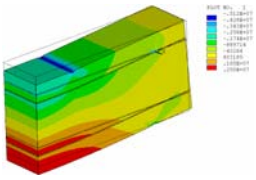
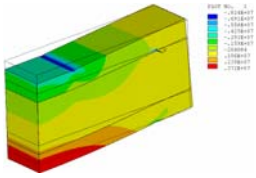
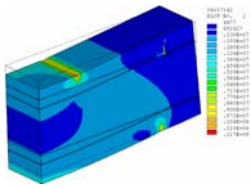
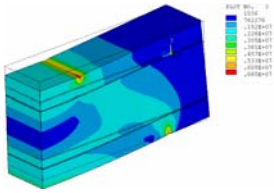
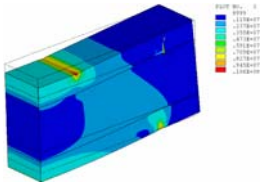
На основі вищенаведеного виконаний порівняльний структурний аналіз напружено-деформованого стану тришарових зразків для різних співвідношень фізико-механічних властивостей шарів. У табл. 1 наведені результати аналізу.

Таблиця 1

Порівняльний структурний аналіз напружено-деформованого стану тришарових зразків

Показники	Однакові властивості матеріалів шарів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів
Новий бетон:			
E , ГПа	30,00	19,20	30,00
$\sigma_р$, МПа	3,68	2,50	3,68
$\sigma_{ст}$, МПа	35,00	15,00	35,00
Приконтактний шар:			
E , ГПа	19,20	19,20	30,00
$\sigma_р$, МПа	3,68	2,50	3,68
$\sigma_{ст}$, МПа	35	15,00	35,00

Закінчення табл. 1

Показники	Однакові властивості матеріалів шарів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів	Різноманітні властивості матеріалу старого і нового бетонів
Старий бетон:			
E , ГПа	30	30,00	19,20
$\sigma_р$, МПа	3,68	3,68	2,50
$\sigma_{ст}$, МПа	35	35,00	15,00
Руйнівне навантаження, кгс	1164,8	890,06	1063,04
Максимальні напруги розтягу в подовжньому напрямку, МПа	3,72	2,50	3,72
Максимальне значення інтенсивності напруг, МПа	11,7	6,85	10,60
Поле нормальних напруг, Па			
Поле інтенсивності напруг зразка в цілому			

Тестування розробленої методики аналізу структурної сумісності матеріалів старого і нового бетонів проведена за результатами випробувань на відрив тришарових зразків і відповідного комп'ютерного аналізу граничного навантаження руйнування і характеру руйнування математичної моделі зразків.

Математична модель зразка для випробування на відрив розроблена в препроцесорі програми «ANSYS». Геометрична модель зразка передбачає введення спеціального контактного шару між матеріалами старого, нового бетону і металевого стержня, як показано на рис. 1, *а*. Генерована скінченно-елементна модель показана на рис. 1, *б*.

Навантаження задавалася у вигляді розподіленого тиску на верхній торець стержня (пуансона), як показано на рис. 2: $R_{зч} = S \cdot P = 785,4$ кг, S – площа прикладення розподіленого на навантаження, $S = 7,854 \cdot 10^{-5}$ м^2; P – інтенсивність навантаження $P = 0,1 \cdot 10^{-9}$ Па.

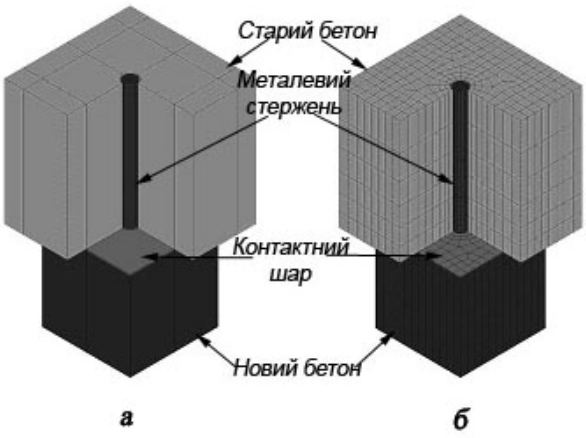


Рис. 1. Геометрична (*а*) та скінченно-елементна модель тришарового зразка (*б*)

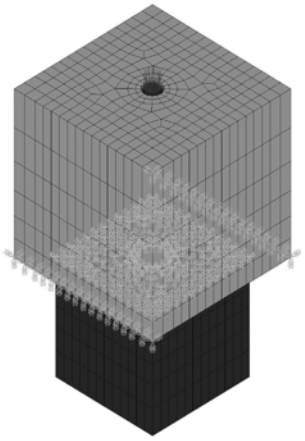


Рис. 2. Схема додання навантажень та граничні умови

Розглянемо випадки різних умов співвідношення фізико-механічних властивостей шарів складної моделі.

Умова рівності модулів пружності старого і нового бетонів. Фізико-механічні властивості старого бетону: $E_{\text{с}} = 3{,}12 \cdot 10^6$ Па ($4{,}52 \cdot 10^6$ psi) – модуль пружності старого бетону; $f_{\text{ст}}^{\text{с}} = 34{,}5 \cdot 10^6$ Па $= 34{,}5$ МПа (5002,9 psi) – межа міцності при стиску старого бетону; $f_{\text{р}}^{\text{с}} = 3{,}658$ МПа (530,48 psi) – межа міцності при розтягу старого бетону.

В табл. 2 наведено значення залежності деформацій старого бетону від напружень.

Таблиця 2

Залежність деформацій старого бетону від напружень

Показники	Од. вим	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	Psi	1501	–	–	–	5003
	MPa	10,4	22,1	29,9	33,6	34,5
ε, 10^{-4}	in./in	3,32	8,03	12,7	17,4	22,1

Фізико-механічні властивості нового бетону: $E_{\text{н}} = 3{,}15 \cdot 10^6$ Па ($4{,}568 \cdot 10^6$ psi) – модуль пружності нового бетону; $f_{\text{ст}}^{\text{н}} = 34{,}5 \cdot 10^6$ Па $= 34{,}5$ МПа (5133,4 psi) – межа міцності при стиску нового бетону; $f_{\text{р}}^{\text{н}} = 3{,}706$ МПа (537,36 psi) – межа міцності при розтягу нового бетону.

В табл. 3 наведено значення залежності деформацій нового бетону від напружень.

Таблиця 3

Залежність деформацій нового бетону від напружень

Показники	Од. вим	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	psi	1 540	–	–	–	5 133
	MPa	10,62	22,7	30,57	34,4	35,4
ε, 10^{-4}	in./in.	3,37	8,15	12,9	17,7	22,48

Експериментальні дані випробувань: $R_{\text{зч}} = 4{,}8$ МПа; $P = 240$ кг; характер руйнування – змішаний.

Умова, коли модуль пружності старого бетону значно більше модуля пружності нового бетону. Фізико-механічні властивості старого бетону: $E_{\text{с}} = 3{,}15 \cdot 10^6$ Па ($4{,}568 \cdot 10^6$ psi); $f_{\text{ст}}^{\text{с}} = 35{,}4 \cdot 10^6$ МПа (5133,4 psi); $f_p{}' = 3{,}706$ МПа (537,36 psi).

Залежність деформацій старого бетону від напружень наведена в табл. 4.

Фізико-механічні властивості нового бетону: $E_{\text{н}} = 2{,}75 \cdot 10^6$ Па; $f_{\text{ст}}^{\text{н}} = 25{,}71$ МПа (3728,25 psi); $f_{\text{р}}^{\text{н}} = 3{,}16$ МПа (457,95 psi).

Експериментальні дані випробувань: $R_{\text{зч}} = 4{,}8$ МПа; $P = 210$ кг; характер руйнування – по новому бетону.

Залежність деформацій старого бетону від напружень наведена в табл. 5.

Таблиця 4

Залежність деформацій «старого» бетону від напружень

Показники	Од. вим.	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	Psi	1540,0	–	–	–	5133,0
	MPa	10,6	22,7	30,6	34,4	35,4
ε, 10^{-4}	in./in.	3,4	8,2	12,9	17,7	22,5

Таблиця 5

Залежність деформацій нового бетону від напружень

Показники	Од. вим.	Етапи навантаження				
		1	2	3	4	5
σ	psi	1119	–	–	–	3728
	MPa	7,71	16,5	22,3	25	25,7
ε, 10^{-4}	in./in.	2,8	6,8	10,8	14,7	18,7

У результаті розрахунку за умов рівності модулів пружності старого і нового бетонів збіжність ітераційного процесу рішення задачі припинилася при 36,47 % від максимального навантаження. Розрахункові навантаження руйнування таким чином склали 268,7 кг. Зусилля руйнування, одержані в експерименті, склали 240 кг. Похибка визначення граничного навантаження (по відношенню до експериментально встановленого навантаження) склала 11 %.

У результаті розрахунку за умов, коли модуль пружності старого бетону значно більше модуля пружності нового бетону збіжність ітераційного процесу рішення задачі припинилася при 26,454 % від максимального навантаження. Розрахункові навантаження руйнування склало 207,8 кг. Зусилля руйнування, одержані в експерименті, склали 210 кг. Похибка визначення граничного навантаження (по відношенню до експериментально встановленого навантаження) склала 1,05 %.

Висновок

1. На підставі проведеного аналізу і можливостей регулювання різних умов властивостей контактуючих шарів старого і нового бетонів, розглянутих вище, метод математичного моделювання скінченно-елементного аналізу може бути ефективно застосований для вирішення задач дослідження структурної сумісності матеріалів з різними фізико-механічними властивостями при значеннях похибки теоретичного та експериментального розходження у припустимих межах.

2. Для оптимізації властивостей ремонтного матеріалу для структурної сумісності необхідно, щоб модуль пружності нового бетону був менший або дорівнював модулю пружності старого бетону [1; 3].

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Morgan D. R. Compability of concrete repair materials and systems // Construction and Building Materials. – 1996. – Vol. 10. – No. 1. – P. 57–67.
2. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
3. Пшінько О. М. Бетони з підвищеними адгезійними властивостями / О. М. Пшінько, О. В. Громова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, – Д., – 2004. – Вип. 3. – 5 с.

Надійшла до редколегії 05.07.2006 р.

УДК 332.834

Р. Б. ТЯН, В. Р. МЛОДЕЦКИЙ (ДИИТ), Б. Г. КЛОЧКО (ПГАСА)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТОМ

Сформований новий об'єкт дослідження – система «організація-проект». Доведена можливість застосування основних положень функціональних систем і еволюційної теорії для вивчення процесів функціонування такої системи.

Сформирован новый объект исследования – система «организация-проект». Доказана возможность применения основных положений функциональных систем и эволюционной теории для изучения процессов функционирования такой системы.

A new object of research – the «organization-project» system – has been generated. The opportunity of applying the basic provisions of functional systems and the evolutionary theory for studying the processes of such system functioning has been proved.

Процесс управления проектом представляет собой сложный комплекс действий, имеющих целью материализовать проектные решения в заданные сроки и за счет этого обеспечить приемлемые показатели эффективности инвестированных в этот проект средств. В качестве системы управления проектом рассматривается кибернетическая система укрупненно состоящая из объекта и субъекта управления, объединенная в единый функционизирующий комплекс информационными каналами прямой и обратной связи. В соответствии с этим, с одной стороны – проект, как объект управления, имеет индивидуальные качества, характеризующие возможности его реализации в конкретных условиях в определенный промежуток времени, с другой стороны – организация, выступающая как субъект управления, обеспечивающая реализацию данного проекта, характеризуется индивидуальными качествами, определяемыми опытом работы, уровнем менеджмента и пр.

Следовательно, результат, связанный с реализацией проекта, зависит не столько от качества элементов системы, сколько от функционирования самой системы «организация – проект». Таким образом, мы приходим к заключению, что не только качественные показатели проекта и характеристики организации определяют результат, а также (и может быть в первую очередь) и синергический результат функционирования этой системы. С таких позиций представляется возможным систему рассматривать как функциональную, со своими интегрированными информационными потоками, компромиссными целями, гибкими целенаправленными изменениями структур управления, которые обеспечивают нахождение организации на репродуктивных этапах своего жизненного цикла. Такая организация должна воспроизводить на репродуктивном этапе прежде всего конкурентоспособный товар, с которым эта организация присутствует на рынке, современную технологию, которая способна обеспечить эти конкурентные качества товара, прогрессивные научные разработки, закладываемые в технологии. Все это в целом характеризует «эволюционные» качества организации, ее адаптационные возможности приспосабливаться к изменяющимся условиям хозяйствования.

Таким образом, система «организация – проект» выступает как самостоятельный объект исследования и проблема заключается в выявлении и изучении процессов, обеспечивающих динамическое эволюционное ее развитие. Целью данной работы является обоснование возможности применения для исследования данной проблемы положений смежных наук: теории функциональных систем, биологической эволюционной теории.

Сам по себе проект является комплексным средством обеспечения организацией своего экономического, технологического, организационного развития. Для этого организация должна инициировать инновационные процессы, обеспечивающие условия для разработки и реализации качественно новых технических, экономических, организационных решений, которые закладывают конкурентную устойчивость данной организации на перспективу, определяющую период реализации стратегических целей. Очевидно, что инновационный процесс является инвестиционным, так как инвестиции, их объем, структура (собственные, заемные или смешанные), график выделения определяют финансовую реализуемость инно-

вационных программ. Эти программы ограничены во времени, предназначены для целенаправленного изменения отдельной системы и должны обеспечивать достижение конкретных результатов, сбалансированных по ресурсному обеспечению, а также требуют специфической организации работ (подпрограмм). Анализ перечисленных качественных признаков показывает, что эти программы попадают под определение «проект» [1; 2].

Так же отдельным объектом исследования в ряде работ выбирается «строительный» проект [3; 4]. В этой связи логическим является определение внутренней «субординации» этих проектов – логики их взаимной обусловленности [5].

Период жизненного цикла проекта разделяется на типичные этапы от зарождения, становления, зрелости, устойчивого развития до старения. Однако можно отметить, что для проекта НИОКР и строительного, этап «старения» вряд ли применим. Их период жизненного цикла ограничивается этапом становления инвестиционного проекта, составной частью которого они выступают. Эти проекты образно можно рассматривать как «разгонные», выводящие инвестиционный проект на этап траектории, обеспечивающий генерирование собственных денежных поступлений.

Продолжительность инновационного проекта может быть ограничена моментом наступления морально устаревшего объекта инновации и определяется наступлением этапа старения, выхода траектории жизненного цикла на устойчиво ниспадающий участок. Логика взаимосвязи (очередности) проектов определяется стратегией организации, в составе которой реализуются эти проекты, направленной на поддержание устойчиво стабильного уровня траектории жизненного цикла организации в целом.

Таким образом, для организации проект (без установления его вида) является объектом управления, обеспечивающий сохранение организацией своих эволюционных качеств. Способность организации генерировать жизнеспособные проекты повышает, в конечном счете, и ее «жизненный» потенциал по аналогии с тем, как сложный организм растет и развивается, пока его клетки в состоянии делиться и увеличивать количество «здоровых» клеток. Для организации проект можно рассматривать как средство, обеспечивающее воздействие на внешнюю среду. Предметом такого воздействия является товар, идея которого закладывалась и разрабатывалась на этапе НИОКР.

Строительный проект закладывает техническую основу для реализации этой идеи, а инвестиционный проект обеспечивает научно-техническую, ресурсную, финансовую, экономическую, организационно-технологическую его реализуемость. Из этой совокупности проект по разработке НИОКР и строительный можно рассматривать как элементарные, все остальные – сложные.

Проекты НИОКР и строительные в отличие от других проектов являются, по отношению к инвестиционному, чисто затратными, так как их реализация только создает условия для формирования возвратного потока поступлений от операционной деятельности. В свою очередь, инновационный проект можно рассматривать как часть инвестиционного проекта, причем их периоды жизненного цикла могут определяться неравенством $T_{\text{жц}}^{\text{инв.п}} \geq T_{\text{жц}}^{\text{инов.п}}$.

Условие равенства имеет место тогда, когда период морального устаревания объекта инновации (технологии, товара) совпадает с этапом жизненного цикла инвестиционного проекта, соответствующий этапу старения и экономической нецелесообразности дальнейшего выпуска данного товара как продукта устаревшей технологии. Показателем эффективности инвестиционного проекта является возврат инвестированных сумм, процентов по финансовым обязательствам и обеспечение инвесторам ожидаемой доходности на инвестированный капитал. Данная ситуация имеет место в высокотехнологических областях, у которых период морального устаревания достаточно короткий. В других областях $T_{\text{жц}}^{\text{инв.п}} > T_{\text{жу}}^{\text{инов.п}}$ и продолжается до тех пор, пока новые товары (технологии)-заменители с более высокими потребительскими качествами не завоюют массового потребителя.

При таком рассмотрении проектов, как системы, их можно представить в виде совокупности подсистем (отдельные проекты), которые объединены информационными процессами. Так как каждый из проектов локально целенаправлен, то их ориентация должна обеспечивать достижение стратегической цели системы в целом. Задача состоит в том, чтобы построить такую модель управления, с помощью которой можно было бы исследовать влияние различных факторов на эффективность ее действия и синтезировать параметры системы, при которых процесс обеспечивал бы достижение поставленных целей (заданных показателей эффективности).

Следует заметить, что данная система проектов имеет иерархическое построение, цель которой обеспечить нахождение организации, как субъекта управления этой системой, на репродуктивных участках траектории жизненного цикла. Таким образом, основная цель этой системы обеспечить условия успешного функционирования организации.

Ниже по приоритету инновационный проект, далее – инвестиционный и проекты НИОКР, а также строительный (как элементарные) находятся на нижнем уровне. В работе [6] рассматриваются принципы организации систем. Проведем анализ и посмотрим: соответствует ли наша система основным из этих принципов и если да, то построение проектов в иерархическую систему было корректным.

Первый принцип – принцип взаимодействия. Как известно в иерархических структурах элемент на среднем уровне выполняет две функции. Он является субъектом управления по отношению к элементам на нижнем уровне и одновременно сам является объектом управления по отношению к высшему уровню. Ставится задача, как должны быть связаны (имеется в виду информационно) два смежных уровня, чтобы вся система составила гармоничное целое. Не вдаваясь в детали, можно отметить, что рассматриваемая система проектов отвечает этому условию.

Второй принцип – принцип оптимальной связи между системами (подсистемами, элементами), находящимися на одном и том же уровне. Для иерархических систем существует некоторая «оптимальная» степень связи между подсистемами на одном уровне. Оптимальность понимается в том смысле, что увеличение степени связи облегчает достижение цели данного уровня, одновременно ослабляя систему в целом, то есть снижается общее качество системы и при этом появляется тенденция к дезинтеграции. Из этого делается вывод: чрезмерно большая степень связи так же, как и нарушение связи, может привести к дезинтеграции многоуровневой иерархической системы. Из этого принципа следует, что его реализация возможна при сбалансированности локальных целей в рассматриваемой системе.

Критерии оценки эффективности проектов должны быть сопоставимы и качество выполнения проекта нижнего уровня должно повышать качество проекта высшего уровня. В этом заключается проблема разработки единой метрики оценки эффективности достижения локальных целей и разработки организационно-экономической модели, позволяющей прогнозировать влияние достигнутой сегодня локальной цели на будущие цели как проекта высшего уровня, так и организации в целом. Данный принцип в рассматриваемой системе может быть реализован через эффективную внутрисистемную структуру управления, координирующую реализацию проектов в оперативном, текущем, перспективном, временных периодах.

С экономической точки зрения, длительность жизненного цикла инновационного проекта может быть определена как дисконтированный срок окупаемости инвестиционных затрат в НИОКР и строительный проект. Как отмечается в работе [7], основной недостаток срока окупаемости, простого или дисконтированного, состоит в том, что он игнорирует денежные потоки, получаемые после окупаемости первоначальных расходов. То есть, он не отображает полностью временную протяженность проекта. И это касается не только данного показателя, но и всех остальных классических показателей, по которым оценивается эффективность проекта NPV (чистая приведенная стоимость), IRR (внутренняя норма рентабельности) и прочие характеризующие конкретный проект в целом и использующиеся для выбора альтернативных проектов.

Как отмечалось выше, все реальные процессы подвержены воздействию «внешней среды», ее поведение по отношению к организации является объективным и поэтому рассматривается как неуправляемые, его последствия проявляются в отклонении реально достигнутых показателей от плановых. Таким образом, и на это в последнее время обращает внимание все большее число исследователей, экономические, организационно-технологические, ресурсные и другие процессы, обеспечивающие реализуемость проектов должны рассматриваться не как детерминированные, а как безусловно вероятностные.

Управление проектами – это процесс повышения надежности структуры организации, ориентированной на проект. Информационной основой управления являются результаты проявлений различных вероятностных процессов в сферах производства и управления. Управление проектом может быть определено как действие по координированию людей, использованию строительной техники, оборудования, контроль за расходованием материалов и оперативный учет динамики формирования показателей эффективности проекта при заданных сроках его реализации в пределах ограниченного бюджета и безусловном выполнении качественных требований заказчика [3].

Каждая задача управления – это обеспечение достижения поставленной цели при реализации показателей экономической эффективности, приемлемых для организации и формирующих для нее предпринимательский интерес к достижению желаемого результата. В этом случае привлекательна не сама цель, а обеспечение определенной выгоды (экономической, социальной) от ее достижения. Поэтому управление, как процесс, обретает двойственную направленность:

– в стратегическом плане – стремление к конечной цели;

– в экономическом – это анализ накопленного за предыдущие этапы реализации проекта баланса положительных и отрицательных факторов, количественным измерителем которых являются расчетные показатели экономической эффективности реализации проекта за прошлый временной период.

Выполнение такого анализа позволяет постоянно контролировать экономическое состояние по этапам проекта и прогнозировать вероятность достижения конечных показателей эффективности. Если накопленный к определенному этапу негативный эффект уже не может быть компенсирован вероятным будущим положительным, то это серьезное основание пересмотреть стратегические цели проекта.

Решение проблем управления проектом чаще всего осуществляется на базе положений классических теорий финансового анализа, менеджмента, маркетинга, организационно-технологической надежности и пр. Однако при этом возникает опасность, что из-за чрезмерной специализации в рассмотрении отдельных вопросов комплексного процесса управления проектом, теряется целостное восприятие объекта управления, локальные цели могут решаться в ущерб стратегическим. Для устранения этого методологического недостатка, при исследовании сложных динамических (изменяющихся во времени) систем, все чаще обращаются к теоретическим положениям смежных наук, основные положения которых могут быть трансформированы к изучению процессов развития организации, ее способности генерировать и реализовывать проекты, как средство повышения экономической жизнеспособности, продлевания активных (репродуктивных) этапов жизненного цикла. В качестве таких базовых теоретических положений в настоящее время используются положения биологической эволюционной теории [5], теории функциональных систем [8], рассмотрение проблем системотехники с позиций биологических систем [9; 10], применение положений разделов кибернетики, посвященных изучению систем с искусственным интеллектом, к описанию процессов, протекающих в организационных структурах управления.

Сегодня отечественные и зарубежные исследователи обращаются к эволюционному направлению развития организаций [5]. В свою очередь, современная биологическая эволюционная теория может быть использована в организационных исследованиях на метатеоретическом уровне. С эволюционной ориентацией в рамках организационной теории связан, прежде всего, популяционно-экологический подход. Суть этого метода состоит в стремлении перенести аналогии из сфер биологической эволюционной теории в теорию организации.

В этой связи рассматривается модель развития «вариация–отбор–сохранение». Составные части модели имеют три стадии: изменение, отбор и сохранение полезных признаков. С позиции этой теории объектом исследования является популяция организаций. С одной стороны, организации характеризуются общей структурой (организационной формой), аналогично фенотипу в биологии. С другой стороны, каждая из них по аналогии с генами живых существ обладает набором отличительных признаков – «компасами», которые образуют базовый материал (генотип) для этапов развития.

Применяя основные положения биологической эволюционной теории к теории организации, можно сказать, что организация, проходя через все этапы развития, проявляет определенные эволюционные признаки (табл. 1) [11].

Определение искусственного интеллекта, данное Амосовым Н. М.: гласит[1] «Искусственный разум – это искусственная моделирующая установка, претендующая на сравнение с естественным. Такая установка должна состоять из некоторых элементов и подсистем, составленных определенным образом».

Проведем попарное сравнение признаков системы, рассматриваемой как «искусственный разум» [12] и соответствующего описания аналогичного признака, свойственного организационной структуре управления (табл. 2).

Изучение законов функционирования организации с позиций теории функциональных систем и системотехники впервые предприняли П. К. Анохин и А. А. Гусаков [8]. «…Под функциональной системой мы понимаем такое сочетание процессов и механизмов, которое, формируясь динамически в зависимости от данной ситуации, нерпеменно приводит к конечному

приспособленческому эффекту, полезному для организма как раз в этой ситуации», – пишут они и далее: – «Множество структур организовано так, что существует иерархия порядка между элементами i-го более высокого уровня и элементами (i +1)-го уровня. Причем несколько элементов низкого уровня могут быть отнесены к некоторому одному элементу более высокого уровня». Если рассматривать организационную структуру управления ОСУ с позиций функциональных систем, то для активно функционирующих и особенно развивающихся организаций структура управления должна иметь некоторую консервативную часть и часть, которая в состоянии приспосабливаться к изменяющимся условиям хозяйствования.

Таблица 1

Сравнение признаков эволюционного развития

Биологическая система		Организационная система	
1. Образование внутренней самоорганизации	В основе эволюционных процессов лежит свойство сложных систем самопроизвольно упорядочивать свою внутреннюю структуру путем усиления жесткости и дальности взаимосвязей структурных элементов, названное самоорганизацией	Формирование сферы предпринимательских интересов	Происходит формирование набора областей хозяйствования, исходя из профиля организации и прогноза состояния внешней среды, а затем – приспособление к внешней среде
2. Образование структуры с устойчивыми внутренними связями	В процессе самоорганизации упорядоченность системы увеличивается, что согласно второму закону термодинамики возможно только за счет роста энтропии собственных элементов и соседних систем. Под влиянием таких разрушительных антиэнтропийных связей конкурирующие системы или подсистемы либо увеличивают упорядоченность, либо разрушаются	Формирование качеств организации и внедрение в рынок	Постепенное занятие своей ниши на рынке и вытеснение конкурентов. Выживают более сильные конкуренты путем обеспечения кратковременного и быстрого успеха, а слабые уходят с рынка

Таблица 2

Сравнение признаков, характерных для систем с искусственным интеллектом и организационных структур управления

Определения по Амосову Н. М.	Свойства ОСУ
Искусственный разум – это искусственная моделирующая установка … (которая) должна состоять из нескольких элементов и подсистем, составленных определенным образом. Именно в этих элементах и будут заложены качества, обеспечивающие выделение сложной информации. Элементы выделяют простую информацию, а сочетания из них – сложную	ОСУ – это иерархическая система, состоящая из упорядоченного по информационным потокам управленческих звеньев, сгруппированных по уровням и функциям управления. Звенья $n-1$ уровня управления генерируют по отношению к уровню n простую информацию. Уровень n обрабатывает ее и передает на $n+1$ уровень укрупненную (сложную) информацию
…искусственная система должна обладать рядом программ, соответствующих программам поведения человека, главным образом интеллектуального поведения. «Создание искусственного разума сводится к созданию программ для универсальных машин или конструированию специальных устройств, могущих воспринимать воздействия и выделять из них информацию, на основании которой обеспечивалось бы целесообразное воздействие на внешний мир». Переработка информации заключается в превращении одних моделей в другие	Роль и значение каждого звена в ОСУ определяется сбалансированной по функциям системой должностных инструкций и положений, которые определяют зону ответственности этого звена и обозначают их место в информационных потоках ОСУ. Система оперативного контроля обеспечивает адекватное действительности восприятия внешней среды и в соответствии с этим производится корректировка внутренних моделей в виде оперативных, текущих и перспективных планов

В теории функциональных систем это соответствует принципам иерархического доминирования, мультипараметрического и последовательного взаимодействия [8]. В каждый данный момент времени доминирует ведущая в социальном и биологическом плане функциональная система. Другие функциональные системы способствуют ее деятельности. Мультипараметрическое взаимодействие означает кооперативное взаимодействие результатов их деятельности:отклонение результата деятельности одной функциональной системы от уровня, определяющего нормальную жизнедеятельность, ведет к динамическому перераспределению связанных с ним результатов деятельности других функциональных систем.

Иерархическое и мультипараметрическое взаимодействие функциональных систем строятся на основе информационной синхронизации. На этих позициях проф. А. А. Гусаковым разработаны основные положения информационной системотехники технологических процессов и объектов в книге [10]. Обращается внимание на то, что определение надежности, в терминах результата, предполагает в необходимых случаях для обеспечения заданной надежности структурную перестройку системы и функциональную подмену одних элементов (ненадежных, отказавших) другими элементами, выполнявшими ранее другие функции. Как видно из анализа этих работ, предметом исследования в них являются информационные потоки. Именно особенности формирования информационных потоков в функциональных системах определяют их индивидуальность при типовой структурной однотипности [11].

Результаты функционирования системы: «организация-проект» определяются комплексом взаимосвязанных внутренних и внешних факторов, появление которых обеспечивает информационное наполнение каналов связи между структурными элементами такой системы. В этом проявляется объективная сторона данного процесса. Субъективная, которая определяет индивидуальные качества организации, проявляется в управленческой реакции осуществляемой по результатам обработки этого информационного потока.

Выводы

Сформирован новый объект исследования – система «организация-проект». Для расширения теоретической базы изучения процессов функционирования такой системы принципиально доказана возможность применения основных положений смежных наук: функциональных систем, эволюционной теории.

На базе новой методологической базы представляется возможность ставить задачи и решать новые проблемы развития организации в части сохранения ее эволюционных свойств, как основы обеспечения высоких конкурентных качеств.

БИБЛИОГАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мир управления проектами / Под редакцией Х. Реше, Х. Шелле. – М.: «Альянс», 1994. – 304 с.
2. Кочетков А. И. Управление проектами: Зарубежный опыт / А. И. Кочетков, С. Н. Никешин и др. – СПб.: «Два–три», 1993. – 320 с.
3. Залунин В. Ф. Стратегия и тактика строительной фирмы в условиях рынка // Придніпровський науковий вісник. – Д., 1998. – 240 с.
4. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, А. В. Гизберг, С. А. Временко и др. – М.: Стройиздат, 1994. – 470 с.
5. Млодецкий В. Р. Эволюционные признаки развития организации / В. Р. Млодецкий, В. Ю. Бажанова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д.: ПДАБтаА, 1999. – № 7. – С. 9–11.
6. Дружинин Г. В. Надежность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 420 с.
7. Коллас Б. Управление финансовой деятельностью предприятия. Проблемы, концепции и методы. – М.: Финансы, ЮНИТИ, 1997. – 576 с.
8. Информационные модели функциональных систем / Под общей ред. проф. К. В. Судакова, проф. А. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2004. – 304 с.
9. Анохин П. К. Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. – М.: АН СССР, 1974. – 60 с.
10. Системотехника / Под ред. А. А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – 768 с.
11. Млодецкий В. Р. Энтропийные характеристики организационных систем // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д.: ПДАБА, 2004. – № 9. – С. 49–55.
12. Млодецький В. Р. Интеллектуальные качества организационных структур управления // Новини науки придніпров'я: Науково практичний журнал – Д.: ПДАБА, 2004. – № 5. – С. 14–20.

Поступила в редколлегию 02.09.2006.

УДК 69.06:658.012.2

М. І. МАЛЬКОВ, А. В. РАДКЕВИЧ, О. О. СТЕПАНЕНКО (ДИИТ)

БОЄЗДАТНІСТЬ ОРГАНІВ УПРАВЛІННЯ ДЕРЖСПЕЦТРАНС-СЛУЖБИ ПРИ ПЕРЕХОДІ ЇХ З МИРНОГО НА ВОЄННИЙ СТАН

Досліджено залежність втрат виробничих можливостей від працездатності органів управління, в результаті чого розроблена методика індивідуальної оцінки кваліфікації посадових осіб та визначення рівня професійної підготовки органу управління в цілому з врахуванням значущості його структурних елементів.

Исследована зависимость потерь производственных возможностей от работоспособности органов управления, в результате чего разработана методика индивидуальной оценки квалификации должностных лиц и определения уровня профессиональной подготовки органа управления в целом с учетом значимости его структурных элементов.

The article studies dependence of production capabilities losses on the efficiency of managing bodies and on this basis developes a method of individual qualification assessment of the officials and determination of the professional level of the managing body as a whole, taking into account the significance of its structural elements.

Збройні сили України та Держспецтрансслужба відповідно до прийнятої і реалізованої військової доктрини у мирний час утримуються в чисельності, що забезпечує підтримку в постійній бойовій готовності тільки мінімально необхідної кількості з'єднань і частин і вміст бази мобілізаційного розгортання.

Досвід показує, що з'єднання і частини Держспецтрансслужби після переходу (відмобілізування і переходу) з мирного на воєнний стан до моменту завершення бойового злагодження не завжди можуть вважатися повністю боєздатними. Це відноситься як до органів управління, так і до виробничих підрозділів. За даними деяких фахівців, виробничі підрозділи приблизно через добу-дві робіт на реальних об'єктах досягають штатної продуктивності, а органи управління стають повністю працездатними тільки на третю-четверту добу для батальйонної ланки.

Якщо після відмобілізування всі частини об'єднаного загону (обз) укомплектовані особовим складом, технікою й озброєнням у відповідності зі штатом, то всі заходи мирного часу по забезпеченню бойової і мобілізаційної готовності виконані в повному обсязі. Бойова і мобілізаційна готовність для такого формування досягнута.

Отже, всі окремі частини (обз) у цьому випадку мають штатні виробничі можливості. Однак у дослідженнях В. П. Гладких, Х. И. Камалова, Е. И. Шехтмана переконливо показано, що в даному випадку мова йде про досягнення тільки продуктивності спеціалізованих комплексів або окремих підрозділів. Це означає, що теоретично (не приймаючи до уваги рівень кваліфікації фахівців в екіпажах і розрахунках) сумарна продуктивність структурних підрозділів може тільки наближатися до штатного нормативу для цієї частини. Можна зробити висновок, що реалізація потенційних виробничих можливостей істотно залежить від рівня організації виробництва, тобто від управління цим процесом

$$SW_{ij,\tau} = \Psi_\tau \left(SП_{ij,\tau} \right), \qquad (1)$$

де $SW_{ij,\tau}$ – виробничі можливості i-го 'єднання j-й частини на день періоду τ; Ψ_τ – узагальнений показник групи організаційних факторів у тому числі управління на день періоду τ; $SП_{ij,\tau}$ – сумарна продуктивність виробничих підрозділів j-й частини на день періоду τ.

Аналіз наведеної залежності показує, що $SW_{ij,\tau} = SW_{ij,\text{шт}}$ у тому випадку, якщо: $\Psi_\tau = 1,0$; $SП_{ij,\tau} = SW_{ij,\text{шт}}$. Отже, при $\Psi_\tau < 1,0$, $SП_{ij,\tau} < SW_{ij,\text{шт}}$.

Таким чином, щоб кожна з частин обз мала виробничі можливості відповідно до штату, необхідно мати або високий рівень організації управління виробництвом, або деякий запас продуктивності, що компенсує організаційні витрати. Розкриємо вміст Ψ_τ:

$$\Psi_\tau = f\left(\beta_{1,\tau};\ \beta_{2,\tau};\ \beta_{3,\tau};\ldots\beta_{n,\tau}\right), \qquad (2)$$

де $\beta_{1,2\ldots n,\tau}$ – частки складового узагальненого показника Ψ_τ; $\beta_{1,\tau}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень організації управління підрозділами загону при виконанні задач у конкретний день періоду τ.

За наявними орієнтованими даними величина цього коефіцієнта може змінюватися у межах 0,6…1,0, що вказує на його істотний вплив на реалізовані (фактичні) виробничі можливості.

$\beta_{2,\tau}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень організації тилового забезпечення підрозділів на об'єктах робіт.

Оскільки система тилового забезпечення включає велику кількість підсистем, то $\beta_{2,\tau}$ – також є узагальненою характеристикою складових її підсистем. Отже, усі підсистеми повинні функціонувати таким чином, щоб утрати часу на приймання особовим складом їжі, на відпочинок, на лікування, на дозаправлення техніки пальним, водою, охолодними рідинами були б у межах установлених нормативів. Величина цього коефіцієнта за даними експертного опитування фахівців змінюється 0,7…1,0;

Отже, у разі низького рівня організації системи тилового забезпечення через непродуктивні втрати часу, умовно утрати виробничих можливостей частин можуть скласти 30 %. У роботі Х. І. Камалова величина втрат виробничих можливостей через недостатню забезпеченість виробничих комплексів матеріальними засобами наближається по значущості до неефективності управління виробництвом, тобто до $\beta_{2,\tau} < 0,6$.

$\beta_{3,\tau}$ – коефіцієнт, що характеризує організацію технічного забезпечення підрозділів на об'єктах робіт.

Цілком очевидно, що і коефіцієнт $\beta_{2,\tau}$ також істотно впливає на реалізовані виробничі можливості кожного екіпажа, комплексу, підрозділу. Його величина за даними фахівців перебуває в межах 0,8…1,0, що трохи вище для β_1, β_2. Це пояснюється тим, що кожному періоду виконання задачі на об'єкті (приблизно 5…7 діб) передує такої ж тривалості підготовчий період.

У параметр Ψ_τ можуть входити й інші коефіцієнти, що враховують вплив інших факторів, крім розглянутих. Наприклад, коефіцієнт, що враховує ступінь відволікання особового складу батальйону на невиробничі цілі; коефіцієнт, що враховує погодні й інші умови провадження робіт; недосконаліть проектної документації, що призводить до утрати виробничого темпу і значному обсягу браку і т. д.

Очевидно, кількість факторів, що враховують, при розрахунку фактичних виробничих можливостей частин залежить від конкретних умов виконання поставлених задач.

Оскільки величина Ψ визначається як добуток наведених вище коефіцієнтів, то його вплив буде досить відчутним. Для прикладу, три організаційних фактори оцінюються показниками $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0,9$. Отже, кожна зі складових тільки на 10 % нижче необхідного значення. Знайдемо значення $\Psi: \Psi = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,73$. У цьому випадку, утрата виробничих можливостей складе $P = (1 - 0,73)100 = 27\,\%$.

Оскільки вплив управління на виробничий процес досить відчутний, а методики кількісного його обліку не розроблені, то є необхідним конкретизувати сутність поняття якості управління. Якісний стан органа управління в останні роки прийнято характеризувати показником працездатності.

У будь-якому органі управління можна виділити провідні, головні структурні елементи. В окремому батальйоні такими є група начальника штабу, група головного інженера, група заступника командира батальйону по тилу й озброєнню.

Позначивши узагальнену працездатність органа управління величиною SR, а її складові - R, одержимо функцію виду

$$SR_{kij\tau} = f\left(R^1_{kij\tau}; R^2_{kij\tau}; \ldots R^m_{kij\tau}\right), \qquad (3)$$

де $SR_{kij\tau} \ldots R^m_{kij\tau})$ – показники відносної працездатності структурних груп органу управління; k – місце органу управління ij в ієрархічній системі управління.

В ієрархічній системі управління Держспецтрансслужби основним органом є управління об'єднаного загону. У зв'язку з цим ієрархічні рівні будуть мати позначення: SR_{k+1} – це рівень Держспецтрансслужби; SR_k – рівень (обз); SR_{k-1} – рівень частин.

Ступінь взаємного впливу показників працездатності органів управління Держспецтрансслужби в ієрархічній їхній структурі побудови на реалізовані виробничі можливості до дійсного часу не досліджено.

Разом з тим, викладене вище дозволяє стверджувати, що показник працездатності органа управління, як узагальнена величина окремих показників працездатності структурних елементів, є найважливіша складова боєздатність органа управління після його переходу (відмобілізування) з мирного на воєнний час.

Другою найважливішою складовою боєздатності є забезпечувана при цьому стійкість управління. Таким чином, за наявності методи-

ки кількісної оцінки працездатності органа управління і відповідно оцінки стійкості управління стає можливим кількісно оцінити рівень боєздатності органа управління будь-якого ієрархічного рівня після завершення заходу щодо відмобілізування і переходу з'єднань і частин Держспецтрансслужби із мирного на воєнний стан. Тому що в процесі виконання задач у бойових умовах органи управління Держспецтрансслужби зазнають втрат в особовому складі і техніці, то і рівень їхньої боєздатності, досягши найбільшого рівня, знижується. Цілком очевидно, що як при переході (відмобілізування) з мирного на воєнний стан, так і в процесі заповнення бойових втрат органи управління комплектуються фахівцями різного рівня підготовки. Тому у разі кількісної оцінці боєздатності органа управління це необхідно враховувати. У зв'язку з цим, функціональна залежність буде мати вигляд:

$$SB_{k,\tau} = F\left(SR_{k,\tau}; SИ_{k,\tau}\right), \qquad (4)$$

де $SB_{k,\tau}$ – узагальнений показник рівня боєздатності органа управління K-го ієрархічного рівня на день періоду τ; $SR_{k,\tau}$ – відповідно узагальнений показник рівня працездатності; $SИ_{k,\tau}$ – узагальнений показник рівня стійкості управління.

У свою чергу, стійкість органа управління – це функція складових надійності і живучості. У дослідженнях останніх років проблемі стійкості функціонування органів управління приділяється досить уваги, у той час як сутність поняття «працездатність» розглянута в загальному вигляді. Тому в даній статті зроблена спроба теоретично осмислити і розвити вміст поняття «працездатність».

Якщо працездатність органа управління розуміти як його можливість вчасно розробляти, обґрунтовувати й оформляти належним чином управлінські рішення, то цей показник кількісно може бути визначений таким співвідношенням:

$$R_{k,\tau} = \frac{T_{\text{н.до}}}{T_{\text{ф.до.}\tau}} \geq 1,0, \qquad (5)$$

де $T_{\text{н.до}}$ – нормативний час на розробку документів управлінських рішень органів управління; $T_{\text{ф.до.}\tau}$ – фактичний час, що треба було органу управління для розробки тих же документів управління в день періоду τ.

Залежність (5) дає можливість оцінити працездатність органа управління в процесі виконання з'єднанням, частиною бойової задачі, але не дозволяє прогнозувати цей показник у процесі підготовки до її виконання або в ході, але з урахуванням неминучих втрат і доукомплектування. Тому що, взаємозв'язок працездатності органа управління з реалізованими виробничими можливостями фахівцями не заперечується, то на етапі підготовки до виконання бойових задач важливо оцінити можливі в зв'язку з цим їхньої втрати, що в загальному вигляді відображає функція

$$P_{ij,\tau} = F\left(R_{k,\tau}; SW_{ij,\tau}\right). \qquad (6)$$

Залежність (6) показує функціональну залежність втрат виробничих можливостей від працездатності органа управління і початкової (штатної) величини можливостей j-го формування.

Таким чином, прогноз показника працездатності органа управління по днях періоду виконання поставленої задачі є об'єктивно необхідним для своєчасної реакції на відхилення фактичних показників від планових і недопущення в зв'язку з цим критичних ситуацій.

Оскільки орган управління становить собою певним чином сформовану організаційно-штатну структуру, то у разі її створенні вже передбачена неоднакова значущість посад, на які призначаються фахівці визначеного рівня підготовки. Разом з тим, досвід показує, що працездатність органа управління залежить не тільки від рівня кваліфікації посадових осіб, укомплектованості структурних підрозділів, але і від загальної організації їхньої спільної роботи. З цієї причини, на практиці, при однаковому приблизно рівні кваліфікації фахівців, їхня працездатність як колективу, може бути менше і більше встановленого нормативу. У зв'язку з викладеним можна зробити наступні висновки.

По-перше, працездатність органа управління залежить не тільки від рівня кваліфікації його посадових осіб.

По-друге, на працездатність істотно впливає ступінь укомплектованості органа управління особовим складом.

По-третє, при оцінці працездатності органа управління необхідно враховувати значущість усіх посадових осіб, що входять у розглянуту структурну ланку органа управління.

По-четверте, необхідно враховувати особисті якості керівника структурного підрозділу.

По-п'яте, у самому органі управління значущість структурних його елементів неоднакова і при визначенні узагальненого показника працездатності органа управління цю обставину також необхідно враховувати.

На основі наведених висновків поняття працездатність відноситься до групи посадових осіб і відображає в такий спосіб їх сукупний інтелектуальний потенціал.

Взаємозв'язок і взаємовплив укомплектованості особовим складом органа управління й узагальненого рівня кваліфікації посадових осіб органа управління з працездатністю може бути виражена їхнім добутком:

$$R_{k,\tau} = K_{y,k,\tau} \cdot SK_{nn,k,\tau}, \qquad (7)$$

де $R_{k,\tau}$ – працездатність органу управління, (структурного елемента) на день періоду τ; $K_{y,k,\tau}$ – укомплектованість особовим складом; $SK_{nn,k,\tau}$ – узагальнена величина рівня професійної підготовки посадових осіб органа управління.

Укомплектованість органа управління на будь-який момент часу розглянутого періоду визначається і прогнозується на основі штатних нормативів фактичної наявності особового складу або прогнозу його втрат на заданий день періоду.

Методика прогнозування втрат особового складу в органах управління Держспецтрансслужби при проведенні оборонних і наступальних операцій до даного часу розроблена, (у тому числі і за участю автора) і впроваджена у війська. Для оцінки рівня кваліфікації або професійної підготовки органа управління в цілому необхідно навчитися визначати попередньо індивідуальну оцінку для кожної посадової особи. Після цього індивідуальні характеристики перетворяться в узагальнений показник $K_{nn,k,\tau}$

Методика індивідуальної оцінки кваліфікації посадових осіб у даний час розробляється й уточнюється на практичній перевірці боєздатності органів управління Держспецтрансслужби. Для оцінки рівня професійної підготовки групи фахівців управління використовується залежність

$$SK_{nn} = \frac{R_{nn,1} \cdot C_1 + R_{nn,2} \cdot C_2 + \ldots K_{nn,m} \cdot C_m}{\sum_1^m C_m}, \qquad (8)$$

де K_{nn} – узагальнений показник рівня професійної підготовки групи управління; $C_1, C_2 \ldots C_m$ – показник значущості (оцінка ролі) фахівця в групі управління; m – кількість фахівців у групі управління.

Аналогічно рівень професійної підготовки органа управління в цілому також розраховується з урахуванням значущості його структурних елементів:

$$SK_{nn,k,ij} = \frac{K^1_{nnj} \cdot a_{j,1} + K^2_{nnj} \cdot a_{j,2} + \ldots K^n_{nnj} \cdot a_{j,n}}{\sum_1^n a_{j,n}}. \qquad (9)$$

Таким чином, розвиток викладених вище теоретичних передумов прогнозування боєздатності органів управління і забезпечення їхньої практичної реалізації є визначеним внеском у розвиток теорії управління з'єднаннями і частинами Держспецтрансслужби в процесі виконання задач по штатному призначенню.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Алтухов П. К. и др. Основы теории управления войсками. – М.: Воениздат, 1984. – 221 с.
2. Беспалов В. А. Наука и искусство принятия управленческих решений: Учебное пособие. – К.: Высш. шк., 1985. – 135 с.
3. Радкевич А. В. Системотехнічні аспекти організаційно-технологічних рішень відновлення споруд. – Д.: Вега, – 2005. – 346 с.
4. Русакевич Н. Е. Моделирование и оптимизация организационной структуры системы управления тылом армейского корпуса в операции. Дис… канд. воен. наук. – СПб.: ВАТТ, 1994. – 163 с.
5. Черкашенко А. И. Методика оценки эффективности АСУВ: Методическое пособие. – М.: Воениздат, 1981. – 112 с.
6. Шурупов А. Г. Управление войсками на уровне современных требований // Военная мисль. – 1979. – № 3, – С. 33–44.

Надійшла до редколегії 13.10.2006.

УДК 625.14.004.67

С. І. ОЛЕФІРЕНКО, С. О. ЯКОВЛЄВ, В. В. БИЧКОВ, В. А. КОЗІНСЬКИЙ (ДІІТ)

ВІДНОВЛЕННЯ ЗАЛІЗНИЦЬ ПІД ЧАС КРИЗОВИХ СИТУАЦІЙ

Розглянуто взаємозв'язок видів руйнування верхньої будови колії і штучних споруд і способів їх відновлення підрозділами Державної спеціальної служби транспорту. Доведена важливість завчасного створення запасів необхідної кількості відновних засобів і конструкцій, потужностей і техніки для відновлення залізниць під час кризових ситуацій.

Рассмотрена взаимосвязь видов разрушения верхнего строения пути и искусственных сооружений и способов их восстановления подразделениями Государственной специальной службы транспорта. Доказана важность заблаговременного создания запасов необходимого количества восстановительных средств и конструкций, мощностей и техники для восстановления железных дорог во время кризисных ситуаций.

The article studies interconection of the types of destruction of permanent way and artificial buildings and the methods of their restoration by the subdivisions of Special Governmental Transport Service and proves the importance of timely creation of necessary reserves of restorative means and facilities, constructions, capacities and equipment for efficient restoration of railways in crisis-like situations.

Як видно з досвіду другої світової війни та локальних війн, при нанесенні ударів супротивник в першу чергу намагається порушити економічну інфраструктуру в державі, у тому числі і залізничні лінії.

Руйнування залізничних ліній та важливих об'єктів, які розташовані поблизу залізниці здійснюється:

– під час диверсійної діяльності;
– ракетними та бомбовими ударами;
– бойовою діяльністю військ (артилерія, в місцях переходів важкої техніки через залізничні колії та інше).

Метою бойових дій насамперед є важливі об'єкти, які розташовані поблизу залізничних ліній, на руйнування яких витрачається мінімальна кількість сил і засобів, а витрати на реконструкцію та відновлення будуть значно вищі. Це стосується насамперед об'єктів типа тунелів, мостів, залізничних вузлів та енергетичних улаштувань, які необхідні для експлуатації залізниць.

Держспецтрансслужба, яка призначена для реконструкції залізниць під час підготовки держави до оборони, повинна бути спроможною вирішувати велику кількість технічних та технологічних проблем. З технічної сторони ця проблема вирішується в два етапи:

– відновлення залізничної колії та станцій;
– відновлення штучних споруд (тунелів, мостів).

Цілком імовірно, що залізничний перегін не є прямим об'єктом руйнування. У більшості випадків, це відбудеться в зв'язку з руйнуванням інших об'єктів і улаштувань на залізниці, наприклад:

– затоплення під час руйнування греблі водосховища;
– у місцях з великими підпірними стінками та верховими підпірними стінками;
– у місцях з важкими підходами відновлювальної техніки та з проблематичним постачанням матеріалів для відновлення;
– під час використання інженерно-саперних укріплень та ін.

З іншої сторони можливе пряме руйнування залізничних станцій та проміжних ділянок колії. Руйнування можуть становити собою безперервні перешкоди (на залізничних станціях) або локальні руйнування (вирва). Залежно від характеру руйнування вибирається відповідна технологія відновлення, яка становить собою комплекс взаємопов'язаних робіт:

– розчищення завалів;
– відновлення земляного полотна;
– відновлення верхньої будови колії.

Під час підготовки держави до оборони необхідно всю діяльність підпорядкувати вимогам відкриття руху на зруйнованій ділянці у встановлені терміни.

При цьому обов'язково ураховуються обмежувальні фактори:

– відстань відновлювальної ділянки від зруйнованої та можливість доставки важких машин і механізмів для відновлення по шляхах пересування загальної техніки;
– радіаційний та хімічний стан навколишнього середовища в районі відновлювальних робіт;
– необхідність охорони і оборони об'єкту, що відновлюється (приблизно 10 % від всього особового складу, який виводиться на виробництво);

– навченість підрозділів;
– доступність матеріалів для відновлювальних робіт або реконструкції.

Відновлення може виконуватись трьома способами:
– із застосуванням засобів малої механізації;
– із застосуванням важкої техніки Держспецтрансслужби (машинний спосіб);
– комбінованим.

Класичний спосіб відновлення з застосуванням засобів малої механізації добре відомий з первісних часів спорудження залізниць. Він відрізняється великою трудомісткістю, значними витратами робочої сили та обмеженими можливостями. Його застосування доцільно у випадках відновлення у разі локальних руйнувань невеликих ділянок або тоді, коли неможливе застосування важких засобів механізації. У даному випадку застосовується ручний механізований інструмент.

Найбільш прийнятним є машинний спосіб з поточною технологією та застосуванням засобів механізації. Цей спосіб застосовується в мирний час за рахунок введення в роботу загонів Держспецтрансслужби у разі комплексного відновлення (реконструкції) верхньої будови колії. Введення в роботу загонів Держспецтрансслужби під час підготовки держави до оборони можливе при руйнуванні залізниць в великих масштабах та при збудуванні короткотермінових обходів зруйнованих залізничних вузлів, тунелів, мостів та інших споруд, коли виникають великі вимоги до розчищення завалів.

Недоліком цього способу є залучення важких засобів механізації (колієукладач, шпалопідбивальні, рихтувальні машини), оскільки їх переміщення викликає труднощі через великі маси та габарити.

Одним із можливих рішень у такому випадку може бути, так званий, комбінований спосіб відновлення, коли лімітуюча важка техніка заміняється рухомими засобами.

Як приклад можна подати універсальну колійну машину УКМ-1, яка виконує 6 технологічних операцій по верхній будові колії, мобільну ланкозбиральну лінію. Проте поки ще не вдається замінити колієукладачі на таку техніку, щоб при цьому зберігалась потрібна потужність укладання колії. Ці проблеми розглядаються в загонах Держспецтрансслужби і були одночасно розроблені можливі технології укладання рейкових ниток (табл. 1).

Таблиця 1

Можливі варіанти укладання колії

Вид технології	Механізми	Штат, чол.	Орієнтована потужність, м/год
Укладання рейкової ланки колієукладачем ПБ-3М	колієукладач ПБ-3М	5	285
Укладання рейкової ланки колієукладачем УК-25	колієукладач УК-25	8	800…100
Укладання рейкової ланки автокранами	комплект з 2 автокранів	9	75
Укладання рейкової ланки з застосуванням засобів малої механізації	засоби малої механізації	56	150

Залізничні мости відносяться до об’єктів, які руйнуються в першу чергу. У зв’язку з цим для їх відновлення заздалегідь спеціалістами повинні бути розробленні технічні і конструктивні вимоги, а сам процес відновлення забезпечений технічними засобами, матеріалами і конструкціями.

Відновлення (реконструкція) моста – це сукупність запланованих та виконаних заходів, які дозволяють у найкоротші строки згідно з тактико-технічними вимогами відновити зруйнований об’єкт та відкрити по ньому рух.

Залежно від характеру руйнувань розглядають два способи відновлення:
– відновлення по старій осі (основний спосіб, за якого є можливість застосування колишніх елементів конструкцій, які збереглись);
– відновлення на обході ближньому або дальньому.

До відновлювальної діяльності можна віднести такі процеси:
– розчищення завалів;
– підбір конструкцій (нових та пошкоджених);
– збирання конструкцій;
– підсилення конструкцій;
– пристосування залізничних мостів під автодорожнє навантаження;
– визначення вантажопідйомності переходу.

При монтажі відновлених прогонових споруд необхідно розрахувати їх конструкцію. При цьому їх монтаж і відновлення здійснюється декількома способами:
– подовжнім (поперечним) насуванням;
– навісним або напівнавісним збиранням;
– за допомогою кранів (консольні, стрілові крани);

– на плаву з використанням плавзасобів.

Кожний з цих способів відрізняється позитивними та негативними властивостями. Вищевказані способи необхідно комбінувати, виходячи з конкретних умов з тим, щоб позитивні були використані з максимальною користю, а негативні якості зводились до мінімуму. На практиці не завжди це можливо, тому необхідно шукати компромісні варіанти.

Важкою частиною рішення цієї проблеми є вибір конструкції для відновлення залізничних мостів. Перевага віддається конструкціям, які виробляються для цієї мети.

Конструкції для відновлення повинні задовольняти всі вимоги, по яких визначається доцільність їх розроблення, виробництва і застосування (темп збирання, маса конструкції, кількість монтажних з'єднань, число монтажних елементів, необхідний штат робітників, економічні вимоги до виробництва і зберігання, довговічність, нескладність виробництва, транспортування та ін.).

Під час відновлення великих і середніх залізничних мостів передбачається використання сталевих збірних конструкцій, а для реконструкції малих мостів і елементів опор місцеві матеріали та збірно-розбірні конструкції УЖВ-ЛТМП і ІМІ-60. Конкретно для відновлення створені мостові конструкції СРП з рухом поверху та понизу, пакетні прогонові будови (табл. 2).

Таблиця 2

Основні експлуатаційно-технічні параметри мостів

Параметр	Конструкції		
	Збірно-розбірні прогонові будови (рух поверху)	Збірно-розбірні прогонові будови (рух понизу)	Пакетні прогонові будови
Прогін, м	23–33,6	33–110	4,3–23,0
Навантаження	Н8, С14	Н8, С14	Н8, С14
Швидкість руху, км/год	15–30	15–30	15–30
Темп збирання, м/год	2,5–23	до 10,3	2,3–14,5
Монтажна команда, чол.	14	14–42	12
Маса конструкції, т	22,6–51,9	74–678,2	1,26–36,6
Основний монтажний засіб	автокран	автокран	автокран
Спосіб установлення в прогін	установлення кранами: СРК-30/40, СРК-50, ПРК-50, ГЕК-80	навісне (напівнавісне) збирання, поздовжнє (поперечне) насування, використання плавзасобів	укладання у зібраному вигляді або по елементах

Необхідно, щоб кількість конструкцій для відновлення, які виготовлені в мирний час, була достатньою для виконання робіт та було місце для їх збереження.

Висновок

Таким чином, з вищесказаного можливо зробити висновок про важливість рішення питань, пов'язаних з відновленням залізниць під час підготовки держави до оборони, головним чином в галузі забезпечення достатніми відновлювальними засобами, потужностями, технікою та конструкціями.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України «Про Державну спеціальну службу транспорту» 20.10 2004 № 1449-IV.
2. Закон України «Про функціювання единої транспортної системи України в особливий період» 20.10.1998 р. № 194-XIY.
3. Указ Президента України «Питання Державної спеціальної служби транспорту» 06. 08.2004 р. № 873/2004.
4. Наказ міністра транспорту України «Про затвердження інструкції по організації відновлювальних робіт при ліквідації наслідків транспортних пригод на залізницях України» 27. 04 2001 р. № 258.
5. Соломонов С. А. Путевые машины. – М.: Транспорт, 1985, – 374 с.
6. Справочник офицера железнодорожных войск. – М.: Военное издательство МО СССР, – 1974. – 488 с.
7. Справочник офицера-мостовика железнодорожных войск. – М.: Военное издательство МО СССР, – 1963. – 951 с.
8. Руководство для железнодорожных войск Восстановление железнодорожных мостов и труб (ВМ-67), – М.: Военное издательство МО СССР, – 1969. – 560 с.

Надійшла до редколегії 13.03.2006.

УДК 624.131

В. Д. ПЕТРЕНКО, А. Л. ТЮТЬКИН, М. Б. СТОИЧЕВА (ДИИТ)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Викладений порівняльний аналіз методів розрахунку пальових фундаментів під час статичних та динамічних навантажень, проаналізовано особливості динамічного розрахунку такого виду конструкцій.

Представлен сравнительный анализ методов расчета свайных фундаментов при статических и динамических нагрузках, проанализированы особенности динамического расчета такого вида конструкций.

In the article the comparative analysis of calculation methods of pile foundations at the static and dynamic loadings is represented, the features of dynamic calculation of such type of constructions are analyzed.

Вопросы обоснования конструктивных особенностей свай и свайных фундаментов, выбора методов их расчета и технологии строительства, а также анализ результатов исследований взаимодействия свай рассмотрены в многочисленных работах [1–5].

В целом, свайные фундаменты обладают рядом преимуществ по сравнению с фундаментами других типов, и нашли широкое применение в современном строительстве. Одно из их достоинств – это применение свай в местах расположения несущего грунта на большой глубине. В этом случае свайный фундамент является наиболее целесообразным по техническим и экономическим соображениям.

Одной из сложных проблем является разработка методов расчета и учета взаимодействия свайных фундаментов с грунтом, в частности, свай глубокого заложения (>35 м) [3; 5]. Причем современные методы оценки нелинейного деформирования грунта под нагрузкой позволяют проанализировать только отдельные аспекты поведения свай глубокого заложения. Это объясняется неопределенностью состояния грунта после устройства свайного фундамента, пространственностью работы свайного сооружения, учет которой затруднен ограниченными возможностями ЭВМ, а также отсутствием в общем случае адекватных численных методов расчета для моделей, допускающих наряду с упругим пластичное деформирование или разупрочнение.

Как известно, расчеты фундаментов выполняются по следующим предельным состояниям:

1) по прочности;

2) по несущей способности оснований и по устойчивости против глубокого сдвига совместно с грунтом;

3) по трещиностойкости – для железобетонных фундаментов;

4) по деформациям оснований и фундаментов с определением их осадок и горизонтальных смещений верха опор.

При определении несущей способности свай-стоек либо висячих свай следует задаваться характеристиками грунта, при определении и использовании которых учитываются некоторые особенности.

В механике грунтов грунт рассматривается как линейно деформируемая среда. И для расчета используются в основном две расчетные схемы:

1) упругое линейно деформированное тело (основные параметры – модули упругости или деформации E и коэффициент Пуассона μ);

2) упругое основание типа Фусса-Винклера (основной параметр – коэффициент постели K).

Рассмотрим некоторые особенности этих схем. Основной недостаток первой схемы – модуль упругости E при больших нагрузках не является постоянным, (в таких случаях его называют модулем деформации). Кроме того, в данной схеме не учитывается работа грунта, расположенного выше подошвы плиты ростверка, одновременное взаимодействие нескольких свай с грунтом и взаимодействие столба с грунтом одновременно по боковой поверхности и подошве. Таким образом, можно полагать, что эта схема применима только для упругого полупространства и упругой полуплоскости.

По второму варианту справедливо утверждение: перемещения каждой точки упругого основания линейно связаны с интенсивностями нагрузок и не зависят от нагрузок, действующих на остальные точки поверхности. Отсюда следует, что за пределами загружаемой поверхности перемещения точек равны нулю, что на самом деле не соответствует действительности.

При определении несущей способности свай глубокого заложения появляется ряд дополнительных сложностей. Так, по данным исследований [6] при действии трехосного нагружения на сваю глубокого заложения (>35 м) было установлено, что угол внутреннего трения φ меньше нормативного значения, приведенного в СНиП [5]. В результате был сделан вывод, что касательное напряжение τ не является линейной функцией от удельного сцепления C и угла внутреннего трения φ, то есть формула $\tau = C + \sigma tg\varphi$ в данном случае не справедлива. При этом огибающая кругов Мора предельных напряжений криволинейна, а расчетные параметры сопротивления грунта сдвигу φ и C различны для различных точек диаграммы. Для примера можно привести полученное уравнение криволинейной огибающей кругов предельных напряжений у полускальных, скальных и твердых глин [6]

$$\tau = \left(\lambda\left(C + f\sigma\right)\right)^{\frac{1}{r}}. \qquad (1)$$

Если вычислять значения прочности грунтов, находящихся при больших всесторонних давлениях по формуле Кулона, а параметры φ и C определять при давлениях 0,2…0,4 МПа, то прочность будет занижена. Наоборот, если использовать φ и C, полученные при больших значениях для расчетов прочности при малых давлениях, то она будет завышена.

Однако качественная разница между расчетом по обеим схемам существенна и при правильном назначении основных характеристик грунта и выборе условий расчета. По гипотезе Винклера при нагружении балки или плиты рядом сосредоточенных сил, например, в случае колонн, максимальными оказываются отрицательные моменты в пролетах, минимальными – положительные под колоннами. На этом основании можно сделать вывод, что балка либо стремится изогнуться выпуклостью вверх, либо прогиб волнообразно изменяется вокруг прямой. Вместе с тем расчет по схеме упругого линейно деформированного тела, то есть на основе теории упругости, как правило, дает общий изгиб выпуклостью вниз.

Проведенные натурные опыты показывают, что реальная распределительная способность грунта меньше, чем рассчитанная по теории упругости [5; 7], что выражается в быстром затухании осадок поверхности грунта по мере удаления от места приложения нагрузки. Результаты этих опытов иногда используются без глубокого критического анализа. Так, например, опыты часто проводятся со штампами относительно небольших размеров на слабосвязном основании и без пригрузки. Для реальных фундаментов особенно больших площадей распределительная способность значительно больше, что видно по осадке и крену старых зданий при возведении вблизи них нового [5; 7].

Снижение коэффициента постели с увеличением площади штампа в указанном пределе непосредственно вытекает из того, что при этих площадях справедливо определение осадок по формуле теории упругости при неизменном модуле деформации. Причем, когда при больших площадях основание начинает работать по схеме, близкой к схеме упругого слоя конечной толщины, значительно меньшей, чем ширина фундамента, коэффициент постели стремится к некоторому постоянному пределу.

При проектировании оснований гидротехнических сооружений с длинными стальными сваями, расчет несущей способности их по СНиП [5] либо не может быть выполнен, либо нуждается в существенной корректировке, так как СНиП [5] в этих случаях дает заниженные значения несущей способности [1].

При расчете свайных фундаментов по первой группе предельных состояний несущая способность фундамента по грунту определяется из расчета наиболее нагруженной одиночной сваи фундамента на действие осевой (вертикальной) нагрузки. При этом расчетную нагрузку на сваю в случае фундаментов с вертикальными сваями рекомендуется рассчитывать по весьма приближенной формуле, а для варианта с наклонными сваями вообще отсутствуют какие-либо конкретные рекомендации. Существенные недостатки такого подхода заключаются в следующем:

– переход в предельное состояние одной из свай фундамента не всегда свидетельствует о потере несущей способности свайного фундамента как конструкции в целом;

– при расчете нагрузки на сваю не учитывается положение ростверка относительно поверхности грунта, характер отпора грунта и деформации конструкции;

– не учитывается взаимовлияние свай через грунтовую среду и взаимовлияние нагрузок и действующих в сваях усилий.

Также не удовлетворяет многим требованиям современной проектной практики методика расчета свайных фундаментов и их оснований по деформациям. При этом основные недостатки методики заключаются в следующем:

– рассчитываются только осадки фундамента; крены и повороты конструкции не определяются;

– чрезмерная схематизация реальной свайной конструкции путем замены её условным фундаментом, когда в качестве нагрузки учитывается вес грунта в объеме условного фундамента;

– использование модели основания в виде линейно деформируемого полупространства или линейно деформируемого слоя во многих случаях не соответствует условиям взаимодействия свай с грунтом.

В еще меньшей степени пригоден для гидротехнических свайных сооружений расчет на горизонтальные нагрузки, приведенный в приложении к СНиП [5]. Свая рассматривается как балка на линейно деформируемом основании, характеризуемом коэффициентом постели, линейно изменяющимся по глубине. Приведенные значения коэффициента пропорциональности отвечают условиям очень малых горизонтальных перемещений голов свай, в пределах которых работу грунтовой среды можно считать линейной. Допускается возможность перехода верхних слоев грунта в предельное состояние (развитие пластических зон), характеризуемое прочностным коэффициентом постели. Расчет может быть выполнен только для свай постоянного поперечного сечения в однородном грунте при шарнирном или жестком закреплении голов. Сваи рассчитываются на постоянную горизонтальную нагрузку без учета возможного циклического многократного характера ее приложения.

Также определенные сложности существуют при исследовании фундамента на воздействие динамической нагрузки. Сложность составляет выбор подхода при моделировании данной нагрузки, а именно, рассмотрение ее в динамическом или квазистатическом виде.

Реализация динамических свойств свайного фундамента и основания отличается некоторыми специфическими особенностями, которые выделяют целый ряд задач динамического характера в отдельную область расчетов. Особая сложность этих задач заключается в анализе как статических параметров – напряжений и деформаций, так и динамических характеристик – амплитуд и частот колебаний, присущих разным их формам.

Одним из наиболее спорных вопросов при реализации динамической задачи в случае свайного фундамента является вопрос о видах динамической нагрузки, а именно, является ли данная нагрузка гармонической или импульсной периодической. Рассмотрение данного вопроса с этих двух позиций имеет свои специфические особенности, которые в явном виде связаны с решением динамической задачи.

Следует также отметить, что важным вопросом является выбор модели грунтового основания при динамическом взаимодействии. Из разработанных интегральных моделей (квазистатические модели Винклера, с двумя коэффициентами постели, динамические – Н. К. Снитко, Б. Г. Коренева, Винклера–Фойгта) для практической реализации возможно применение и модели Винклера и модели Винклера–Фойгта, в то же время применение дифференциальных моделей более затруднительно. Эти модели (квазистатические – невесомое упругое полупространство, слой конечной толщины, неоднородные полупространства различного типа, динамические – упругое весомое полупространство, весомый слой, модель Г. Б. Муравского) учитывают деформационные и инерционные свойства основания в каждой его точке, позволяя провести решение контактных задач [8; 9].

Согласно СНиП [5] основание должно рассматриваться как упруговязкое, линейно деформируемое и безинерционное. Упругие свойства основания описываются коэффициентами сжатия и сдвига различных типов, а рассеивающие свойства (свойства диссипации) – коэффициентами демпфирования. Уравнение вынужденных вертикальных колебаний фундамента сооружения в виде одномассовой системы в случае такого основания имеет вид:

$$m\ddot{z} + B\dot{z} + kz = Fe^{\omega t}, \qquad (2)$$

где m – масса фундамента; $\ddot{z}$ – ускорение; $B\dot{z}$, kz – демпфирующая и упругая части реакции основания; F – вертикальная сила; ω – частота возмущения силы; t – время.

При рассмотрении поездной нагрузки как импульсно-периодической, после прекращения каждого импульса, фундамент испытывает собственные колебания, уравнение которых имеет вид:

$$z(t) = A\sin(\omega t + \varphi), \qquad (3)$$

где A – амплитуда колебаний; φ – начальная фаза.

Достаточно простая реализация условия (3) возможна с применением метода конечных элементов (МКЭ), в котором оно записывается в матричной форме:

$$|z| = |\psi|\sin(\omega t + \varphi), \qquad (4)$$

где $|\psi|$ – вектор-столбец, характеризующий форму собственных колебаний (соотношение между смещениями узлов).

При расчете МКЭ на динамические воздействия число компонент вектора $|z|$ зачастую бывает меньше, чем при статическом расчете [8]. При расчете на импульсно-периодическую нагрузку следует проверить ее вид – если время действия импульса τ не превышает $2{,}5T_s$, где T_s – период наименьшей из учитываемой форм колебаний, то импульс имеет величину равную

$$S = P_0 \int_0^{\tau} f(t)dt ,$$

где P_0 – наибольшее значение импульса; $f(t)$ – функция его формы. Часто форма импульса не учитывается.

Важно также отметить, что проблема присоединенных масс грунта недостаточно изучена и часто опускается в динамических расчетах, причем модели основания являются безинерционными. Это положение развивается в СНиП [5], что значительно упрощает схему расчета, но некоторые исследователи обращают внимание на влияние присоединенных масс грунта [8; 9]. Также исследования доказывают нелинейность динамических деформационных и инерционных свойств грунта [9], что затруднительно реализовать в инженерных расчетах.

Поэтому для более репрезентативных исследований следует применять расширенный алгоритм динамического расчета, который наиболее полно соответствует расчетам, которые опираются на концепцию взаимного анализа взаимодействия в системе «сооружение–основание»:

1) расчет сооружения с учетом нелинейных свойств грунта и динамических особенностей системы;

2) анализ частот и форм вынужденных колебаний;

3) анализ напряженно-деформированного состояния системы «фундамент–основание».

Представленный алгоритм позволяет наиболее полно анализировать как динамические, так и статические характеристики основания и свайного фундамента при динамических нагрузках.

Таким образом, в расчете свай глубокого заложения существует ряд проблем и задач, которые необходимо решать теоретическим и опытным путем в виду возможного их широкого применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левачев С. Н. Сваи в гидротехническом строительстве: Учебное пособие / С. Н. Левачев, В. Г. Федоровский, С. В. Курило и др. – М: АСВ, 2003. – 67–75 с.
2. Романов Д. А. Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из буронабивных свай и опор-колонн / Д. А. Романов, С. В. Романов, В. Д. Романов и др. – К.: Будівельник, 1985. – С. 15–24.
3. Завриев К. С. Руководство по расчету фундаментов глубокого заложения / Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства. – М: Госстройиздат, 1981. – С. 43–47.
4. Горбунов-Посадов М. И. О путях развития теории расчета конструкций на упругом основании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1963, – № 1. – С. 13–14.
5. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. Минстрой РФ. – М.: ГП ЦПП, 1985. – 48 с.
6. Петренко В. Д. Прочность грунтов при большом давлении / В. Д. Петренко, И. К. Бадалаха, В. Н. Косяк // Залізничний транспорт України, 2005. – № 3 (48). – С. 51–53.
7. Цытович Н. А. Механика грунтов. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
8. Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика / Под ред. Б. Г. Коренева и И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
9. Швец В. Б. и др. Справочник по механике и динамике грунтов. – К.: Будивельник, 1987. – 232 с.

Поступила в редколлегию 04.12.2006.

УДК 624.21.014:65.011.56

А. А. РАЩЕПКИН (НИДЦ СГУПС, Россия)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЕТА ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Існуюча методика оцінки вантажопідйомності мостових споруд («Метод класифікації») була розроблена в 1930 році. Усі розрахунки у ній були орієнтовані на «ручні» обчислення, вони не враховують деякі особливості конструкцій. У статті показана можливість застосування метода прямого розрахунку металевих прогонових будов на основі автоматизованих обчислень.

Существующая методика оценки грузоподъемности мостовых сооружений («Метод классификации») была разработана в 1930 году. Все расчеты в ней ориентированы на «ручные» вычисления, они не учитывают некоторые особенности конструкций. В статье показана возможность использования метода прямого расчета металлических пролетных строений на основе автоматизированных вычислений.

The existent carrying capacity evaluation method of operational bridge structures (Classification method) was developed in 1930. All the calculations represented there are oriented on hand computation methods and do not take into account some features of the constructions. The article shows a possibility of using direct calculation method of steel span structures on the basis of automated calculations.

Существующая методика оценки грузоподъемности в России и Украине основана на положениях действующих руководств и правил [1; 2]. Она базируется на принятом в 1930-х годах методе классификации. Его основное преимущество – формальное разделение влияния подвижного состава и несущей способности элементов, что помогает избегать многократного перерасчета сооружений на действие многообразных нагрузок и, как следствие, снизить трудоемкость вычислений, вероятность допустить ошибку. Однако определение грузоподъемности по этой методике имеет недостатки, одним из которых является неточность расчетов элементов со сложными (нетреугольными) линиями влияния усилий. Дело в том, что справочные таблицы эквивалентных нагрузок различных транспортных средств [3] составлены только для треугольных линий влияния, а учет «нетреугольности» нормировано выполнять, используя различные приведения и допуски.

Вместе с тем, элементы со сложными линиями влияния усилий весьма распространены. Их можно обнаружить в фермах проектировки ПСК, в статически неопределимых конструкциях, например, в неразрезных пролетных строениях, а также в эксплуатируемых мостах с дефектами, связанными с изменением расчетной схемы, или в пролетных строениях, подвергнутых реконструкции. Кроме того, степень сложности линий влияния зависит от расчетных допусков и предпосылок. Например, расчет средних сечений продольных балок железнодорожных ферм допускают вести по расчетной схеме балки на двух опорах и треугольной линии влияния [1; 2]. Однако линии влияния, построенные по более точной расчетной схеме неразрезной балки на упругоподатливых опорах, не являются треугольными.

Исследования показывают, что приведение сложных (зубчатых, двухзначных) нетреугольных линий влияния к треугольной форме в методе классификации может давать ошибку при определении усилий от временной нагрузки до 45 % (в сравнении с прямым расчетом). Например, для элемента фермы конструкции ПСК (линия влияния усилия изображена на рис. 1) ошибка такого приведения составляет 42 %.

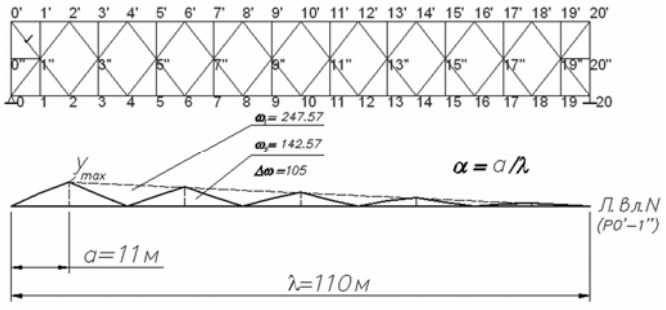


Рис. 1. Пример линии влияния продольного усилия *N* элемента фермы ПСК

Описанные упрощения связаны с тем, что существующие нормы ориентированы, прежде всего, на «ручные» вычисления, и поэтому часто не учитывают усложняющих расчетную схему особенностей работы пролетного строения. Вместе с тем, учет таких обстоятельств, как совместная работа основных несущих конструкций с проезжей частью или продольными связями, таких дефектов, как ограничение перемещений пролетного строения (упирание в устой, заклинивание опорных частей и прочее) зачастую требует определения усилий по сложным пространственным расчетным схемам и линиям влияния, что в методе классификации не предусмотрено.

Известно, что перечисленных недостатков лишены матричные методы [4] и методы прямого расчета, для которых характерна высокая точность результатов определения усилий в сложных конструкциях. Но для обработки матрицы напряжений необходимо использовать ЭВМ, а прямой метод обладает большой трудоемкостью, связанной с необходимостью проведения сложных прочностных расчетов для каждой вновь задаваемой эксплуатационной нагрузки. На практике удобно использовать экспериментально-теоретические методы определения грузоподъемности [4; 5], но для них необходимы специальные обследования и испытания.

Отметим далее, что оценка несущей способности и определение условий пропуска нагрузки – это одна из основных задач автоматизированных систем управления содержанием искусственных сооружений (АСУ ИССО [6]). Поэтому решение указанных проблем автор связывает, прежде всего, с использованием прямых или матричных методов, функционирующих в рамках автоматизированных комплексов и систем управления содержания мостов.

Попытки автоматизировать процесс расчета грузоподъемности металлических пролетных строений методом классификации были предприняты в девяностых годах прошлого века в нескольких вузах (ХабИИЖТ, НИИЖТ, МИИТ и НИИмостов ЛИИЖТа [7–9]), но только в НИЛ мостовых конструкций СГУПСа удалось довести программу расчета грузоподъемности до промышленной эксплуатации и внедрения на сети железных дорог России. Речь идет о расчетном комплексе «АргоМ», который с 1994 года был несколько раз модернизирован. Каждая из версий программы разрабатывалась с учетом существовавшего уровня развития программного обеспечения, решая актуальные для своего периода задачи.

Первая версия «АргоМ v.1» функционировала под управлением операционной системы DOS. Она способна максимально быстро производить расчеты грузоподъемности по руководству 1987 года [1] и передавать результаты в АСУ ИССО первого поколения (АСУ ИССО v.1) [6]. Для АСУ эти данные являются исходными при определении условий пропуска поездной нагрузки по пролетному строению, во время которого выполняется классификация подвижного состава и сравнение классов элементов с классами нагрузок.

Многочисленные обследования и испытания, проводимые в НИЛ мостовых конструкций СГУПСа, позволили создать обширную базу данных по конструкциям пролетных строений для первой версии программы «АргоМ». Информация о металлических пролетных строениях (балках и фермах) представлена в ней большим количеством разнообразных типовых и типичных (наиболее распространенных) проектов – около 130 типов конструкций пролетных строений. Уровень подробности данных очень высок, так как для подсчета грузоподъемности необходима информация о составе каждого элемента, стыка и прикрепления. В этой базе, например, есть информация, полностью описывающая геометрию конструкции, количество и расположение заклепок или болтов, а также данные по условиям эксплуатации и имеющимся повреждениям.

Появление современной операционной системы «Windows» фирмы Microsoft открыло возможность для реализации в программных разработках удобного пользовательского интерфейса, режима многозадачности, современной организации работы с базами данных и т.д. К тому времени (конец 1990-х гг.) появилась качественно усовершенствованная вторая версия АСУ ИССО для «Windows». Связь ее с «АргоМ» оказалась прервана из-за несовместимости операционных сред, в которых функционировали эти программы.

Для решения этого вопроса была поставлена задача по модернизации «АргоМ». Достигнутый уровень развития информационных технологий, а также опыт, полученный при разработке и внедрении первой версии программы и автоматизированной системы АСУ ИССО второго поколения, позволили перейти в 2000–2002 гг. к созданию Автоматизированной расчетно-аналитической системы определения грузоподъемности металлических пролетных строений («Арго М v.2»). Архитектура программы «АргоМ v.2» представлена на рис. 2.

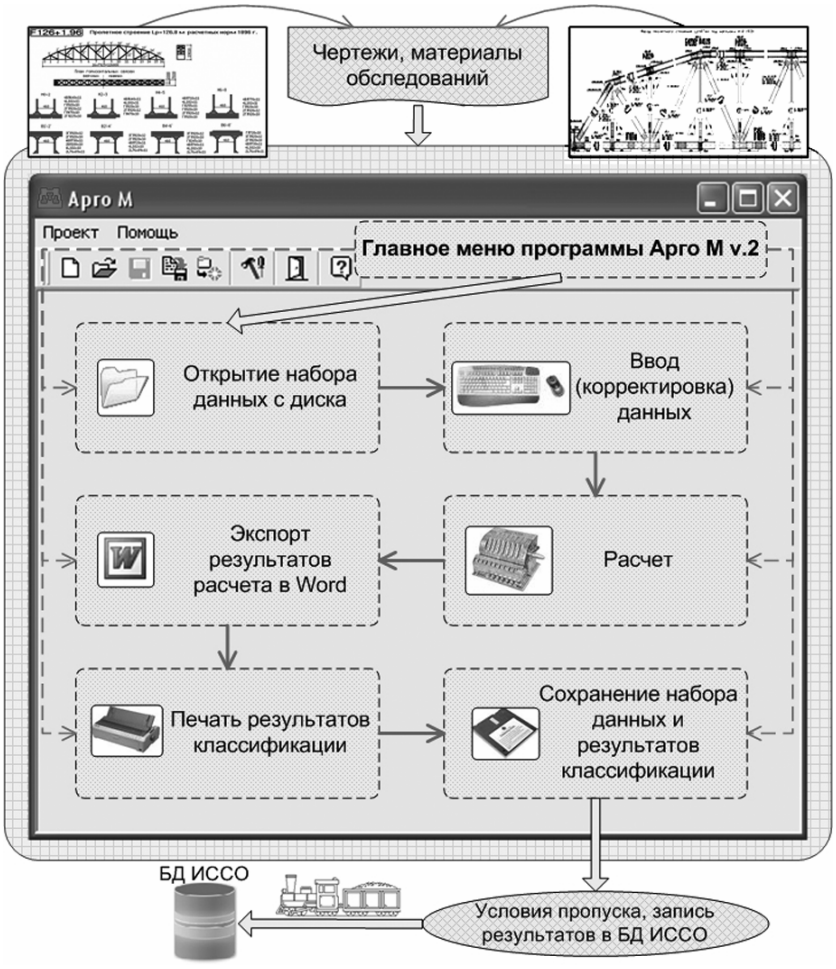


Рис. 2. Архитектура программы «АргоМ v.2»

Программа состоит из единого модуля ввода и редактирования исходных данных, расчета, печати результатов и сохранения их для программы определения условий пропуска.

В сравнении с «АргоМ v.1» версия второго поколения обладает полноценным графическим интерфейсом Windows, в ней присутствуют практически все справочники и таблицы, позволяющие без обращения пользователя к руководству выполнять расчеты грузоподъемности. Результаты программа предоставляет в формате «Microsoft Word» в табличной форме, предусмотренной руководством. Ее сервисные функции позволяют получать детальную информацию об элементах пролетных строений, в них реализованы поддержка данных первой версии «АргоМ», возможность импорта-экспорта в графические редакторы («AutoCAD» фирмы Autodesk), процедуры построения линий влияния ферм (в том числе неразрезных), получение справок и другие функции.

Однако опыт эксплуатации и развития «АргоМ v.2» показал, что единый программный модуль существенно ограничивает возможность модернизации и развития «живого» комплекса. Дело в том, что для использования функций «АргоМ» (например, расчетных) в других приложениях требуется копировать исходный код этих процедур и помещать его в код нового приложения. Такой подход является некорректным в программировании, он влечет за собой дублирование ошибок, существенно затрудняет возможность модернизации комплекса приложений.

Для решения этой проблемы программа «АргоМ v.2» в 2005 году была значительно переработана. На ее основе создана третья версия, работающая с библиотеками интерфейсов и объектно-ориентированной моделью, использование которых допускается и в иных приложениях, например, в «Проводнике АргоМ». Архитектура комплекса вместе с «Проводником АргоМ» представлена на рис. 3.

Связь между составляющими комплекс программами «АргоМ» и «Проводник АргоМ для АСУ ИССО» организована на основе COM технологии. Оба эти приложения используют одни и те же библиотеки интерфейсов и объектную модель. Такое разделение на модули допускает модернизацию отдельных частей без перекомпиляции других.

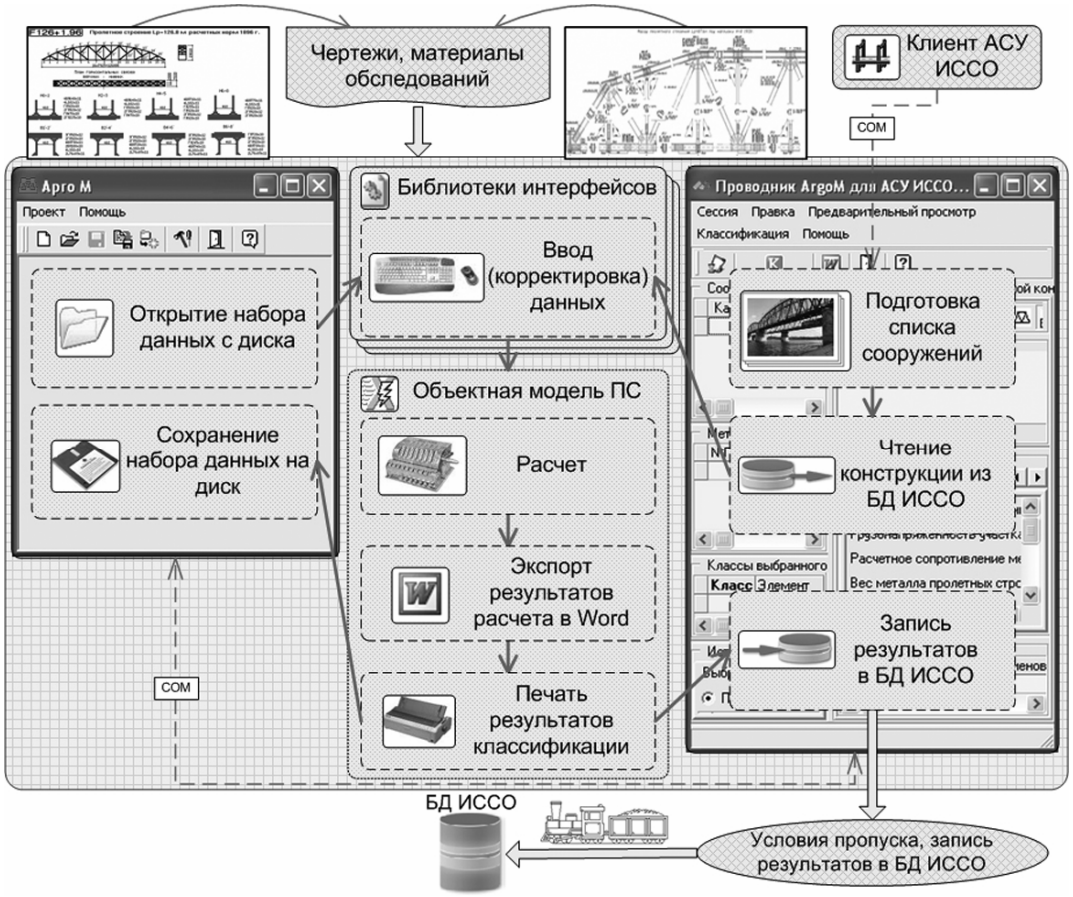


Рис. 3. Архитектура комплекса «АргоМ v.3»

Рассмотрим далее особенности объектно-ориентированной модели и библиотек интерфейсов.

Объектная модель полноценно отражает свойства столь сложной структуры как пролетное строение. Результатом ее разработки стал тип TArgoMProject (понятие «тип» или «класс» заимствовано из объектно-ориентированного программирования, оно обозначает логическую программируемую модель для описания объектов реального мира). Наиболее значимые элементы главного типа «АргоМ» представлены на схеме рис. 4.

Основной тип TArgoMProject включает поля для идентификации пролетного строения – его наименование Name, комментарий пользователя Commentary, код Code, а также общие данные GeneralData, список материалов MaterialList, список балок проезжей части CarriagewayList, консолей ConsoleList и настройки режимов обработки и печати данных Options. Тип общих данных представлен списком полей, содержащих наиболее общую информацию пролетного строения («адрес» сооружения, типовой проект, вид соединений, грузонапряженность участка и другие). Список материалов и другие списки содержат соответствующие им объекты. Далее под понятием «объект» подразумеваем переменную (экземпляр) какого-либо типа (класса). Каждый «объект» соответствует реальному элементу конструкции или любому иному конкретному объекту. Тип материала TMaterial описан его наименованием и характеристиками (расчетные сопротивления Ry, Ru, модуль упругости E и другие). Тип балки TBeam описывает ее геометрию (модули балки BeamModuleList – участки с одинаковыми геометрическими размерами) и расчетные сечения CalculationList (вид проверки Type, положение сечения x, данные для расчетов a, katet и другие). Тип прикрепления балки программа определяет динамически, так как он зависит от вида балки BeamType: для прикрепления продольной балки прикрепление описано типом TBtoP, а для прикрепления поперечной балки – типом TPtoF. Тип консоли TConsole описывает геометрию консоли продольной балки.

Тип TArgoMProject отвлечен от свойств основных несущих конструкций, он описыват лишь общие параметры как фермы, так и главной балки. Более конкретными являются его типы-наследники TBeamProject и TTrussProject. Структура типа TBeamProject (см. рис. 4) проста, он содержит объект «балка» и объект «опорная стойка».

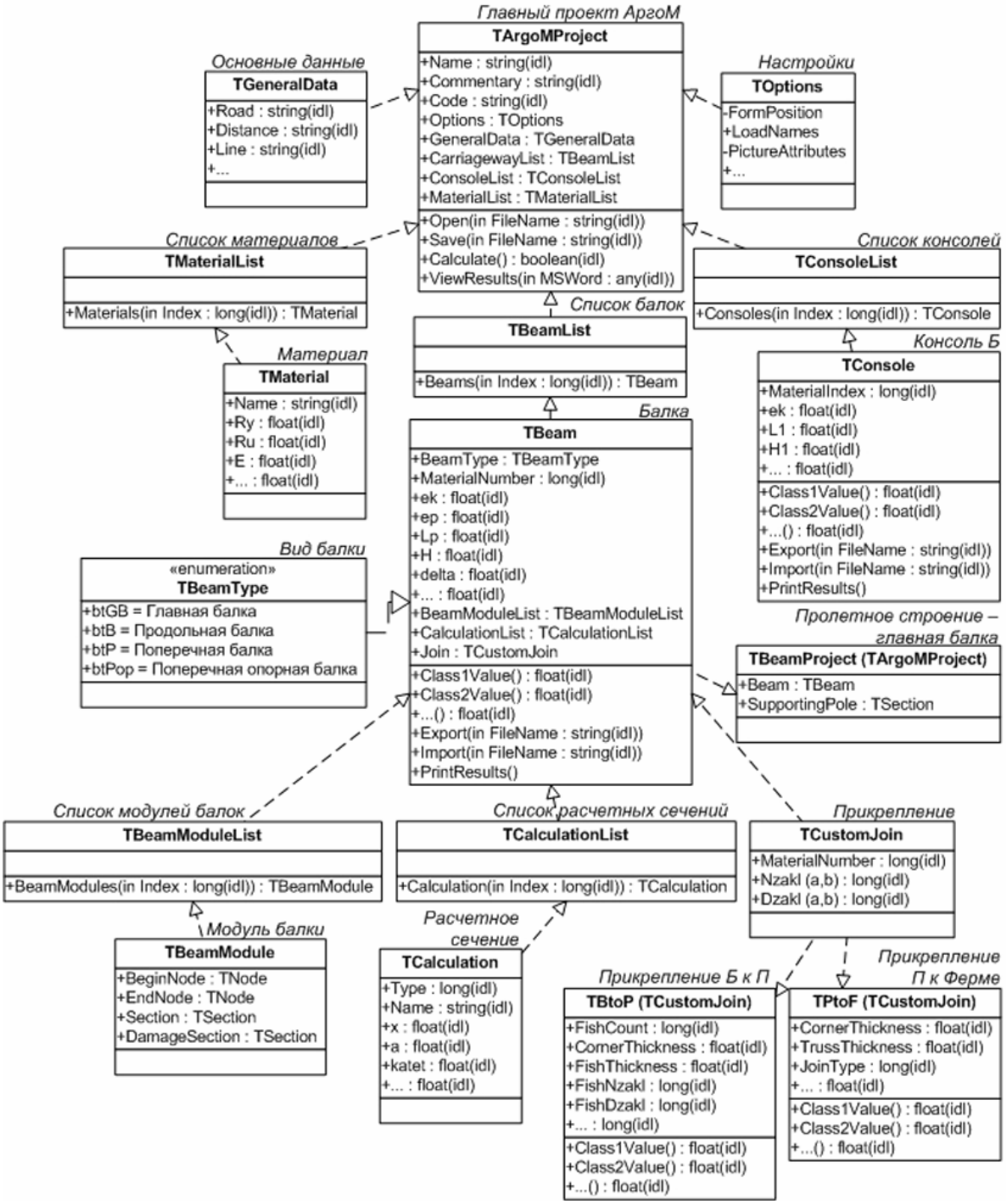


Рис. 4. Структура объектной модели для описания пролетного строения

Схема реализации типа TTrussProject представлена на рис. 5.

Кроме полей, свойств и методов родительского типа, TTrussProject расширен дополнительными данными AdditionData, списками элементов TrussList, сечений SectionList и прикреплений FastenengList. Дополнительные данные необходимы для расчета ферм (описание портальной рамы, данные для расчетов при открытом верхнем поясе и другие). Каждый объект списка элементов фермы характеризует один стержень Truss. В нем содержатся поля с его наименованием Name, положением в пролетном строении BeginNode и EndNode. Сечения Section и прикрепления Fastening целесообразно описывать в соответствующих списках, а идентификацию производить по порядковым номерам – SectionNumber и FasteningNumber. Тип сечения и прикрепления состоит из списка простых элементов (прямоугольные элементы TRectangle, прокатные уголки TCorner и швеллеры TShveller). Среди свойств простых элементов – их местоположение, собственные размеры и геометрические характеристики.

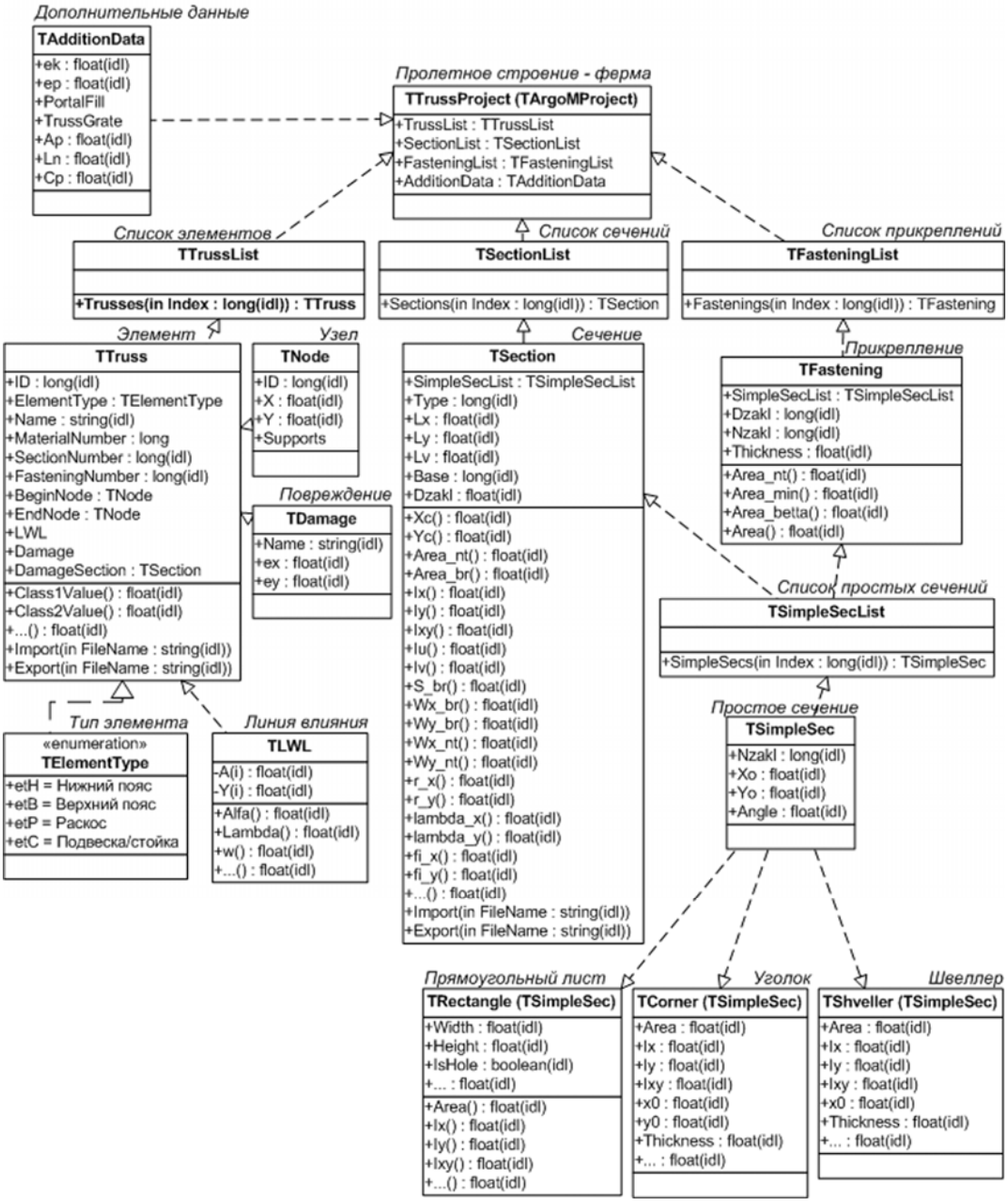


Рис. 5. Структура объектной модели для описания фермы

Использование объектно-ориентированной модели сделало возможным логически выстроить и организовать элементы всей конструкции, описать поведение каждого отдельного звена внутри целого пролетного строения. Любой элемент конструкции соответствует реальному объекту и описан соответствующим типом. Структура каждого типа содержит набор полей (исходных данных) и набор методов их обработки – свойств.

На рис.4 и 5 поля помещены в верхнюю область прямоугольника типа, а свойства – в нижнюю. Свойства, с точки зрения программирования – это функции-обработчики полей объекта. Их результат, как правило, есть основанное на исходных данных вычисление. С точки зрения физического смысла свойство – это интегральная характеристика реального объекта. Например, такое свойство поперечного сечения как момент инерции (Ix на рис. 5), имеет свою функцию, вычисляющую моменты инерции простейших элементов списка SimpleSecList и суммирующую их по известным формулам для приведения геометрических характеристик.

Структура объектов TBeamProject и TTrussProject, разделенная на отдельные элементы, позволяет создавать интерфейсы (динамические библиотеки) редактирования полей только одного конкретного объекта. Общая схема использования такого интерфейса представлена на рис. 6.



Рис. 6. Использование динамической библиотеки

Управляющая программа подготавливает данные для экспорта и вызывает функцию динамической библиотеки для работы с ними. Результат работы пользователя библиотека записывает в этот же набор данных, который управляющая программа впоследствии импортирует. Например, при создании интерфейса редактирования сечений потребовалось использовать тип TSection. В управляющей программе «АргоМ» (см. рис. 3) имеется вызов функции библиотеки, которая реализует интерфейс редактирования типовых сечений. Пример соответствующего кода представлен на рис. 7.

```
1 begin
2  Section.Export (TempFileName);
3  Result := TypicalEditorExecute(TempFileName,
4                                 Application.Handle);
5  if Result = 1 then Section.Import (TempFileName);
6 end;
```

Рис. 7. Код вызова функции редактора типовых сечений

В коде на рис. 7 обозначено:

– Section – поперечное сечение – объект, описанный типом TSection (см. рис. 5);

– Export, Import – методы типа (класса) TSection, позволяющие экспортировать и импортировать данные, описывающие сечение целиком (см. рис. 5) в промежуточный файл;

– TempFileName – имя временного промежуточного файла, для обмена данных класса;

– TypicalEditorExecute – функция динамической библиотеки, вызывающая на экран диалог для редактирования типового сечения;

– Result – возвращаемое функцией TypicalEditorExecute значение. Если результат работы редактора типовых сечений положительный (пользователь подтвердил сделанные изменения), тогда переменной Result присваивается значение, равное единице;

– Application.Handle – дескриптор управляющего приложения.

Преимущество реализованного подхода в том, что составные части комплекса «АргоМ» оказываются независимы друг от друга. Библиотеки интерфейсов и базовый тип TArgoMProject могут быть использованы сторонними программистами в своих разработках. Схема включения его в подобные приложения представлена на рис. 8.

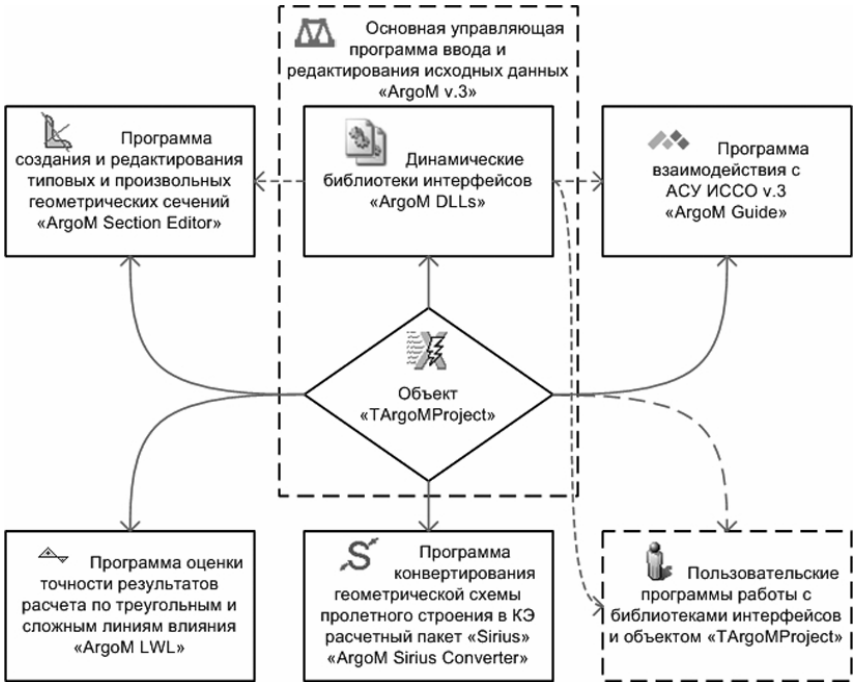


Рис. 8. Схема включения объекта TArgoMProject в интерфейсные приложения

По данной технологии были разработаны управляющие программы: «ArgoM Sirius Converter» (конвертирование данных из «АргоМ» в конечно-элементный расчетный пакет Sirius, разработанный в СГУПС); «ArgoM LWL» (программа оценки точности определения усилий по линиям влияния для разных нагрузок, разработана автором), а также являющийся частью рассматриваемой Автоматизированной системы – «Проводник АргоМ в АСУ ИССО» («ArgoM Guide»).

Основные возможности «ArgoM Guide» таковы:

1. «ArgoM Guide» предоставляет пользователю АСУ ИССО интерфейс расчета грузоподъемности пролетных строений выбранных сооружений. Связь программ осуществлена по COM-технологии (см. рис. 3) при помощи встроенного в АСУ объекта автоматизации. «Проводник АргоМ» получает от АСУ ИССО сформированный пользователем список сооружений, пролетные строения которых подлежат расчету. Такой подход удобен и нагляден для инженера, который визуально оперирует списком интересующих его сооружений, размещенных на рабочем столе АСУ ИССО.

2. Определение грузоподъемности металлических пролетных строений выбранного сооружения или списка сооружений. Для осуществления расчета пользователь имеет в распоряжении полноценное расчетное ядро и основной управляющий интерфейс корректировки данных программы «АргоМ v.3» (см. рис. 3). Для удобства описания наиболее распространенных дефектов реализована универсальная возможность быстрого их ввода. Для задания сплошной коррозии элементов ферм или балок, выколов в балках и т.д. предусмотрены специальные интерфейсные диалоги и функции.

3. Запись результатов расчета в базу данных, где они будут использованы модулем определения условий пропуска поездных нагрузок.

Важнейшим элементом в функционировании рассматриваемой автоматизированной системы является банк данных конструкций типовых и типичных пролетных строений. Металлические пролетные строения железнодорожных мостов всегда были и остаются предметом исследования НИЛ мостовых конструкций НИИЖТа-СГУПСа. За десятки лет деятельности по изучению технического состояния мостов сотрудниками лаборатории была накоплена, систематизирована и каталогизирована обширная информация по металлическим конструкциям мостов. Сейчас в базу АСУ ИССО включен каталог типовых и типичных металлических пролетных строений (свыше 400 штук). На его основе формируется расширенный каталог для расчетов этих конструкций.

С появлением «АргоМ v.3» схема обмена данными в рамках АСУ ИССО v.3 (совместно с БД АСУ ПХ) стала следующей (рис. 9).



Рис. 9. Обмен данными в рамках автоматизированного комплекса по расчету грузоподъемности металлических пролетных строений «АргоМ v.3»

На основе натурных обследований и изучения технической документации пользователь готовит данные для расчета конструкции, используя программу «АргоМ v.3». При их помощи модуль «ArgoM Guide» подготавливает и записывает в «БД АРГО М» следующую информацию:

– данные для условий пропуска нагрузки по сооружению (классы элементов пролетного строения);

– данные для расчета, которые соотносятся с пролетным строением выбранного на рабочем столе АСУ ИССО v.3 сооружения;

– данные для расчета, которые записываются в каталог типовых и типичных конструкций (если это пролетное строение таковым является).

База «АРГО М» является составной частью БД АСУ ИССО, которая, в свою очередь, входит в состав БД АСУ ПХ. Так формируется база данных для расчета металлических пролетных строений.

Следует отметить наличие в БД ИССО электронного каталога поездных нагрузок (свыше 100 схем) и подвижного состава (около 400 схем). Информация представлена наименованием нагрузки, схемой поезда в осях и нагрузками на ось. Наличие в БД ИССО необходимой для расчета грузоподъемности информации, каталога обращающихся поездных нагрузок делает возможным автоматизировать расчет грузоподъемности и условий пропуска, открывает потенциальные возможности для проведения прямых расчетов на заданную эксплуатационную нагрузку.

Преимущества прямого расчета, выполненного «прогонкой» реальной схемы поезда по линии влияния, очевидны – учет соотношения расстояний между осями поезда, уточненный расчет элементов пролетных строений со сложным не треугольным очертанием линий влияния усилий, учет особенностей работы конструкции (пространственная расчетная схема, совместная работа проезжей части с главными фермами и т.д.), учет дефектов, вносящих перераспределение усилий в элементах (упирание свободного торца пролетного строения в соседнее пролетное строение или устой, заклинивание опорных частей, перекос подферменных камней) и другие.

Но так как действующее руководство пока предписывает определять грузоподъемность пролетного строения методом классификации, прямой расчет может быть использован лишь в исследовательских и научных целях, для сравнения и анализа результатов. Выполненные автором расчеты показывают, что, например, приведение многозначных нетреугольных линий влияния к треугольной форме в методе классификации может давать ошибку при определении усилий от реальной временной нагрузки до 45 %.

В настоящее время на железных дорогах успешно эксплуатируют многофункциональную программу по расчету грузоподъемности металлических пролетных строений на основе действующего руководства 1987 года «АргоМ v.3». Представленный комплекс получил широкое распространение в мостостанциях, а также ряде научных и образовательных учреждений (СГУПС, МИИТ). Это означает, что уже сейчас существует возможность централизованных автоматизированных расчетов грузоподъемности железнодорожных мостов, в том числе с использованием прямого метода оценки несущей способности на заданную нагрузку.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время разработана и внедрена третья версия расчетного комплекса по оценке грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов «АргоМ v.3».

2. В базу данных АСУ ИССО включен банк типовых конструкций, на основе которого возможно выполнение автоматизированных расчетов металлических пролетных строений.

3. В программу «АргоМ v.3» входят объектная модель пролетного строения и интерфейсные модули, которые могут быть использованы сторонними пользователями в собственных программных разработках, а сама программа приспособлена для дальнейшего развития.

4. Комплекс «АргоМ» имеет потенциальные возможности для реализации методики прямых расчетов элементов пролетных строений на любую эксплуатационную нагрузку.

Среди перспективных задач по развитию автоматизированного комплекса «АргоМ» можно выделить следующие:

1. Реализация методики прямого расчета в рамках железной дороги. Внедрение метода прямого расчета как уточняющего, по сравнению с методом классификации.

2. Расширение базы данных для расчета пролетных строений. Необходимо создать банк данных как можно большего числа конструкций. Это необходимо для автоматизированного определения условий пропуска нагрузки по металлическим пролетным строениям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 1. Руководство по определению грузоподъемности металлических железнодорожных мостов. Утв. Гл. упр. пути МПС 02.08.1985 г. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
2. Правила визначення вантажопідйомності металевих прогонових будов залізничних мостів. Затверждено та надано чинності наказом Міністерства транспорту України від 05.12.2001. – К.: 2003. 382 с.
3. Руководство по пропуску подвижного состава по железнодорожных мостам. Утв. Гл. упр. Пути МПС 04.07.1991. – М.: Транспорт, 1993. – 368 с.
4. Ефимов П. П. Усиление и реконструкция мостов: Монография / СибАДИ. – Омск, 1996. – 154 с.
5. Временное руководство по определению грузоподъёмности мостовых сооружений на автомобильных дорогах. ОДН 218.0.032-2003.
6. Бокарев С. А. Управление техническим состоянием искусственных сооружений железных дорог России на основе новых информационных технологий. – Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2002. – 276 с.
7. Кирста А. А. Автоматизированная система расчета грузоподъемности металлических пролетных строений железнодорожных мостов / А. А. Кирста, А. С. Ткач, А. В. Синицын и др. // Исследования искусственных сооружений на железнодорожном транспорте. М. – 1990. – С. 92–95.
8. Гусев Д. Е. Автоматизированное определение грузоподъемности железобетонных балочных разрезных пролетных строений мостов. Автореф. дис. … канд. техн. наук. – М., 1992. – 20 с.
9. Кирста А. А. Автоматизированная подсистема определения геометрических характеристик составных сечений металлических мостов / А. А. Кирста, В. М. Лобода // Исследования искусственных сооружений на железнодорожном транспорте. – М., 1990. – С. 19–27.

Поступление в редакцию 04.12.2005.

УДК 625.1.001.18:355.4

М. Ф. ФЕСЕНКО (Адміністрація Держспецтрансслужби), А. В. РАДКЕВИЧ (ДИИТ)

ОБҐРУНТУВАННЯ НАУКОВОЇ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРУ І МАСШТАБІВ РУЙНУВАНЬ ЗАЛІЗНИЦЬ НА ОСОБЛИВИЙ ПЕРІОД

Розглянуто ряд окремих задач, які потребують рішення для обґрунтування воєнно-наукової задачі прогнозування характеру і масштабів руйнувань залізниць на особливий період

Рассмотрен ряд отдельных задач, которые необходимо решить для обоснования военно-научной задачи прогнозирования характера и масштабов разрушений железных дорог на особенный период

The article considers a series of separate tasks, which are to be solved for substantiation of the military-scientific task, prognostication of the character and scale of railways destruction for the special period.

Для досягнення цілі дослідження – підвищення точності прогнозу характеру і масштабів руйнувань залізниць, які експлуатуються в інтересах планування технічного прикриття, необхідно рішити воєнно-наукову задачу – розробити методичний апарат для прогнозування можливих обсягів руйнування на залізницях.

Аналіз тактико-технічних даних сучасної високоточної зброї (ВТЗ), тактики її застосування вірогідним супротивником, її кількості на озброєнні дозволяє рекомендувати в розрахунках такі типи бойової частини (БЧ): маса вибухової речовини (С), склад вибухової речовини (ВР) – (Q) та ймовірне кругове відхилення (Е):

У разі нанесення удару по об'єкту керованою авіаційною бомбою (КАБ), (Е КАБ = 3…5 м) бойова частина (БЧ) фугасного типу вибухових речовин заряду (ВРЗ) з масою ВР З = 430 кг, $Q = 1160$ ккал/кг (вірогідність застосування 0,8…0,9) або БЧ об'ємного вибуху калібру 500 кг третього покоління (вірогідність застосування 0,1…0,2).

У разі нанесення удару по об'єкту керованою ракетою (ЕКР) повітряного базування (ЕУР = 1…3 м) з БЧ осколково-фугасного типу з масою ВРЗ З = 136 кг, $Q = 1160$ ккал/кг.

Прогнозування обсягів руйнувань об'єктів (без'ядерний варіант):

- великий міст (м)

$$V^{(\text{ВМ})} = \sum_{i}^{N_{\text{БП}}} L_{\text{руйн}.i}\,, \qquad (1)$$

де $N_{\text{БП}}$ – розрахункова кількість боєприпасів для руйнування великого моста (1-2); $L_{\text{руйн}.i}$ – обсяг руйнувань від попадань *i*-го боєприпасу (сумарна довжина одного (при $i = 1$) – двох прогонових будов максимальної довжини з тих, що залишилися після розгляду попереднього ($i-1$) боєприпасу), м;

- середній міст (м)

$$V^{(\text{СМ})} = L_{2\text{ПС}}\,, \qquad (2)$$

де $L_{2\text{ПС}}$ – сумарна довжина двох (однієї при однопрогоновому мосту) будов у схемі моста, м;

- тунель

$$V^{(\text{ТУН})} = \sum_{i}^{2} V_{\text{ПОРТ}.i} \cdot P_i\,, \qquad (3)$$

де $V_{\text{ПОРТ}.i}$ – обсяг руйнувань *i*-го порталу (залежно від типу ґрунту), тис. м^3; P_i – вірогідність руйнування порталу (0,75);

- вузол

$$V_{ri}^{\text{УЗ}} = \sum_{i}^{N} V_{\text{СТ}.ri}\,, \qquad (4)$$

де $V_{\text{СТ}.ri}$ – обсяг руйнувань споруд (пристроїв) *r*-го вигляду на *i*-й станції, що входить до складу вузла.

- станція

$$V_r^{(\text{СТ})} = K_r \cdot v_r^{(*)} \cdot n_{\text{БП}r} \cdot P_r\,, \qquad (5)$$

де K_r – кількість озброєнь виду *r* на станції, од.; $v_r^{(*)}$ – обсяг руйнувань виду *r* від розрахункового боєприпасу, од. вим.; $n_{\text{БП}r}$ – розрахункова кількість боєприпасів для ураження споруди виду *r*; P_r – вірогідність ураження об'єктів виду *r* у складі комплексної цілі (станції).

Прогнозування обсягів руйнувань ділянок, напрямів, мережі в тилу країни.

Обсяг руйнувань виду r визначається залежністю

$$V_r^{(TK)} = \sum_i^N (v_{\text{ЯД}ir} \cdot P_{\text{ЯД}} + v_{\text{ЗБ}ir} \cdot P_{\text{ЗБ}}), \quad (6)$$

де $v_{\text{ЯД}ir}$ – розрахункові обсяги руйнувань i-го об'єкту по виду робіт (споруд) r від розрахункового калібру ядерного боєприпасу, од. вим.; $v_{\text{ЗБ}ir}$ – розрахункові обсяги руйнувань i-го об'єкту по виду робіт (споруд) r від розрахункової дії неядерними (звичайними) засобами, од. вим.; $P_{\text{ЯД}}$, $P_{\text{ЗБ}}$ – вірогідність дії відповідно ядерними і звичайними боєприпасами (обидві вірогідності рівні 0,5); N – кількість об'єктів на залізничному полігоні (ділянці, напрямі, мережі) з видом робіт (споруд) r

$$v_{\text{ЗБ}ir} = v_{\text{ЗБ}ir}^{(*)} \cdot P_i, \quad (7)$$

де $v_{\text{ЗБ}ir}^{(*)}$ – розрахункові обсяги робіт виду r на i-м об'єкті від удару по ньому противника звичайними боєприпасами, од. вим.; P_i – вірогідність руйнування i-го об'єкту.

$$P_i = P_{\text{Н}i} \cdot P_{\text{ДОС}i} \cdot P_{\text{ПОР}}, \quad (8)$$

де $P_{\text{Н}i}$ – вірогідність нападу противника на об'єкт i; $P_{\text{ДОС}i}$ – вірогідність доставки боєприпасу до об'єкту i; $P_{\text{ПОР}}$ – вірогідність ураження розрахунковими боєприпасами (ВТЗ – 0,8…0,95; некерованими боєприпасами – залежно від виду об'єкту).

$$P_{\text{ДОС}i} = P_{\text{НАД}} \cdot P_{\text{ППО}i}, \quad (9)$$

де $P_{\text{НАД}}$ – надійність засобів доставки (0,9…0,95); $P_{\text{ППО}i}$ – вірогідність подолання системи протиповітряної оборони (ППО) об'єкту i (0,7…0,8 – в загальній системі ППО країни, 0,6…0,8 – в загальній системі оперативних засобів ППО; 0,1…0,2 – при захисті загальновійськовими засобами ППО).

Рішення воєнно-наукової задачі в цілому потребує рішення ряду окремих задач:

1. Обґрунтувати характер і масштаби впливу противника на залізниці та залізничні об'єкти в глибині території (в тилу країни).
2. Виконати аналіз стану мереж залізниць України, на території яких розташовано найбільш багаточисельні сили технічного прикриття.
3. Проаналізувати можливості засобів поразки ймовірного противника в глибину по мірі віддалення від лінії зіткнення військ.
4. Зв'язати глибини можливого впливу вірогідного противника по засобах поразки з експлуатаційним навантаженням на залізницю (зонами підвозу матеріальних засобів).
5. Зробити аналіз можливих варіантів виділення ресурсів для поразки транспортних комунікацій в цілому, і конкретно залізниць, в тому числі по днях операції.
6. З урахуванням характеру і масштабів поразки вірогідним противником об'єктів залізниць, аналізу залізничних мереж України, глибин і термінів нанесення ударів, зон підвозу матеріальних засобів – обґрунтувати оперативно-тилову модель впливу противника на залізницю.
7. На основі оперативно-тилової моделі розробити методику прогнозування обсягів руйнування залізничних ділянок, напрямків і мереж.
8. Обґрунтувати математичні залежності, які дозволяють виконати чисельну оцінку можливих обсягів руйнувань окремих об'єктів, а також ділянок, напрямків і мереж в цілому.
9. Розробити алгоритм роботи програмного комплексу моделювання обсягів руйнування залізниць.
10. Підготувати вихідні дані для розробки та проведення моделювання впливу противника по залізницях України.
11. Обробити і проаналізувати результати експерименту.
12. Виконати воєнно-технічну оцінку методики, яка пропонується по прогнозуванню обсягів руйнування залізничних ділянок, напрямів і мереж.
13. Підготувати рекомендації щодо використання методики, яка пропонується в органах управління Держспецтрансслужби.
14. Сформувати загальні висновки і рекомендації.

Висновки

1. У результаті оцінки можливого характеру ведення бойових дій і їх впливу на роботу транспортних комунікацій, а також аналізу методик прогнозування обсягів руйнування залізниць, можна зробити такі висновки:
2. При веденні локальних війн і збройних конфліктів будуть широко використовуватися самі сучасні засоби поразки, в т. ч. високоточна зброя.
3. У зв'язку з важливістю транспортних комунікацій для забезпечення дій військ та функціонування держави, вони будуть первісними цілями ударів вірогідного противника.
4. По транспортних об'єктах можливо застосування практично всіх засобів поразки, які є на озброєнні в арміях розвинутих держав.

5. Найбільш вірогідно застосування по об’єктах залізничного транспорту фугасних боєприпасів, переважно з високоточними системами наведення. Засоби доставки: авіація і крилаті ракети повітряного і морського базування.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Закон України № 1449-IV від 05.02.2004 р. «Про Державну спеціальну службу транспорту».
2. Проект настанови по діях Залізничних військ України, 2001.
3. Вероятный объём и структура разрушений и восстановления железных дорог в стратегической оборонительной операции на западном театре военных действий (Отчет по теме НИР ВО-88-69. – М.; 191 ВНИО ЖДВ, 1988).
4. Методика прогнозирования возможных обстоятельств и оценки последствий прорывных паводков на объектах и сооружениях железных дорогах при разрушении плотин и гидроузлов Днепрогипротранс, 1991.
5. Тимчасова інструкція розрахунків обсягів відбудов на технічному прикритті об’єктів залізничного транспорту. – К.: ГУЗВ, 1996.

Надійшла до редколегії 29.11.2006.

УДК 691:699.86.002.3

А. Н. ПШИНЬКО, А. В. КРАСНЮК, В. Н. ГРЕБЕННИКОВ (ДИИТ), В. В. ПАЛИЙ, В. И. НАКОНЕЧНЫЙ (Укрзализныця), Н. В. САВИЦКИЙ (ПГАСА)

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НЕОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА «СТТИЗОЛ»

Наведено аналіз теплоізоляційних матеріалів в Україні. Показані переваги розробленого теплоізоляційного неорганічного матеріалу «СТТИЗОЛ» у порівнянні з теплоізоляційними матеріалами, що використовуються сьогодні. Описано основні фізико-механічні характеристики розроблених теплоізоляційних матеріалів.

Приведен анализ использования теплоизоляционных материалов на Украине. Показаны преимущества разработанного теплоизоляционного неорганического материала «СТТИЗОЛ» в сравнении с используемыми сегодня теплоизоляционными материалами. Описаны основные физико-механические характеристики разработанных теплоизоляционных материалов.

The article represents the analysis of use of thermal insulation materials in Ukraine and shows advantages of newly developed inorganic thermal insulation material STTIZOL compared with conventional materials. Description of the main physical and mechanical properties of thermal insulation materials has been provided.

Известно, что на теплоснабжение зданий в Украине ежегодно расходуется 43 млн т условного топлива. Это составляет 45 процентов от общего потребления энергоресурсов страны. В коммунальном хозяйстве на единицу жилой площади в Украине расходуется в 2–3 раза больше энергии, чем в странах Европы. Так, жилые многоэтажные здания потребляют 350…550 кВт ч/м^2 в год, индивидуальные дома коттеджного типа – 600…800 кВт ч/м^2 в год. Вместе с тем за рубежом, например, в Германии, дома усадебного типа потребляют в среднем по стране около 250 кВт ч/м^2 в год, в Швеции – 135 кВт ч/м^2 в год. Лучшие зарубежные образцы жилых зданий потребляют 90…120 кВт ч (м^2 год) [1].

Опыт различных стран в решении проблемы энергосбережения показывает, что одним из наиболее эффективных путей ее решения является сокращение потерь тепла через элементы конструкции зданий, сооружений, промышленного оборудования, тепловых сетей. Подсчитано, что только один квадратный метр теплоизоляции обеспечивает экономию 1,4…1,6 тонны условного топлива в год. В этой связи обращает на себя внимание интенсивное развитие в ряде стран Европейского союза промышленности теплоизоляционных материалов. Основным видом применяемых утеплителей являются минераловатные изделия, доля которых в общем объеме производства и потребления составляет более 65 %. Около 8 % приходится на стекловатные материалы, 20 % – на пенополистирол и другие пенопласты. Доля теплоизоляционных ячеистых бетонов в общем объеме производимых утеплителей не превышает 3 %, вспученного перлита, вермикулита и изделиях на их основе – 2–3 %.

Качество и ограниченная номенклатура отечественных утеплителей, выпускаемых многими предприятиями Украины, не в полной мере отвечает нуждам жилищного строительства. Это позволяет ведущим фирмам западных стран (фирмы «Rockwool» «Partec» и другие), успешно продавать свою продукцию на украинском рынке теплоизоляционных материалов.

Предусмотреное целевыми программами массовое жилищное строительство не может ориентироваться на зарубежные поставки. Потребность этого сектора в эффективных утеплителях ежегодно возрастает и должна быть удовлетворена в основном за счет отечественных производителей.

Исследования, опыт проектирования и применения теплоизоляционных материалов и технологий последних лет показали, что для обеспечения эффективной теплоизоляции необходимы экологически чистые, долговечные, пожаробезопасные материалы из местного сырья, обладающие низким коэффициентом теплопроводности (0,03…0,15 Вт/мК), прочностью при сжатии в пределах 0,2…5,0 МПа, малым водопоглощением (до 5 % по объему). В промышленных объектах к перечисленным добавляется еще целый ряд дополнительных требований, вызванных спецификой их эксплуатации. На-

пример, теплоизоляция промышленных технологических коммуникаций, энергетических радиационноопасных объектов АЭС должна обеспечивать достаточно высокую температуру эксплуатации (до 500 °С), не абсорбировать радионуклиды, обладать устойчивостью к воздействию химических реагентов, не быть токсичными и горючими при повышенных температурах.

Реальный рынок теплоизоляционных материалов практически ограничен всего тремя типами таких изделий: пенопластами (главным образом, пенополистиролом), пено- газобетонами и минеральными ватами. Определенные нормами характеристики этих материалов в сухом состоянии предполагают коэффициенты теплопроводности 0,038…0,05 Вт/мК для пенополистиролов различной плотности, 0,08…0,21 Вт/мК для пено- газобетонов различной плотности и 0,064 Вт/мК для плит минераловатных. Их использование позволяет уменьшить толщину стен по отношению к кирпичу при одинаковом термическом сопротивлении в 7…20 раз.

Рассматривая вопрос увеличения производства отечественных утеплительных материалов, необходимо учитывать и проблемы, связанных с их использованием. Когда говорим о пенопласте, то трудно даже сказать, какое его свойство вызывает наибольшее неприятие. Или это прекрасная горючесть или экологическая опасность. Но самая главная проблема в том, что пенопласт, заложенный в стены через 10–15 лет просто рассыпается и разрушается. Пенопласт проблематично использовать в строительстве именно как теплотехнический материал, рассчитанный на длительный срок эксплуатации. Аналогично обстоит дело с минераловатными изделиями. Уже через несколько лет они переходят в пылевидное состояние, что экологически небезопасно. По данным немецких исследователей полная потеря теплотехнических свойств пенополистирола и пенополиуретана происходит через 10 лет, а стекловолоконных материалов – через 7 лет.

Следовательно, использование пенопласта и минераловатных изделий в строительстве ведет к тому, что уже через 7–10 лет ограждающие конструкции не будут обеспечивать требуемого термического сопротивления.

Из используемых теплоизоляционных материалов только пено- газобетоны являются наиболее безопасными и долговечными материалами. Несмотря на преимущества ячеистых бетонов в сравнении с другими теплоизоляционными материалами, им присущи существенные недостатки. Высокое водопоглощение приводит к низкой влаго- и морозостойкости. Повышенная гидрофобность их снижает адгезию к поверхности и затрудняет штукатурные работы. Низкая прочность в сочетании с большой плотностью и недостаточными теплоизоляционными свойствами сужает область их применения.

Для решения поставленных проблем в отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Материалы и здания для железнодорожного транспорта» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна были проведены исследования и разработаны блоки из пористого теплоизоляционного материала на основе алюмино-силикатного сырья «СТТИЗОЛ». Актуальность разработки была отмечена Государственной администрацией железнодорожного транспорта Украины «Укрзализныця», в результате чего были профинансированы роботы по разработке технических условий на теплоизоляционный материал для широкого внедрения его на рынке Украины [2].

Разработанный теплоизоляционный материал «СТТИЗОЛ» – неорганический вспененный ячеистый материал, получаемый методом вспенивания расплавленных стеклоподобных материалов. Технология производства материала «СТТИЗОЛ» разработана в Украине, защищена соответствующими патентными документами и использует в процессе производства оборудование, материалы и сырье, производимые предприятиями Украины и доступные на украинском рынке. В таблице приведены основные технические характеристики материала.

Таблица

Основные технические характеристик и материала «СТТИЗОЛ»

Плотность	кг/м^3	150…550
Теплопроводность	Вт/мК	0,04
Сопротивление на сжатие	кг/см^2	15…160
Коэффициент расширения	град К	$9,0\times10^{-6}$
Модуль упругости	МН/м^2	500…1500
Шумопоглащение	Дб	28
Капилярность	%	0
Диапазон темп, °С	мин	–250
Диапазон темп, °С	мах	+550
Срок службы	лет	не ограничен

Герметичная замкнутость стеклянных ячеек материала «СТТИЗОЛ» обуславливает его непроницаемость для пара и влаги, постоянство теплопроводности и прочности, высокую сопротивляемость выдуванию ветром в течение многих десятков лет. Кроме того, прочная ячеистая структура «СТТИЗОЛ» делает его пригодным для изоляции поверхностей, находящихся под нагрузкой, предотвращая его расслоение, усадку и набухание материала.

По прочностным, теплоизоляционным характеристикам, негорючим свойствам, долговечности, стойкости к воздействию агрессивных сред и колебаниям температур «СТИЗОЛ» заметно превосходит все предлагаемые в настоящее время на строительном рынке теплоизоляционные материалы.

Ниже приведены (рис. 1) преимущества материала «СТТИЗОЛ» в сравнении с другими теплоизоляционными материалами.

Долговечность и стабильность свойств во времени. Наиболее важное преимущество предлагаемого материала перед прочими теплоизоляционными материалами – это долговременный срок эксплуатации, при котором материал абсолютно не изменяет своих физических свойств, т. к. представляет собой на 100 % вспененное стекло. Именно это делает его особенно устойчивым к химически- и биологически активным средам, а также к термическому воздействию. Вскрытие объектов термоизолированных пеностеклом более 50 лет назад не выявили никаких изменений в структуре материала.

Прочность. «СТТИЗОЛ» по этим показателям не только значительно превосходит материалы, входящие в группу теплоизоляционных материалов особо низкой и низкой плотности, но и не уступает по прочности большинству более плотных материалов из группы средней плотности.

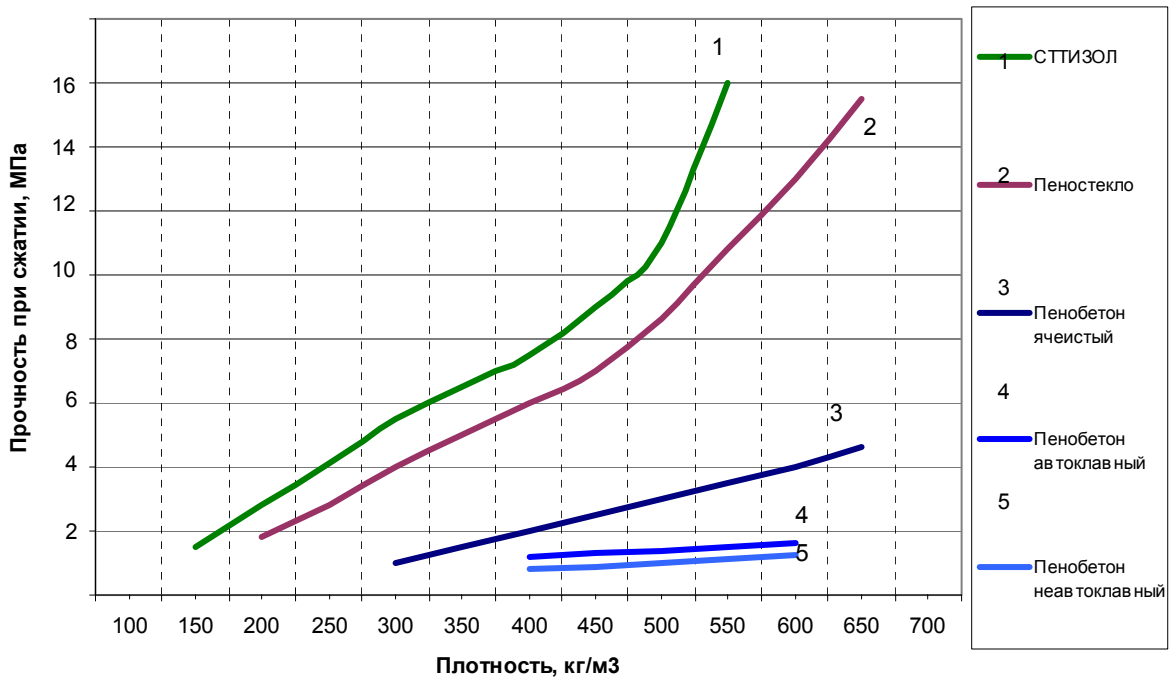


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии от плотности материалов

Огнестойкость, горючесть, выделение газов и паров при нагревании. По своей химической структуре «СТТИЗОЛ» – вспененное силикатное стекло (аморфное тело), состоящее из расплава высших оксидов кремния, кальция, натрия, алюминия и магния. Материал не содержит никаких органических соединений или химических веществ за исключением вышеперечисленных. Как известно, высшие оксиды совершенно не окисляются, не горят и не воспламеняются. Предлагаемый материал не горит и не воспламеняется (даже в приточном кислороде), огнестойкий (размягчение материала наступает только при температурах выше 500 °С, плавление – выше 1 500 °С), не выделяет газов и паров при нагревании.

Теплоизоляционные свойства. Полученный материал обладает высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами (рис 2). Техническая характеристика образцов «СТТИЗОЛ», в сравнении с традиционно используемыми в строительстве теплоизоляционными материалами и изделиями:

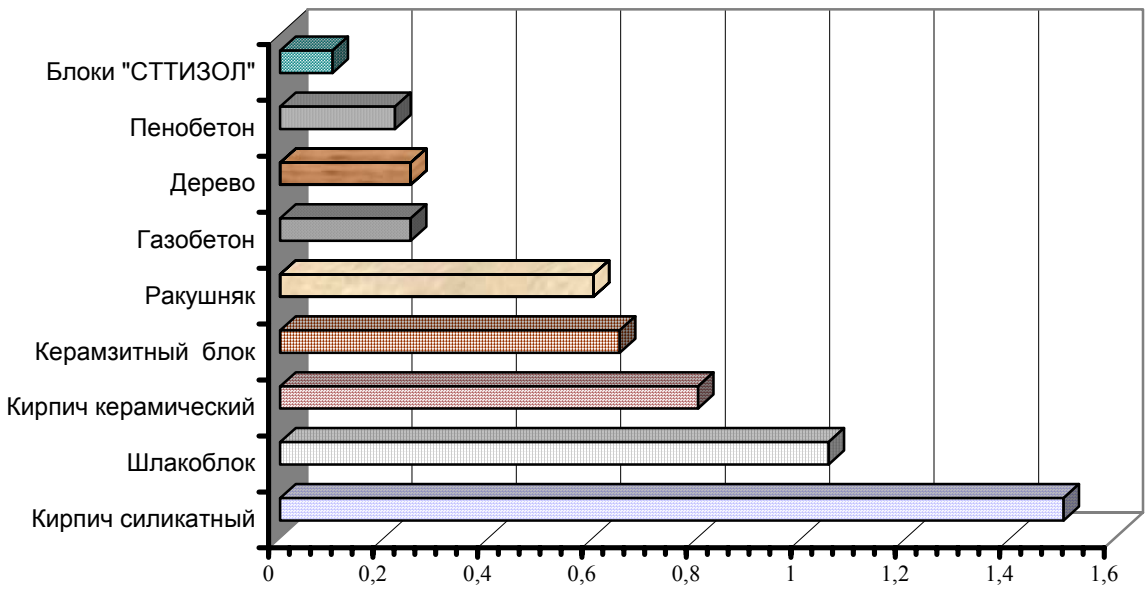


Рис. 2. Анализ свойств теплоизоляционных материалов

Механическая обработка, методы крепления. «СТТИЗОЛ» как прочный теплоизоляционный материал способен без всякого дополнительного крепления выдерживать давление, обусловленное собственным весом, в пределах двух этажей. Это позволяет производить теплоизоляционные работы простым и недорогим способом обычной облицовки. В дополнение к этому стоит отметить тот факт, что предлагаемый материал отлично клеится, крепится и связывается любым штукатурным составом, клеем, мастикой и т.п.

Устойчивость в химически и биологически активной среде. «СТТИЗОЛ» абсолютно устойчив ко всем химическим реагентам как неорганической, так и органической природы. Исключение составляет лишь плавиковая кислота – не слишком распространенное химическое соединение. Активная биологическая среда также не может оказать сколько-нибудь заметного влияния на материал, так как в нем полностью исключена почва для развития любых активных жизненных форм. Самой интересной особенностью материала при взаимодействии с биологическими формами является абсолютная (и уникальная — присущая только этому материалу) способность быть «непроходимым» для всех грызунов и насекомых.

Водопоглощение и гигроскопичность, влаго- и паропроницаемость, устойчивость к разрушению водой и водяным паром. «СТТИЗОЛ» представляет собой материал из замкнутых стеклянных ячеек, имеющих сферическую и гексагональную форму. Среди всех представленных на рынке теплоизоляционных материалов этот материал наиболее устойчив к воздействию влаги и пара. Гигроскопичность материала равна нулю**.** Его сорбционная влажность близка к нулю (менее 0,5 %) даже в атмосфере со стопроцентной влажностью. Водопоглощение при полном погружении в жидкость не превышает 5 % от общего объема материала и обусловлено лишь накоплением влаги в поверхностном слое разрушенных при механической обработке ячеек.

Экологическая безопасность. Высокая экологическая и санитарная безопасность материала, без каких бы то ни было ограничений разрешает применять «СТТИЗОЛ» для теплоизоляции промышленных пищевых холодильников и теплоизоляционной футеровки емкостей, применяемых при изготовлении пищевых продуктов.

Использование материала «СТТИЗОЛ» в строительстве позволяет создавать энергосберегающие строения значительно легче обычных и, при общем удешевлении строительства на 20…25 %, позволяет застраивать площади на слабых и заболоченных грунтах в регионах с очень холодным и жарким климатом, проводить реконструкцию существующих зданий. При этом все конструкции, здания и сооружения, построенные с использованием материала «СТТИЗОЛ», будут обеспечивать значительное снижение катастрофических последствий при техногенных и природных воздействиях (пожары, землетрясения).

Выводы

В результате проведенных исследований разработан теплоизоляционный материал «СТТИЗОЛ». Проведены комплексные испытания и разработаны технические условия.

Исследования показали целесообразность создания промышленного производства теплоизоляционного неорганического материала «СТТИЗОЛ». Это станет прогрессивным шагом в развитии промышленности стройматериалов, направленым на расширение украинского рынка теплоизоляционных материалов и изделий, отвечающих новым требованиям современного строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пшинько А. Н. Теплоизоляционные изделия на основе алюмино-силикатного сырья / А. Н. Пшинько, В. Н. Гребенников, С. В. Федоренко и др. // Залізничний трансп. України. – 2005. – № 2. – С. 64–66
2. Технічні умови «Блоки з пористого теплоізоляційного матеріалу» ТУ У В.2.7-26.1-00034045-001:2006

Поступили в редколлегию 13.06.2006.

УДК 624.21:625.1

В. П. ТАРАСЕНКО, Б. В. САВЧИНСКИЙ, В. И. СОЛОМКА, Б. Д. СУХОРУКОВ,
М. К. ЖУРБЕНКО, Т. Ф. ХАРИТОНОВА, С. В. КЛЮЧНИК (ДИИТ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО РАЗВОДНОГО МОСТА ПОД СОВМЕЩЕННУЮ ЕЗДУ

Наводено особливості роботи розвідного моста під сумісну їзду, результати оцінки технічного стану і випробувань натягнення підвісних канатів розвідного моста з вертикально-підйомною прогоновою будовою.

Приводятся особенности работы разводного моста под совмещенную езду, результаты оценки технического состояния и испытаний натяжения подвесных канатов разводного моста с вертикально-подъемным пролетным строением.

The article describes peculiarities of operation of the draw-bridge for combined traffic, the results of technical evaluation and tightness tests of the suspended cables of the drawbridge with vertically lifted span structure.

Мосты под совмещенную езду имеют железнодорожный проезд и автопроезд, которые располагаются в одном или в разных уровнях. При расположении автопроезда в уровне верхних поясов на подходах к русловой части моста устраиваются обычно эстакады, насыпи и развязки. Разводные мосты под железную дорогу обычно проектируются с вертикально-подъемными пролетными строениями. На разводных мостах под совмещенную езду при расположении езды в разных уровнях для пропуска судов может подниматься на необходимую высоту подъемное пролетное строение или только проезжая часть его. В последнем случае при разводке движение автотранспорта по мосту не прекращается.

Эксплуатация разводных мостов под совмещенную езду связана с проблемами обеспечения надежной и согласованной работы всех конструкций мостового перехода, механизмов и систем автоматики, сигнализации и блокировки для безопасного и бесперебойного движения поездов, автотранспорта и пропуска крупногабаритных судов. Вместе с этим исследований об условиях работы и организации содержания таких мостов недостаточно. Отраслевой научно-исследовательской лабораторией искусственных сооружений Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна в 2005 году с целью диагностики технического состояния и условий работы конструкций и механизмов сооружения были проведены обследования и испытания большого металлического моста под совмещенную езду.

Мост построен в 1955 году по проекту «Трансмостпроекта». Главное русло реки глубиною до 15 м перекрыто металлическими пролетными строениями со сквозными главными фермами с ездой понизу пролетами по 66,0 м. В судоходном пролете расположено вертикально-подъемное пролетное строение, благодаря чему в разведенном состоянии обеспечивается подмостовой габарит высотою 30,0 м. В наведенном положении разводного пролета высота подмостового габарита составляет 9,0 м.

Мост запроектирован под один железнодорожный путь и две полосы автопроезда шириною по 4,5 м, расположенные на консолях с двух сторон за пределами главных ферм. Металлические консоли являются продолжением поперечных балок железнодорожного проезда. На консоли опираются металлические продольные балки и железобетонная плита автопроездов. Расчетные нагрузки, принятые при проектировании: железнодорожная Н-8, автодорожные Н-13 и НГ-60.

С учетом геологических условий и большой глубины подмостового русла фундаменты русловых опор возведены на высоких свайных ростверках с наклонными металлическими трубчатыми завинчивающимися сваями длиною до 30,0 м, а береговые опоры – на свайных фундаментах с металлическими, железобетонными и деревянными забивными сваями длиной по 10…12 м. Металлические трубчатые сваи заполнены бетоном с установкой арматурных каркасов. Завинчивающиеся сваи у нижних концов имеют башмаки, оснащенные винтовыми лопастями диаметром 2,2 м.

Обследование моста выполнено в соответствии с требованиями норм ДБН В.2.3-6-2002 [1]. Перед обследованием конструкций моста и механизмов подъемного пролета в натуре проведено изучение истории сооружения и имеющейся технической документации. При детальном обследовании сооружения выявлялись и анализировались имеющиеся дефекты в конструкциях моста, механизмах и подвесных канатах вертикально-подъемного пролетного строения. В целом состояние конструкций и механизмов разводного пролета по результатам проведенного обследования удовлетворительное. Однако за время пятидесятилетней эксплуатации моста в конструкциях накопилось значительное количество дефектов, вызванных недостатками проектных решений, недостатками содержания и другими факторами.

Наиболее существенные дефекты, касаются нарушения стабильности положения береговых опор, неравномерности натяжения и износа подвесных канатов разводного пролета.

В результате сравнения результатов выполненной съемки продольного профиля на мосту с предыдущими съемками было установлено, что осадки береговых опор (устоев и примыкающих к ним промежуточных опор), наблюдавшиеся еще при строительстве и в начальный период эксплуатации моста, не прекратились полностью до настоящего времени.

Осадки опор 2-4 практически прекратились, опора 1 имеет относительно небольшую величину осадки (на протяжении последних 34 лет в среднем по 1 мм за один год). Осадки опор 0, 5 и 6 за период с 1962 г по настоящее время не стабилизировались и составляют в среднем за один год соответственно 4,5 мм, 2,7 мм и 4,3 мм. За последний период (с 1971 года) темп возрастания осадок опор 0 и 5 несколько замедлился, и величины осадок составляют в среднем за 1 год 3,6 мм для опоры 0 и 2,2 мм – для опоры 5.

Следует отметить, что осадки опор сопровождаются их продольным креном, что приводит к появлению остаточных деформаций на подвижных опорных частях. Для дальнейших наблюдений необходимо регулярно проводить нивелировку по фиксированным точкам на опорах 0, 1, 5 и 6 через каждые два года с привязкой к надежным постоянным реперам на обоих берегах реки.

Для разводных мостов с вертикально-подъемными пролетными строениями весьма важным требованиям является обеспечение прочности и надежности подвесных канатов. На данном мосту вес подъемного пролетного строения под совмещенную езду составляет 1020 тс. Для подвешивания разводного пролетного строения использовано 56 стальных канатов диаметром 52 мм по ГОСТ 3071-46, которые разделены на 4 группы по 14 канатов в каждой группе. По условиям работы канатов и требованиями инструкции Укрзализници ЦП-0103 [2] необходимо обеспечить передачу одинакового усилия на каждый из канатов в группе.

Измерение фактического натяжения каждого каната во время испытаний проводилось с использованием специально разработанной методики, которая была создана на основе исследований напряженно-деформированного состояния предварительно напряженных гибких нитей при действии поперечных нагрузок [3; 4]. При этом учитывались местные условия, расположение канатов, длина, диаметр и количество канатов в группе, характер прикрепления канатов, возможность доступа к канатам и другие.

По результатам испытаний наибольшие отклонения натяжения отдельных канатов от средних величин в группе канатов оказались достаточно высокими и достигали 21…28 процентов. С использованием результатов испытаний были рассчитаны для каждого каната необходимые данные для регулирования натяжения канатов – усилия регулирования и соответствующие им величины подтяжки или отпуска гаек в концевых элементах прикрепления канатов к пролетному строению. В таблице приведены результаты испытаний и необходимые величины для регулирования натяжения канатов в группах 1 и 2. В приведенной таблице для величин необходимого регулирования усилий в канатах и подтяжки (или отпуска) гаек знак «плюс» соответствует увеличению натяжения канатов, а знак «минус» – уменьшению. Аналогичные результаты получены и для канатов групп 3 и 4.

Существенными дефектами, влияющими на несущую способность канатов, являются износ их и обрывы проволок канатов. При обследовании состояния подъемных канатов было выявлено, что наибольший износ канатов в виде «лысок» наблюдается на концевых участках канатов на поверхностях, которые контактируют с металлом канавок главных шкивов в начальной стадии разводки моста вследствие некоторого проскльзывания канатов. Ширина «лысок» на проволоках канатов (диаметром 2,4 мм) достигает 1,8…1,9 мм.

Было установлено, что изнашиваются не отдельные проволоки канатов, а происходит массовый износ. Износу канатов способствует неравномерность их натяжения.

Таблица 1

Результаты испытаний и рекомендации по регулированию натяжения канатов в группах 1 и 2

Группа канатов	Номер каната	Отклонение от среднего натяжения, %	Усилие регулирования напряжения, тс	Величина необходимого натяжения гаек	
				мм	поворотов гаек
1. Низовая сторона над опорой 2	1	–2,97	+0,54	+0,82	+0,21
	2	–20,81	+3,79	5,75	+1,44
	3	+5,45	–0,99	–1,5	–0,38
	4	+11,55	–2,1	–3,19	–0,80
	5	1,54	–0,28	–0,43	–0,11
	6	–21,31	+3,88	+5,89	+1,47
	7	+0,88	–0,16	–0,24	–0,06
	8	+7,16	–1,30	–1,98	–0,50
	9	9,64	–1,75	–2,66	–0,66
	10	–18,50	+3,36	+5,12	+1,29
	11	+8,26	–1,50	–2,28	–0,57
	12	+11,56	–2,10	–3,19	–0,80
	13	–10,46	+1,90	+2,89	+0,72
	14	+18,06	–3,29	–5,00	–1,25
	Всего по группе канатов	+74,10	+13,47	+20,47	+5,13
		–74,05	–13,47	–20,47	–5,13
2. Верховая сторона над опорой 2	1	+12,30	–2,24	–3,40	–0,85
	2	–25,52	+4,64	+7,05	+1,76
	3	+10,53	–1,92	-2,92	–0,73
	4	+0,27	–0,05	-0,08	–0,02
	5	–10,26	+1,87	+2,84	+0,71
	6	+13,86	–2,52	–3,83	–0,96
	7	+8,22	–1,50	–2,28	–0,46
	8	+19,18	–3,49	–5,30	–1,32
	9	–28,10	+5,11	+7,77	+1,94
	10	–14,78	+2,69	+4,09	+0,98
	11	+4,46	–0,81	–1,23	–0,31
	12	9,40	–1,71	–2,60	0,–65
	13	–18,97	+3,45	+5,24	+1,31
	14	+19,18	–3,49	–5,30	–1,32
	Всего по группе канатов	+97,40	+17,76	+26,99	+6,77
		–97,63	–17,73	–26,94	–6,75

На основе анализа результатов проведенного обследования моста, инструментальных измерений и испытаний подвесных канатов разводного пролета разработаны рекомендации по выполнению необходимых капитальных и ремонтных работ и условий дальнейшей эксплуатации моста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ДБН В.2.3-6-2002 «Мости та труби. Обстеження і випробування» Держбуд України. – К., 2002. – 25 с.
2. Інструкція з експлуатації та поточного утримання розвідних вертикально-підйомних прогонових будов залізничних мостів. ЦП-0103. Головне управління колійного господарства Укрзалізниці. – К., 2003. – 69 с.
3. Тарасенко В. П. Анализ напряженно-деформированного состояния предварительно напряженных гибких нитей при загружении их сосредоточенными силами // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.– Д., 2006. – Вип. 11. – С. 162–165.
4. Прочность, устойчивость, колебания: Справочник / Под ред. И. А. Бюргера, Я. Г. Пановко. Т. 1. – М.: Машиностроение. 1968. – С. 187–197.

Поступила в редколлегию 29.05.2006.

УДК 624.15.001

В. Г. ШАПОВАЛ, А. В. ШАПОВАЛ, В. В. КАПУСТИН (ПГАСА)

МЕТОД ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАДАЧАХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ СВОЙСТВОМ ПОЛЗУЧЕСТИ

Запропоновано алгоритм розрахунку методом граничних елементів (МГЕ) напружено-деформованого стану (НДС) водонасичених ґрунтових основ, яким властива повзучість. Основною відмінністю модифікації МГЕ, яка рекомендується, від загальноприйнятого варіанту є можливість прогнозу трансформації НДС ґрунтових основ у часі з урахуванням їх реологічних властивостей.

Предложен алгоритм расчета методом граничных элементов (МГЭ) напряженно-деформированного состояния (НДС) водонасыщенных грунтовых оснований, обладающих свойством ползучести. Основным отличием рекомендуемой модификации МГЭ от общепринятого варианта является возможность прогноза трансформации НДС грунтовых оснований во времени при учете их реологических свойств.

The aticle offers a calculation algorithm of the tensed & deformed state (TDS) of the water-saturated soil bases, possessing the quality of «creep», by the boundary element method (MBE). The main difference of the recommended modification of MBE from the generally accepted option is a possibility of forecasting the transformation of TDS of ground bases in time with account of their rheological properties.

В инженерной практике достаточно часто возникает необходимость прогноза напряженно-деформированного состояния водонасыщенных грунтовых оснований, находящихся под воздействием переменной во времени местной нагрузки. Эта проблема возникает при строительстве на слабых водонасыщенных грунтах, когда необходимо оценить величину порового давления в основании при его расчете по несущей способности, при прогнозе скоростей осадок фундаментов зданий и сооружений в процессе их возведения и эксплуатации, совместном расчете НДС зданий и сооружений на водонасыщенном основании и т. д. [1; 2].

Задача расчета в данном случае формулируется так. Известны конфигурация и размеры в плане загруженной области. Известны величины и закон изменения во времени действующей на отдельные фрагменты загруженной области внешней нагрузки. Известны упругие и реологические свойства: модуль упругости, коэффициент Пуассона, коэффициент консолидации, вид и параметры ядра ползучести грунтового скелета. Требуется определить НДС основания в расчетный момент времени t.

Решение задачи в указанной постановке методом конечных элементов (МКЭ) малоперспективно ввиду ее большой размерности, поскольку в данном случае добавляется новая координата – время. Уместно отметить, что обычно даже решение пространственных задач в статической постановке с использованием МКЭ в ряде случаев вызывает значительные трудности, обусловленные значительным числом неизвестных (т. е. большой размерностью матриц). В этой связи перспективным является использование метода граничных элементов [3].

Применительно к рассматриваемой задаче использование классического метода граничных элементов невозможно, поскольку в данном случае коэффициенты влияния (т. е. элементы матрицы податливости) зависят от времени, коэффициента консолидации, вида и значений параметров ядра ползучести грунтового скелета [4]. В этой связи проблемой является определение коэффициентов влияния, позволяющих учесть особенности решаемой задачи. На решение этой проблемы и направлены изложенные в настоящей работе исследования.

Определение коэффициентов влияния выполнялось следующим образом. Вначале их определение было выполнено в рамках модели упругой изотропной водонасыщенной среды, а затем полученные таким образом результаты были обобщены на случай наследственно – упругой водонасыщенной среды. Для нахождения коэффициентов влияния в рамках модели упругой изотропной водонасыщенной среды в качестве фундаментального было использовано точное решение задачи о сосредоточенной вертикальной силе, приложенной к верхней границе водонасыщенного полупространства (аналог задачи Буссинеска) [5–7], которое имеет вид

$$S^{\Phi}(r,t)=\frac{Q(t)}{4\cdot\pi\cdot G\cdot r}+\frac{1}{4\cdot\pi\cdot G}\int_0^{\infty}J_0(\alpha\cdot r)\times$$

$$\times\int_0^{t}\left\{Q(\tau)\cdot F[r,\nu,\alpha,(t-\tau)]\cdot d\tau\right\}\cdot d\alpha, \quad (1)$$

где

$$F(r,\nu,\alpha,t) = \frac{\partial\left\{(1-\nu)\cdot\left[1+erf(a\sqrt{t})\right]+\nu\cdot e^{-b^2t}erfc(c\sqrt{t})\right\}}{\partial t},$$

где $S^{\Phi}(r,t)$ – осадка точки поверхности основания с координатами (x,y), обусловленная фильтрационной консолидацией в момент времени t;

$$r=\sqrt{x^2+y^2};$$

$Q(t)$ – вертикальная сосредоточенная сила; G – модуль сдвига основания; ν – коэффициент Пуассона основания; $J_0(x)$ – функция Бесселя первого рода с нулевым индексом; α – параметр, имеющий размерность перемещения (метры); τ – то же, имеющий размерность времени; $erf(x)$ – интеграл вероятности;

$$erfc(x)=1-erf(x);\quad a^2=\alpha^2\cdot c_k;$$

$$b^2=\frac{(1-2\nu)}{(1-\nu)^2}\alpha^2 c_k;\quad c^2=\frac{\nu^2}{(1-\nu)^2}\alpha^2\cdot c_k;$$

c_k – коэффициент консолидации при компрессии [4–8].

Равенство (1) содержит несобственный интеграл, который в общем случае можно вычислить только численно. В этой связи подынтегральная функция была аппроксимирована нами рядами экспонент. В этом случае приближенное решение задачи после вычисления несобственных интегралов имеет вид

$$S^{\Phi}(r,t)\approx\frac{Q(t)}{4\cdot\pi\cdot G\cdot r}+\frac{1}{4\cdot\pi\cdot G}\times$$

$$\times\int_0^t Q(\tau)\cdot\left[\sum_{i=1}^{10}a_i\cdot\sum_{j=1}^{i}b_j\cdot\varphi_j^{/}(C_k,t-\tau,r)\right]\cdot d\tau, \quad (2)$$

где $\varphi_j^{/}=0$ при $j=1$ и

$$\varphi_j'=-\frac{1}{2}\frac{d^2(j-1)^2}{\left[r^2+d^2(j-1)^2C_k(\ t-\tau)\right]^{\frac{3}{2}}}$$

при $j>1$.

Здесь a_i и d – установленные в ходе аппроксимации подынтегральной функции коэффициенты, зависящие от коэффициента Пуассона ν; b_j – коэффициенты смещенных полиномов Чебышева [8]. Значения коэффициентов a_i и d представлены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов	Коэффициент Пуассона ν							
	0	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
d	8,91E-01	9,58E-01	9,53E-01	9,73E-01	9,63E-01	1,350863	6,72E-01	0
a_1	1,606773	1,371392	1,313537	1,252509	1,192316	1,118534	1,07112	1
a_2	–5,33E-01	–3,15E-01	–2,60E-01	–2,07E-01	–1,53E-01	–1,05E-01	–4,60E-02	0
a_3	–1,16E-01	–7,68E-02	–6,85E-02	–5,63E-02	–4,54E-02	–1,84E-02	–2,19E-02	0
a_4	3,99E-02	1,76E-02	1,22E-02	8,28E-03	4,18E-03	5,42E-03	–4,38E-03	0
a_5	8,14E-03	5,10E-03	4,85E-03	3,80E-03	3,13E-03	–3,67E-04	9,12E-04	0
a_6	–7,25E-03	–3,28E-03	–2,46E-03	–1,75E-03	–1,09E-03	–3,39E-04	4,23E-04	0
a_7	1,32E-03	5,10E-04	2,35E-04	1,45E-04	7,22E-06	2,30E-04	–1,21E-04	0
a_8	5,82E-04	2,45E-04	2,41E-04	1,71E-04	1,36E-04	–9,98E-05	–3,08E-05	0
a_9	–5,19E-04	–2,06E-04	–1,58E-04	–1,16E-04	–6,76E-05	3,13E-05	2,24E-05	0
a_{10}	1,73E-04	7,03E-05	4,72E-05	3,69E-05	1,36E-05	–4,56E-06	–7,01E-07	0

При определении коэффициента влияния для прямоугольного граничного элемента с размерами b и L (т. е. осадки точки основания с координатами x и y), в (2) следует положить:

$$dQ = q(t)\cdot d\xi\cdot d\eta\,,$$

$$r = \sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}$$

и проинтегрировать полученное таким образом равенство по площади (рисунок). Здесь $q(t)$ – действующая в пределах граничного элемента распределенная нагрузка.

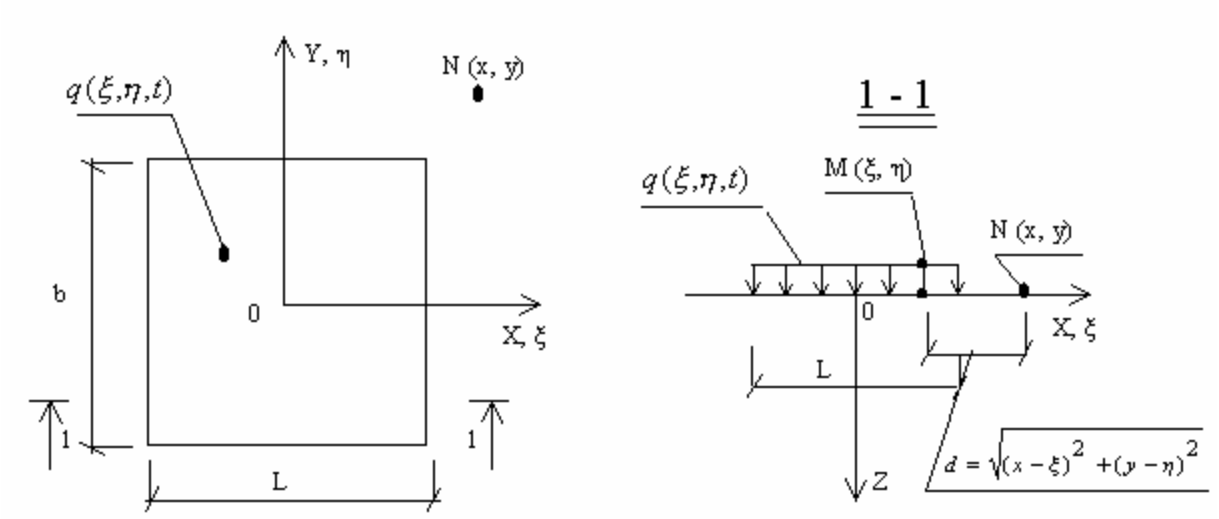


Рис. К определению коэффициента влияния матрицы податливости для прямоугольного граничного элемента

Имеем

$$S^{\phi}(x,y,t) = A(x,y)\times$$

$$\times\left\{q(t)+\int_0^t K^{\phi}\left[x,y,(t-\tau)\right]\cdot q(\tau)\cdot d\tau\right\}, \quad (3)$$

где

$$A(x,y) = \int_{-b/2}^{b/2} d\eta \int_{-L/2}^{L/2} \frac{d\xi}{4\pi G\cdot\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2}}$$

и

$$K^{\Phi}\left[x,y,(t-\tau)\right] = \frac{1}{4\pi GA(x,y)}\times$$

$$\times \int_{-b/2}^{b/2}\int_{-L/2}^{L/2}\left[\sum_{i=1}^{10} a_i \sum_{j=1}^{i} b_j \varphi'_j(C_k, t-\tau, x, y, \xi, \eta)\right]\times$$

$$\times d\eta d\xi\,.$$

Если требуется определить осадку в точке с координатами (x_j, y_j), а центр граничного элемента находится в точке с координатами (x_i, y_i), то в (3) следует положить

$$x = x_j - x_i \quad \text{и} \quad y = y_j - y_i\,.$$

Аналогичным образом определяются коэффициенты влияния для граничных элементов треугольной, круглой и иной формы.

Для того, чтобы учесть влияние на осадки точки с координатами (x, y) ползучести грунтового скелета используем принцип Вольтерра [9]. Пусть $K(t,\tau)$ – ядро ползучести грунтового скелета [4; 6]. Тогда в соответствии с принципом Вольтерра для учета ползучести грунтового скелета упругие константы (в данном случае это модуль сдвига G) следует заменить интегральными операторами вида

$$\frac{Y(t)}{\tilde{G}} = \frac{1}{G}\left[Y(t)+\int_0^t Y(\tau)\cdot K(t,\tau)\cdot d\tau\right].$$

Имеем

$$S(x,y,t) = S^{\Phi}(x,y,t) +$$

$$+\int_0^t S^{\Phi}(x,y,\tau)\cdot K(t,\tau)\cdot d\tau\,. \quad (4)$$

Положив в (4)

$$K^*\left(x,y,z,t\right) = K^{\Phi}\left[x,y,\left(t-\tau\right)\right] + K\left(t,\tau\right) +$$

$$+\int_{\tau}^{t} K\left(t,\xi\right)K^{\Phi}\left[x,y,\left(\tau-\xi\right)d\xi\right],$$

найдем

$$S(x,y,t) = A(x,y)\left\{q(t)+\int_0^t K^*\left[x,y,t,\tau\right]q(\tau)d\tau\right\}. \quad (5)$$

В классическом варианте метода граничных элементов коэффициентом влияния B^{ij} называют перемещение центра *i*-го граничного элемента, возникающее под воздействием постоянной единичной нагрузки на *j*-м граничном элементе [3]. Поскольку в рассматриваемом случае перемещение является функцией координат и времени, коэффициентом влияния назовем интегральный оператор вида

$$\tilde{B}^{ij} q(t) = S(x_j - x_i, y_j - y_i, t) =$$

$$= A(x_j - x_i, y_j - y_i) \times$$

$$\times \left\{ q(t) + \int_0^t K^* \left[x_j - x_i, y_j - y_i, t, \tau \right] q(\tau) d\tau \right\}. \quad (6)$$

В этом случае осадка в центре *i*-го граничного элемента в момент времени t, вызванная действующими в пределах каждого из N граничных элементов нагрузками, определится путем суперпозиции:

$$S_i(t) = \sum_{j=1}^{N} \tilde{B}^{ij} \cdot q_j(t) =$$

$$= \sum_{j=1}^{N} S(x_j - x_i, y_j - y_i, t) = \sum_{j=1}^{N} \left\{ A(x_j - x_i, y_j - y_i) \times \right.$$

$$\left. \times \left[q_j(t) + \int_0^t K^*(x_j - x_i, y_j - y_i, t, \tau) \cdot q_j(\tau) \cdot d\tau \right] \right\}. \quad (7)$$

Если известны упругие и реологические свойства основания, величины и закон изменения во времени нагрузок, действующих в пределах каждого из граничных элементов, равенство (7) позволяет определить осадку *i*-го граничного элемента в любой момент времени *t*.

Если заранее известны осадки основания $S_i(t)$ и не известны величины и закон изменения во времени нагрузок действующих в пределах каждого из граничных элементов (такая ситуация имеет место при решении контактных задач), мы придем к системе уравнений вида:

$$\sum_{j=1}^{N} \tilde{B}^{ij} \cdot q_j(t) = S_1(t);$$

$$\sum_{j=1}^{N} \tilde{B}^{ij} \cdot q_j(t) = S_2(t);$$

……

$$\sum_{j=1}^{N} \tilde{B}^{ij} \cdot q_j(t) = S_N(t),$$

или в матричной форме

$$\left[\tilde{B}^{ij} \right] \cdot \vec{q}_i(t) = \vec{S}_i(t), \quad (8)$$

где $\left[\tilde{B}^{ij} \right]$ – скалярная матрица, описывающая упругие и реологические свойства основания; $\vec{q}_i(t)$ – вектор неизвестных нагрузок в граничных элементах; вектор $\vec{S}_i(t)$ – заданных (известных заранее) перемещений центров граничных элементов. В заключение отметим, что поскольку в данном случае неизвестными являются нагрузки $\vec{q}_i(t)$, то равенства (8) являются системой канонических уравнений метода граничных элементов в форме метода сил.

Построив матрицу, обратную матрице $\left[\tilde{B}^{ij} \right]$, т. е. $\left[\tilde{R}^{ij} \right] = \left[\tilde{B}^{ij} \right]^{-1}$, и умножив обе части (8) на матрицу $\left[R^{ij} \right]$, мы придем к системе уравнений вида

$$\left[\tilde{R}^{ij} \right] \cdot \vec{S}_i(t) = \vec{q}_i(t). \quad (9)$$

Если в данном случае неизвестными являются перемещения центров граничных элементов, то равенства (9) являются системой канонических уравнений метода граничных элементов в форме метода сил.

В заключение необходимо отметить, что если основание не обладает свойством ползучести, то в равенствах (4)–(9) следует положить $K(t, \tau) = 0$. При этом, если ползучестью грунтового скелета можно пренебречь, то в равенствах (4)-(9) следует положить $C_k \to \infty$. Кроме того, изложенный выше алгоритм допускает естественное обобщение на задачи определения напряжений и задачи смешанного типа.

Выполненные нами исследования позволили сделать такие выводы.

1. В рамках модели основания в виде упругой водонасыщенной среды, обладающей свойством ползучести получены коэффициенты влияния метода граничных элементов.

2. Получены системы канонических уравнений предложенной нами модификации метода граничных элементов в форме метода сил и метода перемещений.

3. Область применения полученных нами результатов – определение НДС водонасыщенных грунтовых оснований, решение контактных задач геомеханики и совместный расчет конструкций на грунтовом основании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абелев М. Ю. Слабые водонасыщенные грунты как основания сооружений. – М.: Стройиздат, 1973. – 288 с.
2. Ухов С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник. – М.: Изд. АСВ, 1994. – 527 с.
3. Крауч С. Методы граничных элементов в механике твердого тела / С. Крауч, А. Старфилд – М.: Мир, 1987. – 328 с.
4. Зарецкий Ю. К. Теория консолидации грунтов. – М.: Наука. – 270 с.
5. Швец В. Б. Общее решение пространственной задачи теории взаимосвязанной фильтрационной консолидации / В. Б. Швец, В. Г. Шаповал // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1994. – № 5. – С. 19–21.
6. Шаповал В. Г. Прогноз процессов уплотнения находящихся под воздействием циклической и постоянной во времени нагрузки пылевато-глинистых оснований. – Д.: ПГАСА, 1996. – 22 с.
7. Шаповал В. Г. Алгоритм построения разложений в асимптотические ряды при нахождении обратного преобразования Лапласа в задачах тепломассопереноса и фильтрационной консолидации / В. Г. Шаповал, А. В. Шаповал, Е. С. Титякова // Світ геотехніки. – 2005. – № 4. – С. 12–16.
8. Корн Г. и Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1974. – 840 с.
9. Работнов Ю. Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 384 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2006.

УДК 669.715:656

И. П. ВОЛЧОК, О. В. ЛЮТОВА (Запорожский национальный технический университет)

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ТРАНСПОРТНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

Алюмінієві сплави широко використовують у транспортному машинобудуванні, будівельній та електротехнічній промисловостях. Внаслідок цього щорічно збільшується кількість відходів та скрапу алюмінію, що потребує повторної переробки. У роботі розглядається технологія підвищення щільності, механічних та службових властивостей вторинних алюмінієвих сплавів.

Алюминиевые сплавы широко применяются в транспортном машиностроении, строительной и электротехнической промышленности. Вследствие этого ежегодно растет количество отходов и скрапа алюминия, которые требуют повторной переработки. В работе рассматривается технология повышения плотности, механических и служебных свойств вторичных алюминиевых сплавов.

Aluminium alloys are widely used in transport machinery, building and electrical industry. Owing to this reason, considerable volumes of aluminium waste and scrap are produced. The technology of increasing the density, mechanical and service properties of reusable aluminium alloys is considered in the paper.

Благодаря малой плотности, хорошей коррозионной стойкости и достаточно высокой удельной прочности алюминиевые сплавы по широте применения занимают второе место после стали и чугуна. Темпы производства и освоения крылатого металла впечатляют: 1855 год – 0,006 т; 1885 – 15 т; 1900 – 8000 т; 1920 – 128 000 т; 1946 – 681000 т; 1999 – 24 млн т; 2004 – 31 млн т первичного алюминия. Структура использования алюминия и его сплавов в Европе следующая: транспортное машиностроение – 26 %, строительная индустрия – 20 %, упаковочные материалы – 20 %, электротехническая промышленность – 9 %, другие сферы – 25 % [1].

Широкое применение алюминия и сплавов на его основе в транспортном машиностроении определяется высокими показателями удельной прочности, повышенной коррозионной стойкостью, а также способностью к демпфированию колебаний и большому поглощению энергии. Эти показатели особенно важны при производстве железнодорожного и автомобильного транспорта. В связи с этим темпы использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях имеют устойчивую тенденцию к росту (рис. 1). Эксперты считают, что максимально возможный предел использования алюминиевых сплавов в легковом автомобиле составляет 200 кг.

По данным фирм Volvo, Mercedes, выпускающих большегрузные автомобили, в грузовом автомобиле можно использовать в среднем до 2000 кг алюминия и его сплавов. Себестоимость таких автомобилей выше серийных, однако, эта разница окупается уже после 16 месяцев эксплуатации. За 10 лет использования таких автомобилей обеспечивается снижение выбросов угарного и углекислого газов в окружающую атмосферу на 60 т, а экономия на топливе при эксплуатации за этот период составляет порядка 18000 евро.

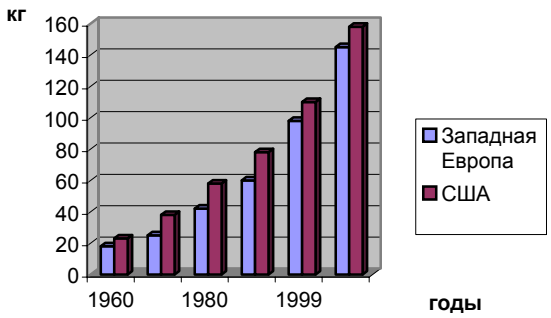


Рис. 1. Динамика использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях

Высокая потребность в алюминии обусловлена его малой плотностью; локомотивы, суда, вагоны, автомобили, изготовленные из стали, слишком массивны. Доля полезного груза в автотранспорте составляет 10…20 %, в железнодорожном – 40…50 %, т. е. более половины энергии расходуется на транспортирование самого транспортного средства. Экспериментально установлено, что при замене 12 % стальных деталей на алюминиевые, полезная нагрузка и количество перевозимых пассажиров увеличились на 40 %. При широком использовании алюминия в поездах метро и трамваях в два

раза снижается потребление электрической энергии при разгонах и торможениях. В аэрокосмической промышленности элементы фюзеляжа, крыльев, топливные и баки криогенных жидкостей, корпуса ракет изготавливаются из алюминиевых сплавов; в железнодорожном транспорте в Европы на сегодняшний день 80 % вагонов изготовлены с использованием алюминиевых сплавов (фирмой «Xitachi» произведено более 200 шт. железнодорожных вагонов из алюминиевых прессованных панелей) [1].

Следует отметить, что стоимость алюминиевых сплавов превышает стоимость чугунов, углеродистых и низколегированных сталей. В связи с этим замена сплавов на основе железа алюминиевыми сплавами часто оказывается целесообразной лишь при условии использования в качестве шихты дешевого вторичного алюминия. В мире наиболее крупными потребителями алюминия и соответственно поставщиками его скрапа являются: машиностроение, транспорт, строительная промышленность (табл. 1).

Таблица 1

Образование скрапа при производстве и применении изделий из алюминия [2]

Отрасль	Изделие	Жизненный цикл, лет	Образование скрапа в производстве, %	Коэффициент сбора лома изделий, %
Транспорт	Пассажирский самолет	25…30	100…122	85…90
	Автомобиль	12…15	25…43	50…85

По расчетам Международного института алюминия (IAI) в мире накопилось около 400 млн т алюминия. В последние годы возрос интерес к силуминам, которые обладают удовлетворительным сочетанием литейных, механических, служебных свойств. Получение вторичных силуминов экономически целесообразно и требует в 20 раз меньших затрат, чем на изготовление первичных [3].

Для успешного и широкого применения этих сплавов необходимо обеспечить в них благоприятную структуру и высокие свойства на первоначальных стадиях получения металла. С целью снижения пористости, улучшения структуры и механических свойств силуминов, шихта которых состояла из лома и отходов производства алюминия, опробованы три варианта технологии обработки жидкого расплава стандартными флюсами и модифицирующе-рафинирующими комплексами [4] в количестве 0,05 и 0,075 % от массы жидкого металла.

Промышленные плавки сплава АК12М2 проводили в пламенной печи отражательного типа EHW5000.

Суть вариантов заключалась в следующем: I – плавка под покровным флюсом (33 % KCl +67 % NaCl) с последующим рафинированием путем продувки флюса Ф1 (15 % Kl + 45 % NaCl + 40 % AlF_3) через расплав с помощью воздуха.

II, III – плавка под покровным флюсом с последующим рафинированием и модифицированием путем продувки флюса Ф2 (в количестве 0,05 и 0,075 % от массы жидкого металла соответственно) по патенту 58793А (Украина) через расплав с помощью азота.

Литая структура полученного по I варианту металла представляла собой α-твердый раствор, по границам которого неравномерно расположена эвтектика. Также в структуре сплава присутствовала беспорядочно направленная иглообразная железосодержащая фаза $FeSiAl_5$ (рис. 2, *а*).

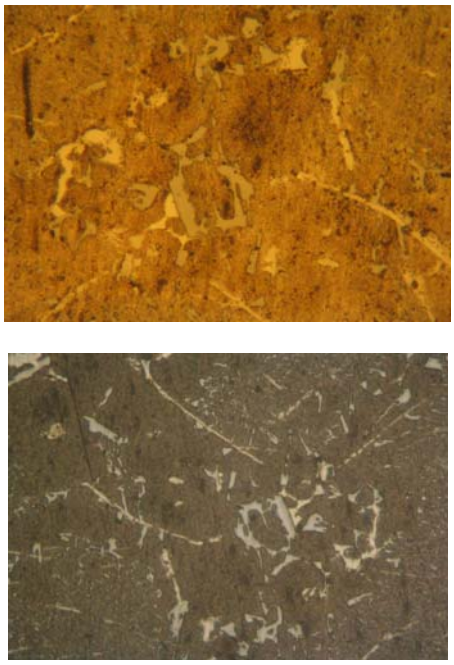


Рис. 2. Микроструктура сплава АК12М2 (технологический вариант I):
а – в литом состоянии; *б* – термическая обработка по режиму Т5. Х200

С целью получения высокой прочности и сохранения повышенного уровня пластичности была проведена термическая обработка по режиму Т5 (закалка + кратковременное искусственное старение).

Структура сплава после термической обработки стала более однородной, значительно изменилась форма кремния и железосодержащей фазы, она стала более дисперсной (см. рис. 2, *б*). Химический состав и механические свойства полученного металла приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

Химический состав вторичного сплава АК12М2

Варианты	Обработка флюсом в печи, %		Химический состав, мас %				
	Ф1	Ф2	Si	Cu	Fe	Mn	Mg
I	0,05	–	12,2	1,67	0,83	0,20	0,42
II	–	0,05	11,9	1,65	0,89	0,22	0,46
III	–	0,075	12,0	1,63	0,87	0,21	0,41

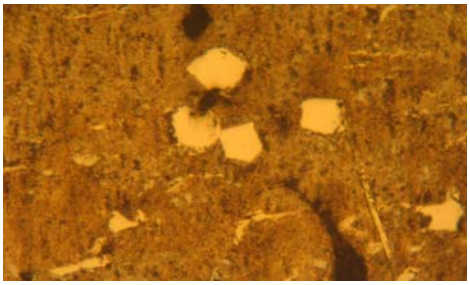
Таблица 3

Механические свойства вторичного сплава АК12М2

Варианты	$\sigma_в$, МПа		δ, %		ψ, %		HRB		Балл пористости, ГОСТ1583-93
	без Т/О	Т5	без Т/О	Т5	без Т/О	Т5	без Т/О	Т5	
I	109,7	178,9	2,2	1,7	2,0	1,5	48	65	4
II	119,6	208,4	3,4	2,7	3,6	2,5	52	63	3
III	122,1	229,0	4,4	2,8	4,8	2,6	53	72	1…2

В структуре литого металла второго варианта присутствовали очень крупные включения кремния и железосодержащей фазы, которая приобрела форму многогранников (рис. 3, *а*).

а



б

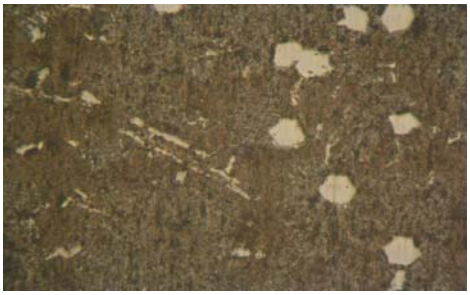


Рис. 3 Микроструктура сплава АК12М2 (технологический вариант II):
а – в литом состоянии; *б* – термическая обработка по режиму Т5. Х200

Прочность литого металла в сравнении с первым технологическим вариантом увеличилась на 9,9 МПа, относительное удлинение на 1,2 %, относительное сужение на 1,6 %, твердость на 4 HRB (см. табл. 3). Такое повышение свойств обусловлено более благоприятной плотной модифицированной структурой, содержащей мелкодисперсную эвтектику и железосодержащую фазу компактной формы.

Термическая обработка по режиму Т5 способствовала измельчению всех присутствующих фаз и обеспечила более равномерное их распределение в плоскости шлифа (см. рис. 3, *б*). Прочность увеличилась на 29,5 МПа, удлинение на 1 %, относительное сужение на 1 %, твердость осталась практически неизменной.

При увеличении присадки рафинирующе-модифицирующей смеси до 0,075 % от массы жидкого металла (технологический вариант III) структура литого металла состоит из зерен α-твердого раствора, по границам которых расположена мелкодисперсная эвтектика. В ее состав входят следующие фазы: кристаллический кремний,$CuAl_2$, Mg_2Si, $W(Al_xMg_5Si_4Cu_4)$ [5].

Кроме эвтектики, в сплаве содержится железосодержащая фаза, которая благодаря модифицированию приобрела форму китайских письмен и гексагональных глобулей (рис. 4, *а*).

Так как суммарное содержание марганца и железа превышает 0,8 %, то согласно [6] фаза с формой китайских письмен и гексагональных глобулей имеет формулу $(FeMn)_3Si_2Al_{15}$.

Механические свойства полученного сплава в литом состоянии превышают I технологический

вариант по пределу прочности на 12,4 МПа, относительному удлинению – на 2,2 %, относительному сужению на 1,1 %, твердости – 8 HRB.

а

б

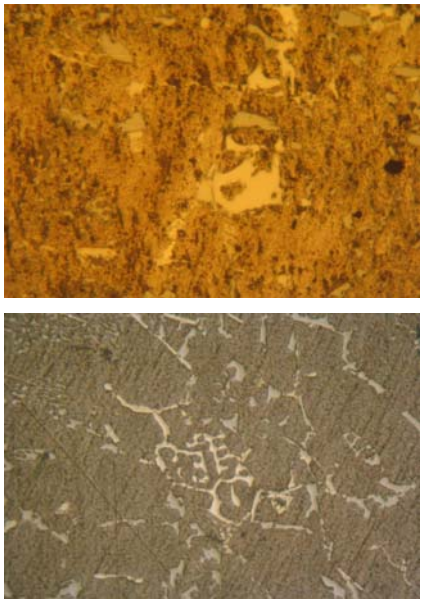


Рис. 4. Микроструктура сплава АК12М (технологический вариант III):
а – в литом состоянии; *б* – термическая обработка по режиму Т5. Х200

Структура термообработанного по режиму Т5 сплава представляла собой α – твердый раствор со значительным количеством мелкодисперсных фаз округлой формы (см. рис. 4, *б*). Такая форма в наименьшей степени снижала механические свойства сплава (см. табл. 3). В сравнении с технологическим вариантом I было достигнуто повышение предела прочности на 50,1 МПа, относительного удлинения – на 1,1 %, относительного сужения – на 1,1 %, твердости – на 8 HRB.

Таким образом, наилучший комплекс свойств по результатам испытаний достигается при использовании III технологического варианта ($Ф2 = 0,075$ % от массы жидкого металла). В результате дополнительной обработки жидкого металла рафинирующе-модифицирующим флюсом (патент Украины 58793А) было достигнуто повышение предела прочности на 10…15 %, относительного удлинения на 10…20 %, твердости на 15…20 % сплава АК12М2 по сравнению с заводской технологией производства. Пористость в результате обработки снизилась с 3…4 до 1…2 баллов по ГОСТ 1583-93.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Okamura H. Friction stir welding of aluminium alloy and application to structure H. Okamura, K. Aota, M. Erumi / // J. of Jap. Institute of Light Metals. – 2000. – 50, № 4. – P. 166–172.
2. Макаров Г. С. Российский рынок вторичного алюминия // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 5/25. – С. 70–73.
3. Рязанов С. Г. Технико-экономические аспекты получения и использования вторичных алюминиевых сплавов / С. Г. Рязанов, А. А. Митяев // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001. – № 2. – С. 92–93.
4. Патент 58793А Украина, МКИ с22В21/ 06,С22В9/10. Флюс для обработки алюминиевых сплавов. / И. П. Волчок, А. А. Митяев, С. Г. Рязанов (Украина) №2002108362: – Заявлено 22.10.2002; Опубл. 15.08.2003; Бюл. №8.
5. Аристова Н. А. Термическая обработка литейных алюминиевых сплавов / Н. А. Аристова, И. Ф. Колобнев. – М.: Металлургия, 1977. – 143 с.
6. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 639 с.

Поступила в редколлегию 11.05.06.

УДК 669.26+669.275+669.28/:621.359

Т. Е. ДОРОГАНЬ, Д. В. ГЕРАСИМЕНКО (ДИИТ)

ПОКРЫТИЯ СПЛАВАМИ ХРОМА С МОЛИБДЕНОМ И ВОЛЬФРАМОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УЗЛОВ МАШИН

Досліджено фазовий склад електроосаджених зносостійких покриттів сплавами хрому з молібденом і вольфрамом. Основні результати роботи можна використовувати у машинобудуванні для збільшення терміну експлуатації вузлів, що працюють за умови високих питомих навантажень, а також для відновлення відпрацьованих деталей.

Исследован фазовый состав электроосажденных износостойких покрытий сплавами хрома с молибденом и вольфрамом. Основные результаты работы могут быть использованы в машиностроительном производстве для увеличения срока эксплуатации узлов, работающих при высоких удельных нагрузках, а также для восстановления изношенных деталей.

The article studies phase composition of etlectrically settled wear-proof coatings of the chromium alloys with tungsten and molybdenum. The basic finding may be applied in machine-building for increasing the service life of units, working under large specific loadings, and for the restoration of the worn-out parts.

Проблема повышения стойкости поверхности против износа и коррозии остро стоит в области модернизации и ремонта подвижного состава железнодорожной отрасли.

Проблема прочности тугоплавких металлов и сплавов представляет значительный теоретический интерес, так как она непосредственно связана с характером межатомной связи, особенностями движения и взаимодействия дефектов кристаллического строения. Создание оптимального комплекса механических свойств тугоплавких металлов невозможно в рамках классического металловедения и требует привлечения современных методов и представлений физики твердого тела. Экспериментально обнаружена четкая корелляция между изменением механических свойств и структурным состоянием, создаваемым в процессе пластической деформации, а также при термомеханической обработке.

Легирование в большинстве случаев направлено на создание двухфазных систем, в частности дисперсионно-упрочненных, с матрицей на основе тугоплавких металлов.

Создание дисперсионно-упрочненных систем, в которых мелкодисперсные фазы остаются физически и химически стабильными при высоких температурах, – один из наиболее перспективных путей повышения высокотемпературной длительной прочности тугоплавких металлов, в особенности группы хрома, где возможности твердорастворного упрочнения крайне ограничены.

Широко применяющиеся в настоящее время хромовые покрытия не обеспечивают необходимой долговечности изделий и требуемого качества поверхности. Легирование хрома тугоплавкими металлами позволяет повысить твердость, жаропрочность и износостойкость покрытий. Однако совместное электролитическое осаждение хрома с такими металлами, как молибден и вольфрам, встречает трудности вследствие гидролизации в кислой среде электролита солей этих металлов.

Предметом настоящего исследования являются двойные и тройные сплавы молибдена и вольфрама с хромом. Согласно различным литературным источникам обнаружены четыре аллотропических модификации хрома, однако, аллотропия надежно не доказана.

Согласно равновесной диаграмме состояний в системе $Cr - Mo$ при 1 350 °С находятся в равновесии два твердых раствора, причем со стороны хрома твердый раствор имеет гексагональную решетку ($a = 0{,}2762$ нм; $c = 0{,}4393$ нм). По термохимическим данным при 40 ат. % молибдена существует замкнутая область несмешивания. При 1400 °С наблюдали фазу с неизвестной структурой [1; 2].

В системе $Cr - W$ полная взаимная растворимость наблюдается не во всем температурном интервале. При температурах ниже 1 500 °С существует значительная область ограниченной растворимости в твердом состоянии. Содержание вольфрама в твердом растворе хрома при 1000 °С составляет около 20 вес. %. В равно-

весных условиях в системе $Cr-W$ в диффузионных парах при 1350 °С наблюдали тетрагональную фазу примерного состава Cr_3W ($a = 0{,}3117$ нм; $c = 0{,}3189$ нм) [1; 2].

В условиях электрокристаллизации сплавов известные методы не обеспечивают выделения молибдена и вольфрама в количестве свыше 1…3 %. Поэтому была поставлена задача получения сплавов с повышенным содержанием тугоплавкого компонента за счет совершенствования технологии нанесения покрытий; получение покрытий более высокой твердости и износостойкости; устранение загрязнения рабочего раствора соединениями свинца и трехвалентного хрома; работоспособность в широком интервале концентраций компонентов, что позволит уменьшить частоту корректировок.

Нами разработана технология гальванического нанесения покрытий сплавами $Cr-Mo$, $Cr-W$, $Cr-Mo-W$, включающая серию электролитов на базе сернокислых растворов, применяющихся для твердого хромирования, и специфический способ их проработки.

Исследование структуры сплавов проведено методами рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии. Установлено, что нелегированные покрытия хромом имели объемно центрированную кристаллическую решетку с периодом $a = 0{,}2872$ нм и твердость 9 000…10 000 МПа. Покрытия сплавами $Cr-Mo$ с содержанием молибдена до 3 %, имели однофазную структуру твердого раствора на основе ОЦК–хрома, а свыше 3 % молибдена были двухфазными. Сплавы $Cr-W$ также имели гетерофазную структуру.

Наиболее высокой твердостью и износостойкостью обладали сплавы $Cr-Mo-W$ с содержанием вольфрама до 3 % и молибдена до 8 %. Указанные сплавы состояли из твердого раствора на основе ОЦК–хрома ($a = 0{,}2883$ нм) и неравновесной фазы 1 с гексагональной решеткой типа Co_3W (D019) (табл. 1).

Как показано на рисунке, неравновесная фаза кристаллизовалась в виде ориентированных зерен, объединенных в сферические агрегаты или линейные цепочки.

С целью исследования износостойкости покрытия наносили на поверхность прокатного инструмента, изготовленного из стали 60С2ХФА, и опробовали в производственных условиях.

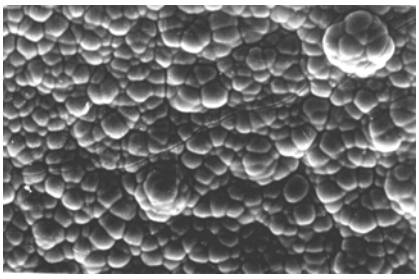
Рентгеновские исследования поверхности оправок после деформации указывают на появление текстуры в направлении (211) и образование вторичной структуры (фаза 2) предположительно гексагонального строения.

Таблица 1

Межплоскостные расстояния неравновесных фаз в сплавах Cr–Mo–W

Фаза 1		Фаза 2	
№ п/п	d/n, нм	№ п/п	d/n, нм
1	0,2227	1	0,2578
2	0,2087	2	0,2396
3	0,2076	3	0,2056
4	0,1800	4	0,1668
5	0,1613	–	–
6	0,1268	–	–
7	0,1249	–	–
8	0,1082	–	–
9	0,0999	–	–

а



б

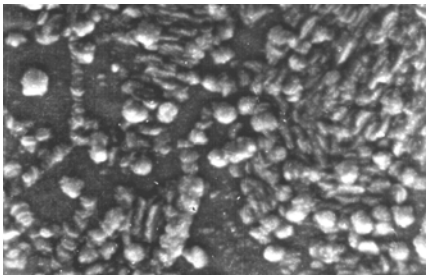


Рис. Топология поверхности покрытий сплавами: *а* – $Cr-W$; *б* – $Cr-Mo-W$

Твердость покрытий сплавом $Cr-Mo-W$ повышалась с увеличением содержания в них молибдена, причем в результате эксплуатации отмечено значительное деформационное упрочнение поверхности покрытий (табл. 2).

Стойкость инструмента по сравнению с борированным или хромированным, подготовленным по общепринятым технологиям, увеличивалась в 2…5 раз [3; 4].

Согласно послойным замерам на косых шлифах твердость покрытий является осциллирующей функцией с периодом порядка 30 мкм и зависит от удаленности слоя от подложки, что можно объяснить неравномерностью протекания фазовых превращений.

Таблица 2

Твердость покрытий Cr – Mo – W
на трубном инструменте до и после прокатки

Микротвердость, МПа		Mo, %	Количество проката, полученного на 1 оправке (ХПТР), м	Степень упрочнения, %
Начальная	После прокатки			
10 000	12 000	0	250	20
12 000	16 000	3	380	30
15 000	20 000	8	1 500	33

Наиболее высокой износостойкостью и повышенной трещиностойкостью обладали покрытия, отожженные в течение одного часа при температуре 300…400 °С, что связано со снятием внутренних напряжений и ростом преципитатов.

Выводы

Результаты работы демонстрируют технологичность и простоту предложенного метода нанесения тройных покрытий сплавами на основе хрома. Легирование тугоплавкими металлами обеспечило значительное повышение прочностных свойств поверхности детали. Поэтому результаты работы следует рассматривать как перспективные для применения в вагоностроительном производстве с целью модернизации и ремонта подвижного состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хансен М. Стуктура двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. – М.: Металлургиздат, 1962. – Т 1, 2.
2. Pearson W. A Handbook of Lattic Spasings. – London, 1958. – P.753.
3. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. – М.: Машиностроение, 1987. – 219 с .
4. Михайлов А. А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 145 с.

Направлена в редколлегию 11.05.06.

УДК 621.771:621.785:669.14.018.291.3

И. А. ВАКУЛЕНКО (ДИИТ), В. Г. РАЗДОБРЕЕВ, О. Н. ПЕРКОВ (Институт черной металлургии НАН Украины)

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ УПРОЧНЕННЫЙ АРМАТУРНЫЙ ПРОКАТ

Досліджені мікроструктура, механічні та службові властивості високоміцного арматурного прокату, термомеханічно зміцненого за різними режимами.

Исследованы микроструктура, механические и служебные свойства высокопрочного арматурного проката, термомеханически упрочненного по различным режимам.

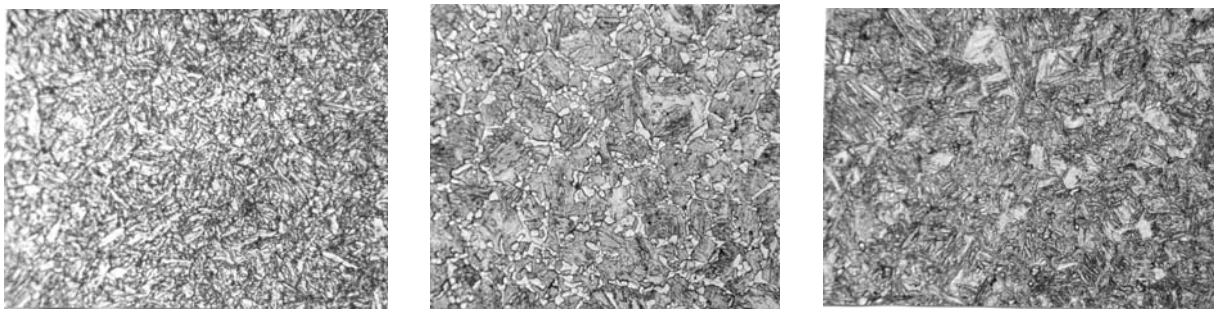
The article investigates the structure, mechanical and services characteristics of high-strength rebar, thermomechanically strengthened under different cooling modes.

В настоящее время термической и термомеханической обработке с прокатного нагрева подвергается широкий сортамент углеродистых и низколегированных сталей. Арматурный прокат является одним из самых массовых видов продукции черной металлургии, который находит широкое применение в строительной индустрии.

При изготовлении 1 м^3 железобетонных конструкций безвозвратно расходуется в среднем около 70 кг стали. В железобетоне арматурный прокат, воспринимая растягивающие нагрузки, в значительной мере определяет эксплуатационные характеристики и их надежность, а также влияет на экономические показатели строительных работ.

Исследовали микроструктуру, механические и служебные свойства арматурного проката диаметром 12 мм из стали марки 20ГС, упрочненного по двум технологическим режимам прерывистого (режим 1) и прерванного (режим 2) охлаждения на мелкосортном стане 250-1 комбината «Криворожсталь».

Макроструктурными исследованиями установлено, что при применении режимов упрочнения с прерывистым (режим 1) охлаждением в макроструктуре стержней более контрастным выглядит прилегающий к поверхности кольцеобразный тонкий (толщиной 0,3…0,4 мм) слой. А в околоосевой зоне дополнительно выделяется прилегающий к кольцеобразному некоторый промежуточный слой, не имеющий четко выраженной границы с остальным полем зоны. При исследовании микроструктуры установлено, что прилегающий к поверхности слой состоит из высокоотпущенного мартенсита (рис. 1, *а*). Околоосевая зона представлена мартенситом, а при приближении к оси стержня постепенно через мартенситобейнитную структуру переходит в бейнитную (рис. 1, *в*). Исследование микроструктуры переходного слоя (рис. 1, *б*) выявило в нем множественные выделения кристаллов избыточного феррита. Избыточный феррит выделялся по границам бывших аустенитных зерен. Больше всего выделений избыточного феррита наблюдается у границы со слоем высокоотпущенного мартенсита.

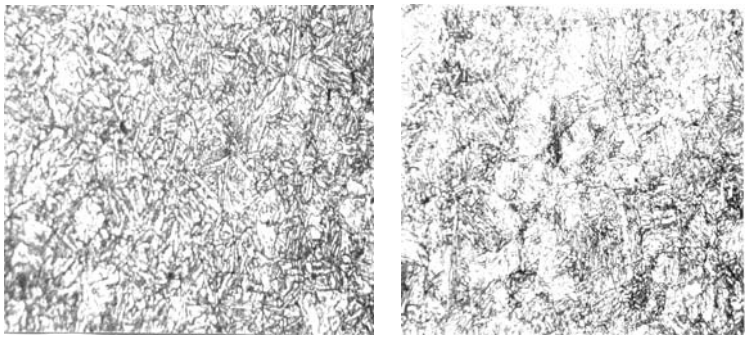


а *б* *в*

Рис. 1. Микроструктура по сечению арматурного стержня термически упрочненного с применением прерывистого охлаждения (х500):
а – поверхностный слой; *б* – переходная зона; *в* – сердцевинный слой

По мере удаления от него количество и размеры кристаллов быстро уменьшаются и структура становится чисто мартенситной. Исследования макро- и микроструктуры термически упрочняемой арматурной стали 20ГС (режим 2) показало, что в поперечном сечении стержня диаметром 12 мм наблюдаются разделенные четкой границей по всей окружности, прилегающей к поверхности, относительно массивный кольцеобразный слой и сердцевинная зона.

Ширина кольцеобразного слоя зависит от количества введенных в трассу упрочнения секций охлаждения. Микроструктурно прилегающий к поверхности кольцеобразный слой состоит из низкоотпущенного мартенсита (рис. 2, *а*), а в сердцевинной зоне структура представляет собой бейнит (рис. 2, *б*).



а *б*

Рис. 2. Микроструктура по сечению арматурного стержня диаметром 12 мм при термическом упрочнении по режиму с непрерывным охлаждением: *а* – поверхностный слой; *б* – сердцевинный слой (х500)

Испытания на статическое растяжение показали, что арматурный прокат с высокоотпущенным мартенситным слоем даже при более высоких прочностных свойствах (класс прочности А1000) имеет в среднем более высокие пластические характеристики (режим 1), чем прокат (класс прочности А800) мартенсит которого высокого отпуска не испытывал (режим 2). У такого проката значения условного предела упругости не достигают требуемых по национальному стандарту ДСТУ 3760-98 и межгосударственному стандарту на термоупрочненную арматуру ГОСТ 10884-94 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты испытаний арматурной стали 20ГС диаметром 12 мм на статическое растяжение

Номер режима	Механические свойства				
	$\sigma_{0,02}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	$\delta_{рав}$
	Н/мм^2			%	
1	778	1 051	1 402	14,0	4,6
	778	1 051	1 402	18,5	4,2
2	693	916	1 275	14,5	4,3
	693	916	1 275	12,5	4,0

Стойкость к коррозионному растрескиванию определяли в соответствии с ДСТУ 3760-98 и ГОСТ 10884-94 в кипящем нитратном растворе при напряжении $0,9\sigma_в$ для классов прочности А800 и А1000. Результаты показали, что, в отличие от арматурного проката без высокоотпущенного слоя и имеющего очень низкую стойкость при испытаниях, прокат с высокоотпущенным слоем обладает стойкостью к коррозионному растрескиванию, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к коррозионностойкой арматуре (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний арматурной стали 20 ГС на стойкость к коррозионному растрескиванию

Номер режима	Время до разрушения, часов	
	$\sigma_0 = 720$ Н/мм^2	$\sigma_0 = 90$ Н/мм^2
1	220 →	220 →
	220 →	220 →
2	2,0	1,1
	2,5	0,8

Анализ результатов испытаний на усталость (рис. 3) показал, что предел выносливости арматуры, упрочненной по режиму 1, значительно превышает достигнутый для арматуры, упрочненной по режиму 2. Усталостная прочность арматуры с высокоотпущенным слоем выше во всем исследованном диапазоне напряжений цикла, чем арматуры, у которой высокоотпущенный слой отсутствует.



Рис. 3. Кривые выносливости арматурной стали 20ГС с высокоотпущенным мартенситным слоем (*1*) и без высокоотпущенного слоя (*2*)

Пластическая деформация после термического или термомеханического упрочнения оказывает существенное влияние на структуру стали, позволяет в широком диапазоне изменять комплекс свойств.

Значительная часть термоупрочненной стержневой арматуры высоких классов изготавливается из низколегированных сталей. При охлаждении металла со скоростями выше критических наблюдаемое пересыщение твердого раствора атомами внедрения является основным фактором повышения прочности свойств. Однако частичный распад пересыщенного раствора за счет нагрева поверхностных слоев теплом осевых объемов приводит к снижению уровня внутренних напряжений, что неизбежно понижает агрегатную прочность проката. С другой стороны, при отпуске поверхностных закаленных объемов наблюдается выделение карбидных частиц, дисперсность и морфология которых определяются температурой самоотпуска. Подвергая такой металл холодному пластическому деформированию, получают прирост прочностных свойств. При этом темп прироста прочности определяется параметрами деформационного упрочнения, характеризующими поведение стали с различным структурным состоянием.

На примере стали 20ХГС2, термической упрочненной в потоке мелкосортного стана 250 Криворожского меткомбината, рассмотрена принципиальная возможность получения за счет холодного деформирования арматуры высоких классов прочности. После достижения температуры конца охлаждения 300…350 °С арматурная сталь 20ХГС2 имеет уровень прочностных свойств, соответствующий классу прочности. Анализ микроструктуры показал довольно существенный градиент структуры: от отпущенного мартенсита на поверхности до различного сочетания объемных долей бейнита с отдельными мартенситными участками в осевых зонах металла.

Способность металла подвергаться холодной пластической деформации, например, при волочении, оценивают по максимально возможной вытяжке (μ), которая, в свою очередь, связана с параметрами деформационного упрочнения

$$\sigma_{в} = \sigma'_{в} \left(\ln \mu\right)^{n},$$

где $\sigma_{в}$ – временное сопротивление разрыву; $\sigma'_{в}$ – коэффициент прочности; n – коэффициент деформационного упрочнения. Холодное волочение термоупрочненной арматуры диаметром 10 мм из стали 20ХГС2 на 20 %, как и следовало ожидать, привело к росту прочности до 2000…2100 Н/мм^2, при этом удлинение при испытаниях на расстоянии составило значение порядка 6 %. Прирост деформации до 36 % сопровождается дальнейшим повышением прочности и снижением пластических характеристик. Упрочнение металла при этом уменьшилось и составило лишь 190 Н/мм^2, а относительное удлинение достигло значений около 2,5 %. Таким образом, подвергая холодной пластической деформации волочением до 20 % предварительно термоупрочненную сталь 20ХГС2 на класс прочности, можно получать арматуру с прочностью 2000 Н/мм^2 при относительном удлинении порядка 5 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Большаков В. И. Термическая обработка строительной стали повышенной прочности / В. И. Большаков, К. Ф. Стародубов, М. А. Тылкин. – М.: Металлургия, 1977. – 200 с.
2. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1968. – 1172 с.
3. Вакуленко И. А. Влияние доли термически упрочненного слоя на прочность низкоуглеродистого проката / И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев // Металлы, 2006. – № 2. – С. 89–93.
4. Вакуленко И. А. Зависимость предела текучести от субструктурных характеристик термически упрочненной низкоуглеродистой стали 12ГС2 / И. А. Вакуленко, В. Г. Раздобреев // Металлы, 2005. – № 4. – С. 40–45.
5. Раздобреев В. Г. Влияние степени деформации волочением на свойства термически упрочненных низкоуглеродистых сталей // Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов / В. Г. Раздобрев, И. А. Вакуленко, О. Н. Перков. – Харьков, 2005. – С. 170–173.
6. Вакуленко И. А. Структура и свойства углеродистой стали при знакопеременном деформировании. – Д.: Gaudeamus, 2003. – 94 с.

Поступила в редколлегию 07.07.2006.

УДК 532.696:621.92

Е. В. СУХОВАЯ (ДНУ)

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ-СВЯЗОК НА ЖЕЛЕЗНОЙ ОСНОВЕ ДЛЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Досліджено вплив структури залізних сплавів, що містять бор і вуглець, у тому числі додатково легованих Si , Al , Mn і P , на їх опір руйнуванню в газоабразивному та кислих середовищах. Визначено оптимальний склад сплаву, який можна використати як зв'язку макрогетерогенних композиційних матеріалів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Исследовано влияние структуры железоборуглеродистых сплавов, в том числе дополнительно легированных Si , Al , Mn и P , на их сопротивление износу в газоабразивной и кислых средах. Определен оптимальный состав сплава, который можно использовать в качестве связки макрогетерогенных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

The paper studies the influence of structure of boron- and carbon-containing iron alloys, including those additionally alloyed with Si , Al , Mn , and P , on their resistance to wear and corrosion in gas-abrasive and acid media. The optimal composition of the alloy that can be used as the binder of macroheterogeneous composites having high performance characteristics was determined.

Сплавы на основе железа, легированные бором и углеродом, находят применение в качестве связок макрогетерогенных композиционных материалов, упрочненных карбидами вольфрама [1]. Благодаря высоким эксплуатационным характеристикам, эти материалы эффективно защищают поверхность быстроизнашивающихся деталей металлургического оборудования, таких как клапаны доменных печей, конусы засыпных аппаратов, футеровочные элементы и т. д. [2].

Ввиду перспективности использования композиционных материалов со связками на железной основе для создания износостойких покрытий на деталях железнодорожного транспорта в настоящей работе были проведены исследования структуры и свойств эвтектических железоборуглеродистых сплавов-связок, предназначенных для работы в условиях воздействия газоабразивной и кислых коррозионных сред.

Композиционные материалы получали методом пропитки в интервале температур 1423…1473 К в течение 30…45 минут. Для исследования структуры использовали методы металлографического, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов.

Стойкость в газоабразивной среде изучали на установке ОБ–876 [3]. Испытания проводили в интервале температур 293…773 К. В работе изучали структуру и свойства сплавов-связок композиционных материалов, состав которых указан в таблице.

Таблица

Химический состав исследованных сплавов-связок на основе железа

Номер сплава	Состав, вес, %
1	Fe – 2,5 % B – 0,7 %
2	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al
3	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 1%Si
4	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 1%Mn
5	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%P
6	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si
7	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si – 1%Mn
8	Fe – 2,5%B – 0,7%C – 0,5%Al – 1%Si – 1%Mn – 0,5%P
e	эталон из Ст3

Коррозию в растворах 0,5 н H_2SO_4 , 5 н H_3PO_4 и 1н HCl исследовали гравиметрическим и потенциодинамическим методами. Измерения скорости коррозии выполняли при температуре 295 ± 2 ежечасно в течение 4 часов. В качестве эталона использовали образец, изготовленный из Ст3.

Измерение окалиностойкости осуществляли при естественной циркуляции воздуха термогравиметрическим методом с периодической фиксацией массы на дериватографе МОМ.

При легировании 1,2…2,5 % B железоуглеродистых сплавов, содержащих 0,5…0,7 % C, в

их структуре наблюдаются первичные кристаллы твердого раствора на основе $\alpha - Fe$ и эвтектики $Fe - Fe_2(B,Cl)$ и $Fe - Fe_3(C,B)$ (рис. 1).

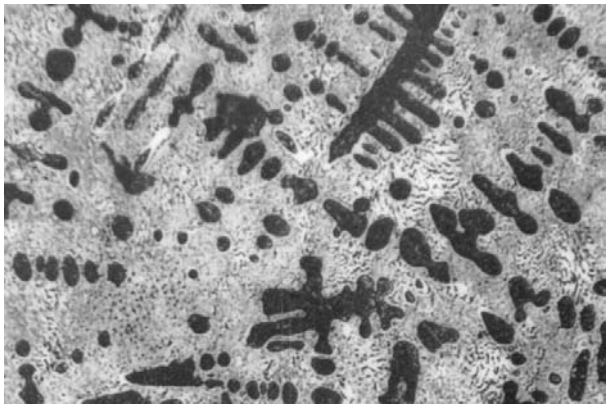


Рис. 1. Микроструктура сплава-связки х300
Fe – 2,5%B – 0,7%C

Введение бора обеспечивает повышение твердости сплавов до 45…50 HRC и их стойкости в газоабразивной среде в 1,2…1,3 раза по сравнению с соответствующими железоуглеродистыми сплавами.

Исследования электрохимических свойств железоборуглеродистых сплавов методом снятия поляризационных кривых показывает, что процесс растворения в кислых средах включает следующие стадии:

1. Анодный процесс – образование гидратированных ионов металла в электролите и нескомпенсированных электронов на анодных участках по реакции

$$Fe \xrightarrow{H_2O} Fe^{2+} + 2e^-$$

и затем по реакциям:

$$Fe^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow FeSO_4$$

(в растворе $0{,}5н \cdot H_2SO_4$);

$$3Fe^{2+} + 2PO_4^{3-} \rightarrow Fe_3(PO)_2$$

(в растворе $5н \cdot H_3PO_4$);

$$Fe^{2+} + 2Cl^- \rightarrow FeCl_2$$

(в растворе $1н \cdot HCl$);

2. Процесс протекания электронов по металлу от анодных участков к катодным и соответствующего перемещения катионов и анионов в растворе;

3. Катодный процесс – ассимиляция электронов какими-либо ионами или молекулами раствора, способными к восстановлению на катодных участках по реакции:

$$H^+ + e^- H \rightarrow H_{адс} \rightarrow \frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow H_{2^-}.$$

Введение бора в железоуглеродистые сплавы смещает стационарный потенциал в анодную область, т. е. в исследованных растворах кислот стационарные потенциалы сплавов увеличиваются и становятся более положительными. Это означает увеличение перенапряжения анодного процесса. При коррозии в растворе $0{,}5 н \cdot H_2SO_4$ введение 1,2 % B гораздо сильнее сдвигает стационарный потенциал в положительную область, чем введение 2,5 % B. В остальных средах наблюдается увеличение стационарных потенциалов при увеличении содержания бора (рис. 2).

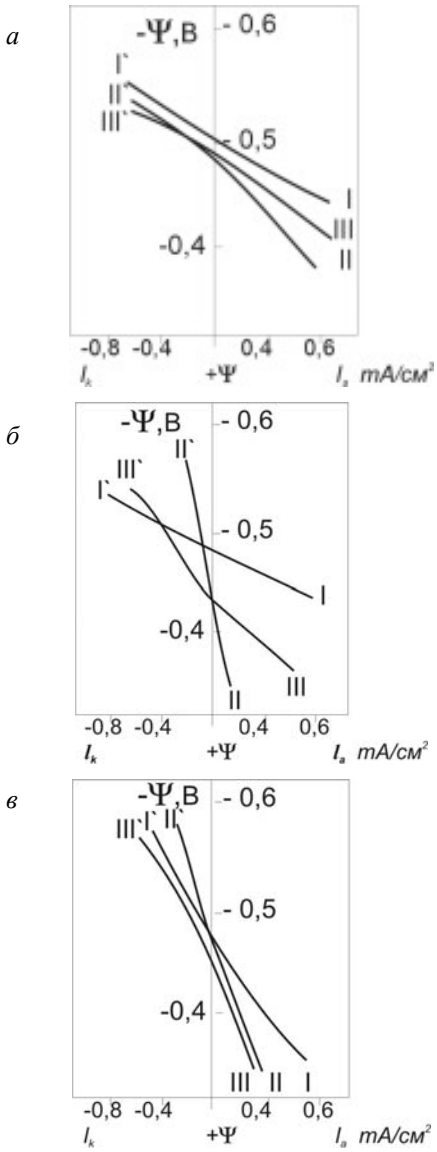


Рис. 2. Анодные (I-III) и катодные (I'-III') поляризационные кривые эталона (кривая I), сплава Fe – 1,2 % B – 0,7 % C (кривая II) и сплава Fe – 2,5 % B – 0,7 % C (кривая III) в растворах:
а – $0{,}5 н \cdot H_2SO_4$; *б* – $5 н \cdot H_3PO_4$; *в* – $1 н \cdot HCl$

Следовательно, легирование бором замедляет как анодный, так и катодный процессы, так как увеличивается перенапряжение обоих процессов. Это соответствует сравнительно высокой коррозионной стойкости исследованных образцов железоборуглеродистых сплавов. Скорость их коррозии возрастает в растворах кислот в следующей последовательности:

$$HCL \rightarrow H_3PO_4 \rightarrow H_2SO_4.$$

Дополнительно эксплуатационные характеристики железоборуглеродистых сплавов в газоабразивной, окислительной и кислых коррозионных средах можно повысить путем комплексного легирования этих сплавов кремнием, алюминием, марганцем и фосфором (см. табл.). Указанные элементы полностью растворяются в исходных структурных составляющих железоборуглеродистых сплавов (рис. 3).



Рис. 3. Микроструктура сплава-связки, х300
$Fe-2{,}5\,\%B-0{,}7\,\%C-0{,}5\,\%Al-1\,\%Si-1\,\%Mn$

Причем, марганец преимущественно присутствует в эвтектических фазах $Fe_2(C,B)$ и $Fe_3(C,B)$, а остальные элементы – в твердом растворе на основе α–Fe. За счет этого обеспечивается повышение твердости комплексно-легированного сплава до 60…62 HRC, рост его стойкости в газоабразивной среде в 1,15…1,2 раза и увеличение окалиностойкости в 1,2…1,25 раза.

Скорость коррозии легированных Al, Si, Mn и P железоборуглеродистых сплавов наиболее существенно снижается при введении Si и Al и достигает минимального значения для комплексно-легированного сплава (рис. 4).

С увеличением времени испытаний скорость коррозии уменьшается для всех легированных железоборуглеродистых сплавов за исключением сплава, легированного марганцем, скорость коррозии которого увеличивается во времени.

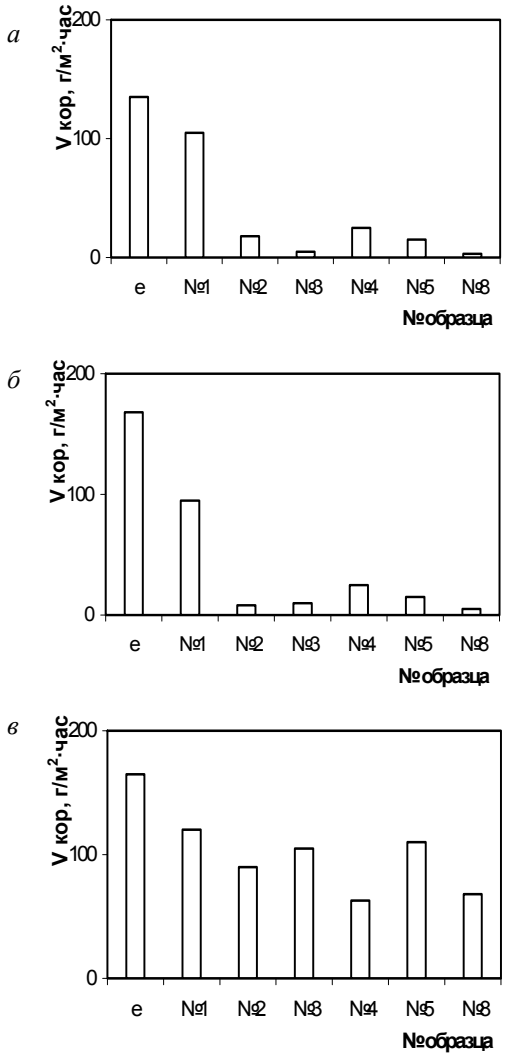
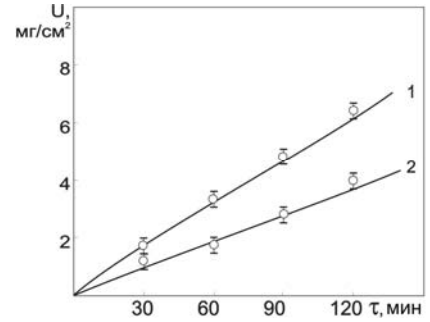


Рис. 4. Влияние легирующих элементов на скорость коррозии изученных сплавов-связок в растворах:
а – 0,5 н· H_2SO_4; *б* – 5 н· H_3PO_4; *в* – 1 н· HCl

Благодаря повышению эксплуатационных характеристик многокомпонентной эвтектической связки на основе железа повышаются все показатели и для композиционных материалов, упрочненных карбидами вольфрама. В частности, повышается их коррозионная стойкость по сравнению с композиционными материалами со связкой $Fe-B-C$ во всех исследованных растворах, а именно: в растворе серной кислоты в 14…16 раз, в растворе фосфорной кислоты в 11…12 раз, в растворе соляной кислоты в 2…2,2 раза. Помимо этого растет окалиностойкость (почти в 1,2 раза) композиционных материалов со связкой $Fe-B-C-Al-Si-Mn-P$, улучшается их обрабатываемость шлифованием. Увеличивается газоабразивная износостойкость и соответственно уменьшается удельный износ (*U*) композиционных материалов (рис. 5, *а*).

а



б

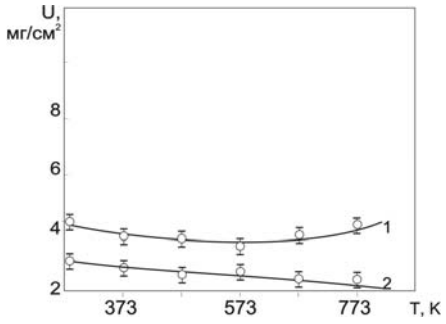


Рис. 5. Влияние длительности (*а*) и температуры испытаний (*б*) на износ композиционных покрытий:
1 – (W – C)/(Fe – B – C) ;
2 – (W–C)/(Fe–2,5%B–0,7%C–0,5%Al–1%Si–1%Mn

Однако наиболее благоприятно повышение окалиностойкости связки отражается на результатах определения удельного износа в условиях воздействия газоабразивной среды при увеличении температур до 473…773 К (рис. 5, *б*).

На основании выполненных в данной работе исследований можно сделать следующие выводы:

1. Сплавы Fe–B–C, содержащие 1,2…2,5 % B ; 0,5…0,7 % C ; Fe – остальное, обладают высокой твердостью, газоабразивной и коррозионной стойкостью в кислых средах.

2. Комплексное легирование Al , Si , Mn и P базовых эвтектических сплавов Fe – B – C обеспечивает дополнительное повышение вышеуказанных эксплуатационных характеристик.

3. Использование комплексно-легированных сплавов на основе железа в качестве связок макрогетерогенных композиционных материалов позволит существенно повысить срок службы деталей железнодорожного транспорта, эксплуатирующихся в условиях воздействия абразивных, окислительных и кислых сред.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sukhova O. V. Microstructure and properties of Fe-B-C/W-C interfaces in metal matrix composites // Вісник ДУ. Фізика. Радіоелектроніка, 2002. – № 9. – С. 15–18.
2. Спиридонова И. М. Износостойкие композиционные покрытия с наполнителями Fe – B – C / И. М. Спиридонова, Е. В. Суховая, С. Б. Пиляева // Автоматическая сварка, 2003. – № 1. – С. 31–34.
3. Юзвенко Ю. А. Лабораторные установки для оценки износостойкости наплавленного металла / Ю. А. Юзвенко, В. А. Гавриш, В. Ю. Марьенко // Теоретические и технологические основы наплавки. Свойства и испытания наплавленного металла. – К.: Изд. ИЭС им. Е. О. Патона, 1979. – С. 23–27.

Поступила в редколлегию 11.05.06.

УДК 316.344.23

В. В. БОБЫЛЬ (Днепропетровский государственный аграрный университет)

РАЗРЕШЕНИЕ АГЕНТСКИХ КОНФЛИКТОВ КАК ОДНА ИЗ ОСНОВНЫХ ЗАДАЧ КОРПОРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Розглядаються методи корпоративного керування, які допомагають розв′язувати агентські конфлікти між власниками (акціонерами) та менеджерами акціонерного товариства. Особлива увага приділяється функціям та завданням Спостережної ради в процесі керування агентськими конфліктами. Аналізується ефективність державного регулювання корпоративними конфліктами.

Рассматриваются методы корпоративного управления, помогающие разрешить агентские конфликты между собственниками (акционерами) и менеджерами акционерного общества. Особое внимание уделяется функциям и задачам Наблюдательного совета в процессе регулирования агентских конфликтов. Анализируется эффективность государственного регулирования корпоративными конфликтами.

The paper considers methods of corporate management assisting to solve the agency conflicts between the owner (the shareholders) and managers of joint-stock company. A special attention is given to functions and tasks of the supervisory board during regulation of agency conflicts. Efficiency of state regulation of corporate conflicts is analyzed.

В условиях становления современного рыночного хозяйства Украины корпоративное управление следует рассматривать как механизм интеграции и координации экономической деятельности субъектов корпорации. Следовательно, основная задача корпоративного управления – примирение различных и отчасти противоречивых экономических интересов внутрикорпоративных групп. Именно этой проблеме посвящены работы И. Беликова, А. Фельдмана, А. Шихвердиева, Н. Гусятникова, П. Забелина, Е. Губина.

Целью данной статьи является рассмотрение возможных типов агентских конфликтов и методов их урегулирования. Кроме того, рассматриваются способы защиты от конкурентного поглощения, которые могут быть использованы в случае обострения агентских конфликтов.

Известно, что в соответствии с действующим законодательством Украины, хозяйственные общества могут существовать в следующих организационно-правовых формах: акционерное общество, общество с ограниченной ответственностью, полное общество, общество с дополнительной ответственностью, коммандитное общество.

Общеизвестно, что акционерное общество является наиболее приемлемой организационно-правовой формой для крупных предприятий с большим количеством участников, так как имеет следующие преимущества:

– широкие возможности для привлечения капитала путем эмиссии дополнительного количества акций, облигаций, получения кредитов на выгодных условиях;

– финансовый риск акционеров ограничивается размером надлежащей им части имущества общества (стоимостью акции, которая им принадлежит);

– в соответствии с действующим законодательством Украины и внутреними нормативными документами общества акционеры могут продавать или другим способом отчуждать акции, которые им принадлежат, по собственному усмотрению, не уведомляя об этом других акционеров.

Несмотря на это, именно в акционерных обществах особенно остро стоит вопрос о противоречии экономических интересов между менеджерами и акционерами (собственниками) корпорации. Это относится как к вопросу об отношении к риску (менеджеры принимают и воплощают в жизнь решения, по которым, как правило, не несут материальной ответственности), так и к вопросам инвестиционной, производственной и стратегической политики (увеличение собственного влияния, а не получение экономического эффекта). Подобные конфликты между менеджерами корпорации и ее собственниками (акционерами) получили название агентских конфликтов (табл. 1).

Для разрешения агентских конфликтов многие корпорации разрабатывают и утверждают следующий примерный перечень документов, регламентирующих правила взаимоотношений в рамках внутренней корпоративной среды [1]:

– кодекс поведения;

– рекомендации по оплате труда и вознаграждению служащих, обеспечению равных прав для служащих (невмешательство в их частную жизнь, свободу самовыражения; нормы

и правила, касающиеся охраны окружающей среды, обеспечения здоровья и безопасности на рабочем месте);

– нормы и правила, предписывающие постоянную заботу о повышении качества предлагаемых товаров и услуг, проведение приемлемой политики ценообразования, а также соблюдение этических аспектов рекламной деятельности;

– нормы и правила, определяющие приоритеты благотворительной деятельности корпорации.

Таблица 1

Основные типы агентских конфликтов

Проблема	Акционеры	Менеджеры
Имидж	Стремление к экономии	Стремление к роскоши
Выбор инвестиционного горизонта	Долгосрочный	Краткосрочный
Отношение к риску	Собственники несут риск по решениям, принятым наемными управляющими	Менеджеры принимают и воплощают в жизнь решения, по которым, как правило, не несут ответственности.
Эффективное использование прибыли	Получение в виде дивидендов либо капитализации, по ставке не ниже нормы прибыльности	Увеличение собственного влияния в корпорации и собственного благосостояния
Отношение к корпорации	Как к одному из источников доходов	Как к единственному источнику дохода
Стремление к установлению контроля над корпорацией	У обладателей крупного пакета – сильное, у мелкого собственника – низкое	Сильное
Стимулы к слиянию и поглощению, осуществляемые корпорацией	Получение прибыли не ниже нормы прибыльности	Как правило, увеличение собственного влияния и удовлетворение тщеславия
Отношение к продаже корпорации	При достаточной премии за продажу пакета акций – положительное	Как правило, отрицательное
Стремление к осуществлению личных затрат за счет корпорации	Низкое, чем больше доля акционерного капитала, тем ниже	Высокое

Акционерам необходимо помнить, что в случае обострения агентских конфликтов менеджеры могут стать «орудием» в руках конкурентов, стремящихся поглотить корпорацию. Поэтому необходимо заранее разработать необходимые способы защиты от недружественного поглощения (табл. 2) [2].

Органом, который регулирует агентские интересы на микроуровне (на уровне корпорации), является Наблюдательный совет акционерного общества (НС). Чтобы с помощью корпоративного управления разрешить экономические интересы собственников и менеджеров, НС, как минимум, обязан установить нормы ведения деятельности и этического поведения для членов правления и персонала акционерного общества, а также получать на регулярной основе достаточное подтверждение того, что корпорация имеет постоянный, надлежащий и эффективный процесс обеспечения соблюдения этих норм.

В мировой практике достаточно распространено избрание в состав НС известных финансистов, банкиров, юристов, ученых и компетентных специалистов в отрасли управления корпорацией, даже если они не являются акционерами.

Законодательство Украины, как и законодательство западных стран, не устанавливает сроки полномочий членов НС. Однако в мировой практике членов НС принято выбирать на два-три года с возможностью их досрочного отзыва по весомым причинам. Для повышения эффективности корпоративного управления рекомендуется не переизбирать весь состав НС одновременно, а руководствоваться принципом ротации, то есть ежегодно заменять только часть от общего состава членов НС. Тогда опытные члены НС могут помочь недавно выбранным членам как можно быстрее ознакомиться с деятельностью и состоянием дел в обществе.

Таблица 2

Способы защиты от конкурентного поглощения

Способы защиты	Краткая характеристика	Кто и как использует
«Пугало для хищников»	В учредительных документах предусматривается очень сложная схема отчуждения акций или доли акционера. Еще чаще акции переводятся на офшорные компании	Приватизированные предприятия часто меняют свою организационно-правовую структуру, чтобы отсечь мелких акционеров и затруднить доступ на предприятие вражеских акционеров
«Дикобраз»	Заключается в развитии сложных договорных отношений с поставщиками и кредиторами. При необходимости имущество оформляется на «свои» технические компании	Широко используют облэнерго, угледобывающие шахты, судостроительные и машиностроительные компании
«Белый рыцарь»	«Белый рыцарь» - это дружественный потенциальный покупатель. Способ защиты от попытки враждебного поглощения – слияние с другой менее агрессивной фирмой	Часто используется небольшими региональными банками, торговыми сетями и т. д.
«Отравленная пилюля»	Заключается в том, чтобы сделать предприятие менее привлекательным для захватчиков. Например, увеличивается уставный капитал, выпускаются привилегированные акции, акции компании продаются действительным акционерам с большим дисконтом по сравнению с их реальной рыночной стоимостью	Используют в металлургической отрасли, крупные банки
«Стратегия Пэк-Мэна»	Потенциально поглощаемая компания делает покупателю встречное предложение о покупке	Используют компании, чьи акции свободно продаются на фондовом рынке. Если конкурент старается консолидировать у себя контрольный пакет акций, объект захвата скупает акции противника

Если член НС имеет экономическую заинтересованность в соглашении, в котором одной из сторон является акционерное общество (корпорация), он обязан известить о своей заинтересованности других членов НС и воздержаться от голосования по данной сделке. Члены НС считаются экономически заинтересованными, если они:

– являются второй стороной в соглашении;

– являются представителями второй стороны в соглашении;

– владеют акциями или являются должностными лицами другой стороны;

– являются кредиторами другой стороны;

– имеют близких родственников или бизнес-партнеров, которые попадают под одну из вышеперечисленных категорий.

Такое соглашение необходимо признавать действительным только тогда, когда его утвердит большинство незаинтересованных членов НС.

Кроме внутренних агентских конфликтов, существует ряд корпоративных противоречий, лежащих в области государственного управления.

Международное рейтинговое агентство Standard & Poor's полагает, что в Украине современные корпоративные конфликты на макроуровне возникли из-за слабой институциональной среды. Серьезными ограничительными факторами являются также трудности, связанные с реструктуризацией промышленности и слабая платежная культура во всех звеньях экономики [3].

К вышеуказанным факторам отечественные аналитики добавляют тревожное ожидание предпринимательской среды момента вступления Украины во Всемирную организацию торговли (ВТО). Данный конфликт обусловлен непрозрачностью и закрытостью процесса подготовки документов, отсутствием основательных оценок последствия вступления в ВТО для экономики и социальной сферы, несогласова-

нием изменений в таможенно-тарифной политике с промышленными и предпринимательскими кругами.

Тревожным сигналом является также и то, что Национальная программа содействия развитию предпринимательства в Украине в 2005 году была профинансирована на уровне 1 % от необходимого объема средств [4].

Из данных опроса, проведенного Центром исследования корпоративных отношений на тему: «Корпоративные конфликты первой половины 2005 года и роль правительства в управлении ими», можно сделать вывод, что правительство не контролирует корпоративные конфликты (такого мнения придерживались 50 % участников экспертного опроса). Исследования показали, что 25 % экспертов считают роль правительства в урегулировании корпоративных конфликтов деструктивной, и всего 12,5 % утверждают, что она конструктивна [3].

Отметим, что прошедший процесс упразднения регуляторных актов, мешающих развитию отечественного предпринимательства, не принес ожидаемого результата. Блиц-опрос предпринимательских объединений в десяти областях Украины, проведенный журналом «Бизнес» в июле 2005 года, показал, что 54 % опрошенных не ощутили никакого эффекта от изменения регуляторных актов; 25 % респондентов заметили, что работать стало еще хуже; 13,8 % затруднились с ответом; 5 % отметили упрощение регистрационных процедур; 1,2 % сказали, что сократились сроки получения разрешительных документов и лицензий, и только 1 % респондентов отметили уменьшение количества проверок и навязанных платных услуг со стороны государственных органов [5].

Эффективность разрешения вышеуказанных конфликтов будет зависеть от продвижения реформ, укрепляющих политическую, правовую системы и повышающих уровень государственного корпоративного управления.

Выводы

Стандартизация и четкое определение функций менеджеров корпорации позволяют акционерам (собственникам) через Наблюдательный совет контролировать ситуацию и вовремя реагировать на критические изменения в бизнесе.

Поскольку реализация конфликта интересов на микроуровне является серьезным нарушением системы внутреннего корпоративного управления, которое может поставить под угрозу не только эффективность роботы корпорации, но и ее существование вообще, рекомендуется:

1. Внедрить требования к работникам корпорации, в том числе руководителям (менеджерам), относительно самостоятельного сообщения о наличии конфликта интересов.
2. Включать вопросы выявления конфликта интересов в программу проверок службы внутреннего аудита.
3. Направлять отчеты о результатах выявления конфликта интересов в Наблюдательный совет с целью внедрения методов, помогающих их избежать.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Управление и корпоративный контроль в акционерном обществе / Под ред. Е. П. Губина. – М.: Юристъ. 1999.
2. Бизнес № 13, 28 марта 2005 г.
3. ЛІГА Online (www.liga.net, 15.02.2005г.)
4. ЛІГА Online (www.liga.net, 06.04.2006г.)
5. Вачаев О. Шашки наголо // Бизнес № 31 от 01.08.05.
6. Беликов И. В. Собственники и менеджеры // Журнал для акционеров, 2000. – № 8.
7. Шихвердиев А. П. Корпоративное управление / А. П. Шихвердиев, Н. В. Гусятников, И. В. Беликов. – М.: Изд-во «Акционер», 2001.
8. Забелин П. В. Основы стратегического управления / П. В. Забелин, Н. К. Моисеева. – М.: ВИНИТИ, 2000.
9. Друкер П. Эффективное управление. Экономические задачи и оптимальные решения. – М.: ФАИР, 1998
10. Бурков В. Н. Управление большими системами. – М.: Синтег, 1998.
11. Лютернауер П. Дослідження корпоративного управління в банківському секторі України / П. Лютернауер, О. Свечнікова // Круглий стіл. – 2004. – № 6 (19), червень.

Поступила в редколлегию 04.09.2006.

УДК 519.21

Г. Л. ВЕНЕДИКТОВ (ЗАО «ОКДАЙЛ», Россия),
В. В. ГАРБАРУК, П. В. ГЕРАСИМЕНКО (ПГУПС, Россия)

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ЦЕНАМИ БИЛЕТОВ В ВАГОНАХ РАЗНОГО КЛАССА СКОРОСТНОГО ПОЕЗДА

Запропонована методика визначення раціонального співвідношення між вартістю квитків у вагонах різного класу швидкісних потягів постійного складу. В основу алгоритму покладений метод для знаходження умовного максимуму цільової функції. Алгоритм дозволяє забезпечити максимальну сумарну вартість послуг, що надаються, з перевезення пасажирів.

Предложена методика определения рационального соотношения между стоимостью билетов в вагонах разного класса скоростных поездов постоянного состава. В основу алгоритма положен метод для нахождения условного максимума целевой функции. Алгоритм позволяет обеспечить максимальную суммарную стоимость представляемых услуг по перевозке пассажиров.

The work contains an algorithm of determining rational correlation between the fares for different classes of cars in high-speed trains of permanent structure. The algorithm is based on the method of finding conditional maximum of a target function. The algorithm allows providing the maximal total cost of the services rendered in passenger transportation.

Достоинствами любого транспорта, в том числе и железнодорожного, являются его скорость и комфорт. Поэтому скорость и соответственно и время перемещения пассажира, и комфорт рассматриваются как показатели качества транспортной услуги. Для ряда дорог ОАО «РЖД», прежде всего для Октябрьской железной дороги, вопрос повышения скорости является одной из актуальных задач, поскольку эти дороги являются чрезвычайно загруженными. Для Октябрьской железной дороги вопросы повышения скорости и комфорта пассажиров не являются новыми.

В настоящее время накопленный опыт организации скоростного движения и проведенное перевооружение главного хода магистрали Петербург-Москва позволили достичь на отдельных участках максимальной скорости порядка 200 км/ч. Сегодня также курсирует частный поезд экстра-класса между Петербургом и Москвой. Он носит название «Гранд-экспресс» и состоит из 14 фирменных вагонов разной степени комфортности.

Дальнейшее повышение скорости и комфорта возможно только за счет существенных экономических затрат. Очевидно, что решение этой задачи невозможно без активного привлечения частного капитала, его финансовых и организационных ресурсов.

Однако проекты на основе государственно–частного партнерства требуют тщательной научной проработки, прежде всего потому, что для проектов с высокой транспортной инфраструктурой характерна низкая рентабельность на эксплуатационной фазе, а это обуславливает длительные сроки окупаемости начальных инвестиций. Железнодорожные компании, обеспечивая более высокие услуги по перевозке пассажиров в вагонах различного класса, отличающиеся друг от друга комфортом, надеются на достижение окупаемости за более короткие сроки. Поэтому наряду с оценкой предполагаемых затрат инвесторы заинтересованы в определении сроков окупаемости, которые в свою очередь зависят от тарифной политики для скоростного транспорта.

В работе [1] предложена математическая модель, позволяющая прогнозировать экономические результаты эксплуатации скоростных поездов постоянного формирования, и методика расчета оптимальной цены проезда в вагонах разных классов скоростного поезда. Она также может быть использована для выбора оптимальной схемы поезда по типам и классам вагонов. При этом модель учитывает, что цены услуг устанавливаются рынком и не зависят от отдельного потребителя. Поэтому модель базируется на функции спроса пассажирами услуг по цене, которые строятся по статистическим данным.

Как известно, согласно экономическому закону, с увеличением цены на услугу спрос на нее уменьшается. Поэтому на практике в качестве функции спроса $N = f(p)$ используют следующие основные функции:

– линейную функцию $y = a + bx$ с отрицательным коэффициентом b;

– степенную функцию $N = ap^b$ с отрицательным коэффициентом b;

– показательную функцию $N = ab^p$;

– квадратичную функцию

$$N = a + bp + cp^2.$$

В настоящее время применение алгоритма [1] ограничивается отсутствием построенных по реальным статистическим данным функций спроса билетов по их цене.

В данной работе предложен методический аппарат, проведено исследование и выполнен прогноз возможных доходов в области значений функции спроса. Проведенное исследование базировалось на анализе эластичности функции спроса по цене в области ее значений.

Как известно, эластичностью $E_N(p_0)$ непрерывной функции спроса $N = f(p)$ в точке $p = p_0$ называется предел отношения относительного приращения функции спроса в точке p_0 к относительному приращению цены в точке p_0, когда абсолютное приращение цены Δp стремится к нулю, то есть

$$E_N(p_0) = \lim_{\Delta p \to 0} \left[\frac{\Delta N}{N_0} \Big/ \frac{\Delta p}{p_0} \right].$$

Из определения эластичности следует, что при малых приращениях цены Δp приближенно будет выполняться следующее равенство:

$$\frac{\Delta N}{N_0} \cdot \frac{p_0}{\Delta p} \approx E_N(p_0)$$

или

$$\frac{\Delta N}{N_0} \approx E_N(p_0) \frac{\Delta p}{p_0},$$

то есть эластичность спроса по цене – это коэффициент пропорциональности между относительными изменениями величины функции спроса на билеты и их цены. Он показывает, что если изменить на один процент относительное приращение цены, то на величину $E_N(p_0)$ процентов изменится относительное приращение функции спроса. Из анализа определения эластичности $E_N(p_0)$ следует выражение для эластичности через производную функции спроса. Действительно:

$$E_N(p_0) = \lim_{\Delta p \to 0} \left(\frac{p_0}{N_0} \cdot \frac{\Delta N}{\Delta p} \right) =$$

$$= \frac{p_0}{N_0} \cdot \lim_{\Delta p \to 0} \left[\frac{N(p_0 + \Delta p) - N(p_0)}{\Delta p} \right] =$$

$$= \frac{p_0}{N_0} N'(p_0).$$

Таким образом, если функция спроса по цене $N(p)$ на промежутке (α,β) дифференцируема, то для нее можно вычислить в произвольной точке $p \in (\alpha,\beta)$ эластичность

$$E_N(p) = \frac{p}{N} N'(p).$$

Для линейной функции спроса $N = a + bp$ ее эластичность

$$E_N(p) = (a + bp)' \frac{p}{a + bp} = \frac{bp}{a + bp}$$

является функцией от цены. Следует особо обратить внимание на коэффициент эластичности функции спроса билетов по цене в виде степенной функции.

Для степенной функции спроса $y = ax^\alpha$ эластичность

$$E_N(p) = (ap^\alpha)' \frac{p}{ap^\alpha} = a\alpha p^{\alpha-1} \cdot \frac{p}{ap^\alpha} = \alpha,$$

то есть для степенной функции спроса коэффициент эластичности по цене представляет собой постоянную величину, равную показателю степени α.

Другими словами, если спрос на билеты изменяется по степенному закону от цены с показателем α, то при любой стоимости билетов изменение цены на один процент приведет к изменению числа желающих приобрести билеты на α процентов. Так как знак α всегда отрицательный для функции спроса в соответствие с экономическими законами, то число желающих приобрести билеты будет всегда уменьшаться при увеличении стоимости. Как частный случай степенной функции обратно пропорциональная функция $(\alpha = -1)$ имеет $E_N(p) = -1$. Следовательно, при таком реальном спросе, которому соответствует обратно

пропорциональная функция спроса, любое изменение цены выручку от продажи билетов не изменяет. Тогда график функции спроса с $\alpha = -1$ (рис. 1) будет делить всю первую четверть декартовой системы координат (p, N) на две области, в одной из которых функция спроса будет эластична, а в другой – неэластична.

Для всех остальных функций коэффициент эластичности зависит от цены.

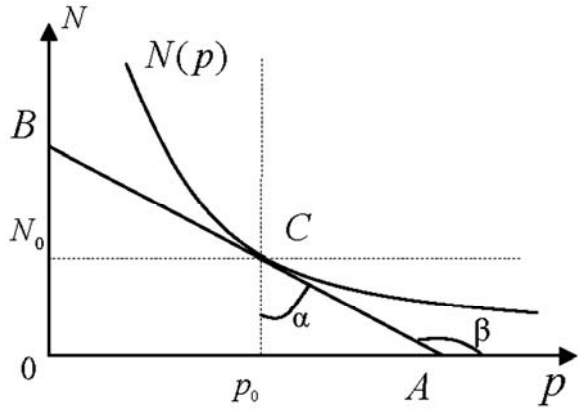


Рис. 1. Типовой график функции спроса

Так как

$$\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)=\frac{\sin\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)}$$

и

$$\sin\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)=\cos\alpha,$$

а

$$\cos\left(\frac{\pi}{2}+\alpha\right)=-\sin\alpha,$$

то эластичность функции спроса можно преобразовать:

$$E_N(p_0)=\frac{p_0}{N_0}N'(p_0)=\frac{p_0}{N_0},$$

$$\operatorname{tg}\beta=\frac{p_0}{N_0}\frac{\sin(\frac{\pi}{2}+\alpha)}{\cos(\frac{\pi}{2}+\alpha)}=-\frac{p_0}{N_0}\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}=$$

$$=-\frac{p_0}{\sin\alpha}\frac{1}{\frac{N_0}{\cos\alpha}}=-\frac{BC}{AC}.$$

Таким образом, с учетом геометрического смысла производной геометрический смысл эластичности функции спроса по цене – это отношение длины касательной BC, т. е. от точки касания до точки пересечения касательной с осью ординат к длине касательной AC, т. е. от точки касания до точки пересечения с осью абсцисс, взятый со знаком минус.

Из геометрического смысла эластичности следует, что коэффициент эластичности функции спроса находится в пределах $-\infty < E_N \le 0$, поскольку перед отношением длин стоит знак минус. Очевидно, знак эластичности спроса будет определяться знаком производной, поскольку графики функций располагаются в первой четверти декартовой системы координат, то есть значение функции и аргумента величины положительные ($N > 0$, $p > 0$).

В экономической практике различают виды эластичности, которые целесообразно сохранить при оценке эластичности функции спроса на билеты по цене: эластичность единичная, эластичный спрос, неэластичный спрос, совершенно эластичный спрос, совершенно неэластичный спрос. Под единичной эластичностью понимают случай, когда $E_N = -1$, то есть когда на каждый процент изменения цены спрос на билеты количественно изменяется на один процент. При эластичном спросе ($E_N < -1$) величина спроса изменяется в большей мере, чем цена, и, наоборот, при неэластичном спросе ($-1 < E_N < 0$).

Совершенно эластичный спрос определяет ситуацию, при которой величина спроса бесконечно изменяется при малом изменении цены ($E_N = -\infty$). Совершенно неэластичный спрос ($E_N = 0$) обусловливается ситуацией, когда величина спроса не изменяется при любом изменении цены. Необходимо заметить, что величина выручки за проданные билеты будет определяться видом эластичности и характером изменения цены. В табл. 1 представлены изменения выручки в зависимости от знака изменения цены и вида эластичности спроса.

В табл. 1 $\Delta p \uparrow; \Delta N \downarrow\downarrow$ означает, что увеличение цены происходит в меньшей степени, чем снижение спроса.

Из анализа табл. 1 следует, что для единичной эластичности функции спроса уменьшение цены приведет к уменьшению выручки ровно на столько, на сколько выручка увеличится за счет большего спроса (увеличение продаж билетов). Увеличение же выручки, обусловленное повышением цены на билеты, будет полностью компенсироваться сокращением выручки, вызванной уменьшением спроса на билеты..

Таблица 1

Изменение цены	Вид эластичности спроса		
	Эластичный спрос $E_N < -1$	Единичный спрос $E_N = -1$	Неэластичный спрос $-1 < E_N < 0$
Повышение цены $\Delta p > 0$	Уменьшение выручки $\Delta p \uparrow; \Delta N \downarrow\downarrow$	Выручка не изменяется $\Delta p \uparrow; \Delta N \downarrow$	Увеличение выручки $\Delta p \uparrow\uparrow; \Delta N \downarrow$
Снижение цены $\Delta p < 0$	Увеличение выручки $\Delta p \downarrow; \Delta N \uparrow\uparrow$	Выручка не изменяется $\Delta p \downarrow; \Delta N \uparrow$	Уменьшение выручки $\Delta p \downarrow\downarrow; \Delta N \uparrow$

Если спрос эластичен, то понижение цены приведет к возрастанию общей выручки, поскольку снижение цены на один билет обеспечит прирост продаж, более чем достаточный для компенсации потерь от снижения цены. Другими словами, при эластичном спросе изменение цены вызывает изменение общей выручки в противоположном направлении.

Если же спрос неэластичен, то понижение цены вызовет сокращение общей выручки, поскольку увеличение продаж окажется недостаточным, чтобы компенсировать уменьшение выручки, возникшей в результате снижения цены на один билет. Иначе говоря, при неэластичном спросе изменение цены вызывает изменение общей выручки в том же направлении.

Очевидно, в области изменения цены и спроса на билеты при разных законах спроса существует своя граница, которая делит все множество пар чисел «цена - спрос» на два подмножества: множество с эластичным спросом и множество с неэластичным спросом.

Пары чисел, формирующие границу раздела двух подмножеств соответствуют единичной эластичности. На плоскости в декартовой системе координат «цена–спрос» единичная эластичность будет представлена в виде кривой, разделяющей первую четверть на две области, соответственно с увеличивающейся и уменьшающейся выручкой.

Рассмотрим методику построения эластичных и неэластичных областей для случая, когда функция спроса от цены имеет линейную зависимость. С этой целью введем относительные величины. Под относительной ценой будем понимать отношение текущей цены p к цене соответствующей на границе удовлетворенного спроса p_0. Ее будем обозначать $\bar{p} = \dfrac{p}{p_0}$.

Аналогично водится понятие для относительного текущего спроса на билеты $\bar{N} = \dfrac{N}{N_0}$, как отношение текущего спроса к спросу на границе удовлетворенного спроса. В качестве второй характерной точки на прямой будем рассматривать точку, которая соответствует реальной цене $\bar{p}_1$ и реальному спросу $\bar{N}_1$ в данный момент. Очевидно, точка, соответствующая границе удовлетворенного спроса, имеет координаты (1,1), т. е. относительный спрос и относительная цена равны единице ($\bar{N}_0 = 1$, $\bar{P}_0 = 1$).

Как известно, уравнение прямой линии, проходящей через две точки с координатами (1,1) и (p_1, N_1), имеет следующий вид:

$$\bar{N} = 1 - \frac{\bar{N}_1 - 1}{\bar{p}_1 - 1} + \frac{\bar{N}_1 - 1}{\bar{p}_1 - 1}\bar{p}\,.$$

Если обозначить:

$$\bar{b} = \frac{\bar{N}_1 - 1}{\bar{p}_1 - 1}$$

и

$$\bar{a} = 1 - \frac{\bar{N}_1 - 1}{\bar{p}_1 - 1} = 1 - \bar{b}\,,$$

то уравнение прямой примет вид $\bar{N} = \bar{a} + \bar{b}\bar{p}$.

На рис. 2 представлены графики линейных функций $\bar{N} = \bar{a}_i + \bar{b}_i\bar{p}$. В табл. 2 приведены основные параметры этих линейных функций спроса при значении функции спроса $\bar{N}_1 = 0{,}6$ и различных значения $\bar{p}_1$. На каждой из приведенных прямых существует точка, в которой коэффициент эластичности функции $\bar{N} = \bar{a} + \bar{b}\bar{p}$ равен минус единице.

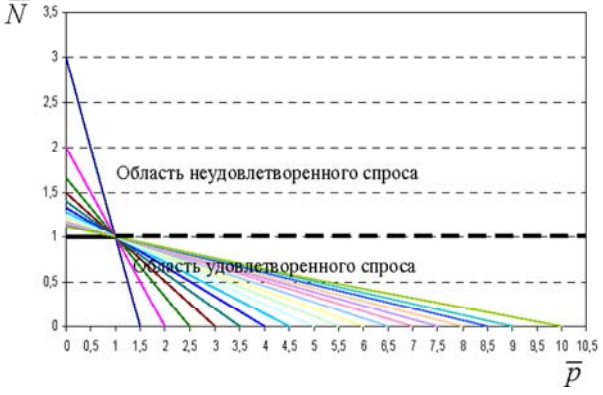


Рис. 2. Графики линейных функций спроса

Обозначим в этой точке цену и спрос на билеты соответственно через $\bar{p}^*$ и $\bar{N}^*$. Тогда из

$$E_{\bar{N}}\left(\bar{p}^*\right)=\frac{\bar{b}\bar{p}^*}{\bar{a}+\bar{b}\bar{p}^*}=-1$$

следует, что

$$\bar{p}^*=-\frac{\bar{a}}{2\bar{b}}.$$

В табл. 2 для каждой из прямых приведены значения $\bar{p}^*$ и значения функции спроса $\bar{N}^*=\bar{a}+\bar{b}\bar{p}^*$, а на рис. 3 соответствующие им точки на прямых, в которых коэффициент эластичности функции спроса равен минус единице ($E_{\bar{N}}=-1$).

Кривая, проходящая через точки, в которых эластичность равна минус единице, делит область удовлетворенного спроса на две подобласти.

Таблица 2

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\bar{a}_i$	3,00	2,0	1,67	1,50	1,40	1,33	1,29	1,25	1,22	1,2
$\bar{b}_i$	–2,00	–1,0	–0,67	–0,50	–0,40	–0,33	–0,29	–0,25	–0,22	–0,2
$\bar{p}_1$	1,20	1,4	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,0
$\bar{p}_0^*$	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,0
$\bar{N}_0^*$	1,50	1,0	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,63	0,61	0,6

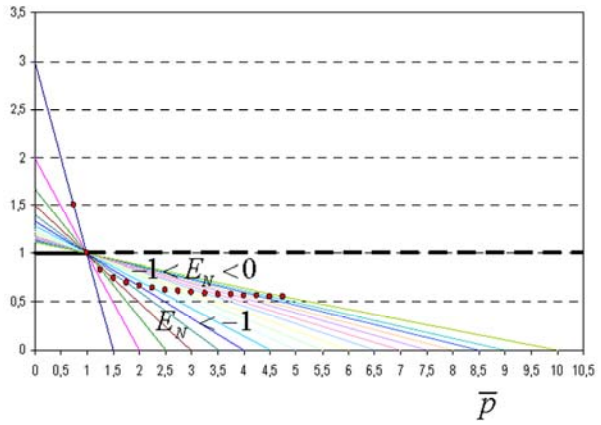


Рис. 3. Подобласти эластичности линейных функций спроса

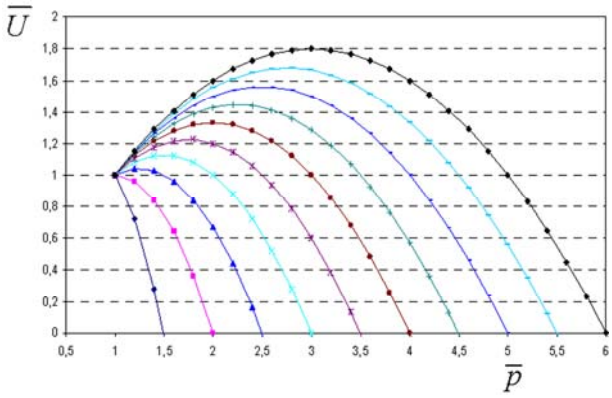


Рис. 4. Кривые дохода при разных функциях спроса

В первой подобласти, где эластичность изменяется в пределах $-1<E_N<0$, увеличение цены на билеты приводит к уменьшению спроса, но при этом происходит увеличение дохода. Во второй подобласти, где эластичность $E_N<-1$, увеличение цены снижает доход.

Следует заметить, что при подходе к границе раздела области удовлетворенного спроса темп роста дохода снижается, а на границе раздела равен нулю.

На рис. 4 приведены графики функции относительного дохода $\bar{U}=\bar{N}\cdot\bar{p}$. Предполагается, что на границе, разделяющей первую четверть декартовой системы координат на области удовлетворенного и неудовлетворенного спроса доход равен единице.

На основании построенных графиков можно устанавливать величину изменения дохода в зависимости от параметров линейной функции спроса. Они также позволяют вычислить абсолютную величину дохода при знании его на границе удовлетворенного спроса. Приведенные кривые дают возможность обосновано показать степень необходимости маркетинга при известной функции спроса и заданном значении цены.

БИБЛИОГРАФИЧЕКСКИЙ СПИСОК

1. Венедиктов Г. Л. Алгоритм обоснования стоимости билетов в вагонах разного класса скоростных поездов постоянного состава. / Г. Л. Венедиктов, П. В. Герасименко // Вестник гражданских инженеров, – 2006, – №1(6), – С. 91–93.

Поступила в редколлегию 29.05.2006.

УДК 338.981

В. Є. ВЛАСЮК (ДИИТ)

ЩОДО ПРАКТИКИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВАЖЕЛІВ ДЕРЖАВНОГО ВПЛИВУ НА ПРОВЕДЕННЯ ФИНАНСОВО-КРЕДИТНОЇ ПОЛІТИКИ

Розглянуто підходи державної політики до впровадження регулюючих та коригуючих чинників впливу на функціонування фінансово-кредитної системи у деяких країнах світу.

Розкриті основні риси наявних проблем у проведенні урядових заходів підтримання сталого розвитку економіки. Визначені перспективні дії щодо державної координації та важелів впливу на життєдіяльність фінансово-кредитної системи у ринковому середовищі.

Рассмотрены подходы государственной политики к внедрению регулирующих и корректирующих факторов влияния на функционирование финансово-кредитной системы в некоторых странах мира.

Раскрыты основные черты имеющихся проблем в проведении правительственных мероприятий по поддержке устойчивого развития экономики. Определены перспективные действия относительно государственной координации и рычагов влияния на жизнедеятельность финансово-кредитной системы в рыночной среде.

The article outlines the basic problems in realization of governmental measures of support of steady economy development and determines the prospective actions as redards state coordination and levers of influence on the financial & credit system in the market environment.

It also consders state policy aproaches to introduction of regulatory and corrective factots of influence upon financial & credit system in some countries of the world.

Сучасний етап становлення конкурентного ринкового середовища вимагає узагальнення чинників, форм та правил впровадження сталих економічних відносин, дослідження системоутворюючих законів еволюційного розвитку суспільства, розробки моделей сучасних ринкових відносин та їх теоретичного підгрунтя на основі обґрунтованих напрацювань економічної науки. Поєднання суто економічних важелів становлення ринкової економіки на сьогодні із застосуванням чинників державного впливу набирає все більшого значення та актуальності в різних економіко-правових механізмах, що є своєрідним досвідом правомірного використання різнорідних (змішаних) методів та інструментаріїв для раціоналізації сучасних ринкових відносин як самодостатньої, гармонійної економічної системи. Вивчення, узагальнення та застосування підходів до проведення активної (ефективної) економічної політики стає у багатьох державах пріоритетним напрямом діяльності на сучасному етапі розвитку соціально-економічних відносин. У зв'язку із світовими тенденціями еволюційного впровадження сталих економічних підходів до моделювання доктрини вільної конкуренції постає необхідність вивчення урядовими структурами застосовуємих у світі регулюючих дій щодо впровадження механізмів впливу державної політики у економічних відносинах [1].

Досліджуючи підходи окремих країн світу до впровадження механізмів координації (стимулювання) чи регулювання ринкових відносин, необхідно розуміти та підкреслити, що і в функціонуванні ринкового господарства можуть виникати небажані або негативні явища, що обумовлюється реальними умовами застосування, можливо, невмінням застосовувати механізми реалізації економічних чинників впливу на стійке конкурентне середовище. Але існує досвід запровадження інструментарію державного впливу та прийнятних методологій проведення економічної політики за допомогою цілеспрямованого управління, але без прямого контролю над економікою [2]. Вважається, що держава може і повинна намагатися протидіяти кризовим явищам в економіці, потрясінням, застою, диктату, невизначеності економічної ситуації тощо, що, у свою чергу, може призвести до краху всієї економіки. Зважаючи на це та на інші негативні процеси та їх наслідки, що можуть призвести до катастрофічних явищ виникнення депресії, розвалу економіки тощо, у деяких країнах світу використовуються державні заходи впливу через застосування різноманітних механізмів, наприклад, бюджетних, податкових та інших важелів впливу або через впровадження політики конкурентного змагання, що і спробуємо дослідити в цій роботі.

Визначення чинників запровадження державних управлінських впливів є на сьогодні одним із основних питань, які розглядаються у період переходу до сучасних ринкових відносин. Звичка до монопольного впливу держави як суб'єкта господарювання, а скоріше повне керування економікою (не завжди виправдане і позитивне) та одноманітні силові адміністративні заходи впливу (тиску), укорінені свого часу у великій державі, сприймаються у новому столітті як архаїчність використовуємих регулюючих процесів, що призвели свого часу до кризових явищ, які спонукали, як і ряд інших чинників, до розвалу планової економіки та вплинули на економічний і політичний вибір ринкового спрямування багатьох держав світу. Зважаючи на необхідність запровадження гнучких інструментаріїв державного впливу на розвиток сучасних ринкових відносин, спробуємо у даній роботі проаналізувати застосовуємі на практиці деяких держав чинники цього системного впливу.

Своєрідність, а у деяких випадках і традиційність підходів до запровадження регулюючих впливів на сучасні ринкові відносини в різних країнах світу є значним та впливовим інструментарієм проведення управлінських заходів щодо стимулювання, або активізації економічних процесів, які виконують функцію підсилення, а не тиску щодо підтримання стабільної, або як ще кажуть правильної, економіки. Економічна наука свого часу висувала різнобічні ідеї кейнсіанського, монетаристського, неокласичного та інших напрямів теоретичної думки, які мали прибічників, або супротивників державного втручання в економіку [3]. Всі ці ідеї мали шанс бути випробуваними у практичному застосуванні різними країнами світу, у різний час, у різних умовах існування, з прямим, або опосередкованим контролем із боку державних органів влади. У роботі проведемо аналіз таких важелів державного впливу, які були запроваджені у світовій практиці різними країнами, починаючи із 70-х років минулого століття та до початку нового століття [4].

Яскравим прикладом проведення державної економічної політики є ФРН, де у період становлення нової держави застосовувалися правові, економічні, адміністративні та пропагандистські методи державного впливу, залучалися технологічні, фінансові, матеріальні, людські та інші види ресурсів різних країн світу і була застосована спеціально розроблена Л. Єрхардом і В. Ойкеном доктрина відбудови Західної Німеччини, так звана соціально-ринкова економіка, яка базувалась на плані Маршалла [3; 8]. Можливо, сукупність проведених різними державами світу заходів щодо відтворення нової Німеччини (ФРН) змушує говорити про перші системні дії після другої світової війни, тобто так званий провісник глобалізації. У цій країні через правовий інструментарій був прийнятий ще у 1967 році закон про стабільність, за допомогою якого держава одержала інструмент, що був у змозі протидіяти кон'юнктурним помилковим явищам. Це надавало законодавчого закріплення процесам соціально-економічного спрямування розвитку країни. Таким чином, була закладена через цей закон мета, яка полягала в тому, щоб забезпечити стабільність, зберігати високий рівень зайнятості, зовнішньоекономічну рівновагу при постійному і належному економічному зростанні, що визначили в Німеччині як так званий «магічний чотирикутник» із забезпечення сталих конкурентних відносин. Зважаючи на те, що, на жаль, не завжди такі цілі могли бути досягнутими, все ж таки багато із проведених заходів набули свого значення як основоположних державних дій щодо відтворення економіки сталого ринкового спрямування, яка через невеликий проміжок часу вивела цю країну в коло основних розвинених держав світу. Слід відмітити, що проведення трансформаційних змін в економіці цієї країни ґрунтувалось на достатньо розвиненій і потужній економічній та промисловій інфраструктурі, науковому потенціалі, які були напрацьовані у попередньому періоді розвитку.

Слід наголосити на тому, що в цій країні одним із найважливіших заходів щодо проведення державної політики стало правове визначення та законодавче закріплення механізму відповідальності за надаваємі управлінські послуги. Саме в Німеччині відповідальність, наприклад за економічний розвиток, визначений за цільовими напрямками, була закріплена за урядовими і земельними міністерствами, а відповідальність за грошову політику за Німецьким федеральним банком і його тарифними партнерами [7].

Досить цікавим досвідом у Німеччині стало й те, що формування і координація економічної та соціальної політики була доручена таким органам, як наприклад:

– кон'юнктурній раді для органів державної влади, в яку входили федеральні міністри економіки і фінансів – по одному члену від урядів кожної землі й представників общин та общинних спілок. Федеральний банк також може брати участь в нарадах цієї ради, які відбуваються принаймні двічі на рік, а сама робота кон'юнктурної ради спрямовується на запрова-

дження одностайності дій всіх учасників у кон'юнктурній політиці держави;

– раді фінансового планування, яка має майже такий же склад учасників, як і кон'юнктурна рада, а її завданням є координація фінансового планування федерації земель і общин. Зобов'язаннями федерації і земель є складання багаторічного плану фінансування, в якому можна було б узгоджувати громадські доходи й видатки з народногосподарськими можливостями і потребами всіх земель та держави в цілому;

– експертній раді для аналізу загальнодержавного розвитку, яка була створена ще у 1963 році. Цей орган має назву „п'ять мудрих" через те, що до його складу входять п'ять незалежних експертів, і ця рада розробляє восени кожного року експертний висновок щодо загальноекономічного стану та перспективи розвитку на найближчі роки. Такі заходи містять у собі аналітичне прогнозування в галузі економічної політики та підходи щодо перспектив розвитку економіки цієї країни.

Таким чином, робота всіх цих органів спрямована на державне регулювання функціонування сучасного ринкового механізму в країні за допомогою активної фінансово-кредитної системи, що є фундаментом у проведенні ринкових відносин. Підсумки роботи цих органів підводяться в січні, коли федеральний уряд представляє бундестагу і бундесрату (двом палатам парламенту) річний господарський звіт, в якому відображені намічені на поточний рік цілі економічної та фінансової політики й урядові підсумки щорічного експертного висновку Експертної ради.

Такі підходи дозволили ФРН зайняти одне з провідних місць у світовому економічному розвитку, укріпити фінансово-кредитну систему та запровадити в життя теоретичні надбання світової економічної думки та практичні концепції багатьох розвинених країн [3; 8].

Для порівняння розглянемо підходи, які, наприклад, застосували ще зовсім нещодавно окремі країни колишнього СРСР, зокрема Естонія, яка є найменшою із країн Балтії, але вже на сьогодні відзначається своїм економічним розвитком, вступила до складу Євросоюзу та помітно випереджає своїх сусідів (Латвію і Литву) у ринкових перетвореннях і є прикладом створення ефективно функціонуючої фінансово-кредитної й банківської систем. Ці країни, які входили до складу СРСР, теж мали певний економічний, промисловий та науковий потенціал, відбудовану у післявоєнні роки інфраструктуру, що помітно сприяло їх входженню у сучасні ринкові відносини [6].

Після визнання незалежності країнами Балтії вже у 1997 році темпи зростання економіки в цих країнах склали:

– Латвії – 8,6 %;
– Литві – 7,3 %;
– Естонії – 10,6 %.

За доволі незначний проміжок часу ці країни зуміли перетворити закриту раніше планову економіку у яскравий приклад заходів дерегуляції господарської діяльності, становлення конкурентних переваг і лібералізації економічних відносин. Також слід відмітити, що економічна криза, яка відбувалася в Росії у 1998 році, теж вплинула на розвиток економіки в країнах Балтії, але проведеними заходами, у тому числі і урядовими, було виправлене становище та пом'якшені наслідки цієї кризи. Але лише у 1999 році, наприклад, у Латвії вдалося збільшити виробництво на 1,1 %, а Естонія закінчила цей рік із спадом економіки на рівні 1,1 %.

Пожвавлення розвитку економіки відновилося в цих країнах лише у другій половині 2000 року, а з цих прибалтійських країн Естонія першою вийшла із такої кризи (2000 рік +6,4 %) [7].

Все це було пов'язано із економічною політикою уряду, яка була спрямована на макроекономічну стабілізацію, а водночас це призвело до того, що на мікрорівні підприємства змушені були проводити реструктуризацію та пристосовуватися до нових умов господарювання, впроваджувати заходи відкритості у взаємовідносинах з іншими країнами. Такі заходи дозволили одержати максимум переваг від більш сприятливих міжнародних економічних і фінансових умов, поглибити кооперацію, збільшити обсяги ввозу сировинних матеріалів, тобто імпорту, та налагодити виробництво, або збільшити обсяги випуску високоякісної, конкурентноздатної продукції, що мала попит за кордоном та обумовила зростання експорту в цих невеликих за територією і кількістю населення країнах із незначними запасами сировини та енергоресурсів [5].

Свідченням цього є і те, що, якщо у 1996 році рівень інфляції в Естонії, наприклад, складав 19,8 %, то вже у 2000 році він знизився до 3,7% на рік. Слід відмітити, що, наприклад, за сім місяців 2000 року експорт товарів у вартісному відношенні збільшився на 49 %, тобто значно швидше, а ніж збільшувався імпорт. Такий стан балансу товарів (послуг) можливо ще пояснити також й тим, що в цих країнах розвинутим і сильним є банківський сектор, який за допомогою

зважених, продуманих, дієвих заходів має значний вплив на проведення господарської та підприємницької діяльності практично в усіх галузях (секторах) економіки. Що стосується структури банківської системи, то, наприклад, із 2001 року в Естонії функціонують шість банків і одне відділення іноземного банку, які покривають своєю мережею усі потреби підприємств та підприємців у наданні позикових послуг.

Свого часу після продажу третього, самого великого, державного банку іноземним інвесторам під контролем банків з іноземною власністю знаходиться 95 % внутрішніх банківських активів. Все це може свідчити про укріплення позицій місцевих банків у довгостроковому періоді. Також слід підкреслити, що на початок 2001 року безнадійні кредити, наприклад, в Естонії складають лише 2,1 % від загальних наданих кредитів. До того ж у цій країні відбулося значне зниження різниці між процентною ставкою по кредитах і депозитах.

За два роки (1999 і 2000) всі великі банки мали позитивний фінансовий результат, а сама Естонія продовжує притягувати до себе значні інвестиції, ще і у зв'язку із її вступом до Євросоюзу, а за два останні роки, під час підготовки до такого вступу, потоки капіталу перевищили дефіцит поточних операцій, що дозволило Центральному банку тієї ж Естонії збільшити свої валютні резерви. Все це, на погляд Європейської комісії, дозволило в опублікованому щорічному огляді визначити, що «Естонія добилася значного прогресу в укріпленні макроекономічної стабільності в проведених заходах щодо реструктуризації підприємств і фінансового сектору, а також у проведенні структурних реформ у комунальному і енергетичному секторах. Юридична, інституціональна і регулююча системи в цій країні є адекватно функціонуючими» [7].

Таким чином, визначені позитивні заходи, проведені в цій країні та відмічені на такому високому рівні, можуть, у свою чергу, стати пропагандиським методом у підвищенні значимості цієї країни як правової, демократичної держави ринкового спрямування, що надасть їй певних преференцій у розвитку своєї економіки. Заходи, направлені на стабілізацію економіки в Естонії, можуть бути взяті до наслідування в країнах із перехідною економікою, а також ретельно проаналізовані застосовані факторні підходи до вирішення такої важливої проблеми, як становлення фінансово-кредитної системи.

Досліджуючи проблематику підходів до впровадження державних впливів на процеси проведення економічної політики, необхідно розглянути стан та принципи застосування такої політики стимулювання економіки за допомогою важелів фінансово-кредитної системи у такій розвинутій країни, як, наприклад, Японія на межі століть. Так, станом на 1 квітня 2001 року, тобто у І кварталі, у цій країні панувала класична дефляція – ціни на товари та обсяги виробництва постійно падали, внаслідок чого виробникам невигідно було розширювати виробництво; вони на той час знижували витрати, що призводило до скорочення ВВП в цій державі і внаслідок до економічної стагнації. Уряд Японії вдався до досить непопулярних серед населення кроків, які включали в себе поступове послаблення національної валюти по відношенню до долару США, тобто таким чином у цій країни планували збільшити продаж японських товарів за кордоном (експортне спрямування економічних дій) й підтримати місцевих товаровиробників. Слід відмітити, що на той час за підсумками І кварталу 2001 року японська ієна постійно понижувалася у ціні та досягла свого мінімуму – 123,5 ієни за долар США. Також слід врахувати й те, що оскільки споживчий попит із боку США – основного торговельного партнера Японії – також падав через погіршення економічної ситуації і в цій країні, падіння вартості японської валюти вже могло оздоровити ділове життя в країні Сходу Сонця. Через це уряд Японії змушений був зажадати від Центрального банку відмовитися від жорсткої монетарної політики, до того ж було запропоновано повернутися до нульової ставки процента з метою стимулювання споживчого попиту. Але рішення Центрального банку Японії було направлено в той же час на збільшення грошової пропозиції замість зниження ставок, тобто такі заходи означали те, що вливання в економіку трильйонів ієн збільшить резерви банку по кредитам «овернайт» (overnignt) із 4 до 5 трлн ієн. Фактично ж таке збільшення резервів було заходом розширення грошової маси в економіці, але це був все ж таки більш акуратний підхід, ніж зниження процентних ставок. Слід розуміти, що такі заходи все ж таки не гарантували економічного зростання, а були спрямовані на підтримку банківського сектору, що і було забезпечено.

Представники Центрального банку Японії визначили, що така політика буде тривати до того часу, коли споживчі ціни в країні не будуть продовжувати знижуватися. На той час серед міжнародних експертів існували два погляди на дії уряду і Центрального банку Японії. Одні вважали, що такі масштабні вливання в

економіку повинні були стимулювати економічне зростання, а інші ж вважали, що, навпаки, ці заходи є чисто символічними і не несуть економічної користі, оскільки сама по собі економіка не може створити попит на товари і послуги. А наприклад, погляд голови Центрального банку Японії Мансард Хаями спирався на те, що основною проблемою економіки взагалі є не жорстка монетарна політика, а значний борговий тягар банків, який був допущений через їх нерозумну політику [7]. Важливим було те, що в японському уряді існували думки і впевненість, що збільшення грошової пропозиції чи зниження процентних ставок не стане рятівним кругом для економіки й що економіці необхідні більш серйозні заходи, як, наприклад, підтримка з боку іноземних споживачів, у тому числі і американських.

Такі проблеми, які мали місце у фінансово-кредитній системі Японії на той час негативно позначилися в цілому на економіці цієї країни, а враховуючи її провідне місце в міжнародних зв'язках та вплив на розвиток світової економіки, зокрема в азійському регіоні, вони негативно вплинули на економічний і соціальний розвиток та життєдіяльність багатьох мільйонів жителів планети [10].

Розглянемо підходи, які застосовувалися для підвищення ефективності функціонування фінансово-кредитної системи в останні роки минулого та на початку нового століття, на прикладі ще такої країни, як Турецька республіка. Ця країна вже певний час знаходиться в ринковому середовищі, маючи достатній історичний і економічний досвід, набула певного авторитету в світі, як держава із достатнім потенціалом важелів впливу на розвиток економічних відносин. Туреччина, яка є сусідньою державою (спільний морський кордон), має схожі з Україною інтереси та пройшла значний шлях у становленні своєї фінансово-кредитної системи.

Необхідно відмітити, що ще восени 2000 року, а точніше із листопада місяця, банківська система Туреччини переживала значну кризу, тому важливим буде дослідження факторних підходів, за допомогою яких в цій країні намагалися подолати цю кризу та її наслідки.

Наприклад, за три тижні листопада 2000 року фондовий ринок Туреччини втратив понад 40 % своєї вартості, а ставка «овернайт» (overnignt) склала біля 1000 %, відповідно рейтингове агентство «Standard Poor's Corp». знизило інвестиційний рейтинг Туреччини від стабільного до позитивного, визначаючи це тим, що в цій країні виникла необхідність пройти через реструктуризацію своєї фінансової системи. А вже наприкінці 2000 року Міжнародний валютний фонд (МВФ) надав Туреччині допоміжний кредит у розмірі 7,5 млрд дол. США та за програмою «Stand-by» надавалася можливість використати додатково ще 2,9 млрд дол. США. Такі заходи були спрямовані на те, щоб фінансова криза в Туреччині не позначилася на інших секторах економіки цієї країни. До того ж рішучі заходи, які своєчасно було зроблено урядом, надали змогу уникнути банкрутств підприємств та високого рівня безробіття. Сама ж підтримка МВФ стала значним чинником щодо зняття напруги і своєчасного впливу на переведення економіки країни із можливої довготривалої кризи у короткотерміновий характер кризових явищ [7]. Слід враховувати ще й те, що у Туреччині, як і в ще одній країні – Аргентині, існують на сьогодні умови небагатьох виниклих ринків, які ще не перейшли до режиму плаваючого валютного курсу. До того ж у Туреччині запроваджується амбіційна економічна стабілізаційна програма, яка була розроблена Міжнародним валютним фондом.

Таким чином, у 2000 році уряду Туреччини за допомогою жорсткої фіскальної і монетарної політики, великої приватизації і фіксованої щомісячної девальвації ліри вдалося значно знизити рівень процентної ставки та інфляції, яка все ж таки складала на той час біля 40 %, що на 15 % вище цільового рівня, який був закладений у стабілізаційній програмі. Помилкові ж дії, які полягали у прив'язці ліри до долара, спровокували високий рівень «доларизації» економіки Туреччини та позбавили Центральний банк цієї країни можливості забезпечення ліквідності усієї банківської системи. Також важливим було й те, що як внутрішні, так і зовнішні інвестори, втративши впевненість у майбутньому через вплив девальвації ліри на їх активи, почали відзивати свої капітали із турецьких ринків.

Загалом із початком кризи резерви Центрального банку Туреччини знизилися на 7,2 млрд дол. США, що свідчило про нестабільність і кризові явища в економіці. До того ж згідно із дослідженнями, які провів Chase International, потенційно валовий короткотерміновий відтік капіталу із цієї країни на той час складав приблизно 10…12 млрд дол. США. Слід також відмітити, що криза ліквідності банківської системи Туреччини могла означати в подальшому високий рівень процентної ставки, що могло призвести до різкого зниження кредитування та підвищення податкових ставок і цін на спожив-

чі товари, які знаходилися під контролем у держави, у тому числі на нафту. Можливо уряду Туреччини слід було б відмовитися на той час від режиму повзучої валютної «прив'язки», тобто таким чином воно було б змушене ввести контроль над потоками капіталу, як регулюючий захід державного впливу на негаразди в економіці країни. Ще слід було враховувати, що при вдалому повороті подій основним завданням уряду Туреччини повинно було стати досягнення розумного «макроекономічного міксу», що означало б збалансовану фіскальну і монетарну політику загалом. В цілому ж те, що відбувалося на той період, не повинно було б негативно позначитися на показниках 2000 року і на темпах економічного зростання, які складали б біля 6…7 % річних, а вже на 2001 рік Chase International прогнозував нульовий показник росту економіки, тобто все ж таки наслідки повинні були позначитися на економіці в цій країні. Фінансові аналітики США і Європи виказували побоювання, що економічні складнощі, які були на той час у Туреччині, могли б розповсюдитися на інші нестабільні економіки в інших регіонах світу, а також виникала стурбованість і через те, що через інвесторів спостерігалося підвищене занепокоєння, оскільки вони змушені були йти на підвищені ризики, інвестуючи капітал у інші нові ринки [6].

З огляду на необхідність становлення в Україні сталої економічної системи, для проведення трансформаційних перетворень, психологічного усвідомленнія новітніх життєвих орієнтирів, виникає нагальна потреба у теоретичному обґрунтуванні та практичному проектуванні сучасної, притаманної природньому укладу нашої країни економіки, складовою частиною якої має стати фінансово-кредитна система, яка повинна бути високоефективною за послідовністю цільової функції відтворення економіки.

За допомогою сучасних наукових концепцій та методів для нашої країни необхідно визначити вплив ідеології монетариських інститутів та міжнародних фінансових систем, які проникли в сферу діяльності більшості країн світу й які панують або визначають політику держав і у нинішній час.

Фундаментальні зміни в політичній, економічній, соціальній сферах, які відбуваються в нашій країні, потребують глибинного вивчення для розробки та надання рекомендацій при формуванні економічної політики виходу на сталий розвиток суспільних відносин.

Важливим є те, що починаючи з останніх років XX ст. у ряді країн спостерігалася тенденція щодо дерегулювання фінансової системи, яку можливо було обумовити неналежним грошовим регулюванням а також зросшою грошовою пропозицією, що не відповідало тоді потребам економіки, адже надлишок грошей міг би ускладнити небезпечні інфляційні процеси, а нестача грошей, у свою чергу, гальмувала б зростання економіки, перешкоджаючи виробництву й обміну благ та послуг.

Необґрунтовані якісні зміни в економічній, фінансовій й монетарній політиці окремих країн могли спонукати безперервне збільшення розриву між накопиченням фінансів і ростом реальної економіки, тобто те, що спостерігалося свого часу в Україні, – йшло накопичення фінансів, а економіка країни знаходилася у занепаді. Але, незважаючи на одну із останніх тенденцій дерегулювання фінансової системи, майже повсюди в світі залишається ще значним та впливовим ступінь централізації й державного контролю. Необхідно враховувати також і те, що перехід до відкритої економічної системи поєднує у певній мірі й пріоритети у проведенні в життя нової економічної політики у межах економіки країни та висуває як кінцеве завдання засади сталого розвитку фінансово-кредитної системи як чинного фактора забезпечення стабільності цін, економічного зростання й повної зайнятості. Як важлива проміжна мета грошово-кредитної політики може розглядатись й забезпечення стабільності кількості грошей, які є в обертанні, тобто рівень цін та обмінний валютний курс з його ймовірними змінами.

Міжнародна валютно-кредитна система, по суті, є складовою певних правил й законів, які регулюють діяльність центральних емісійних банків на зовнішніх валютних ринках. Метою цих правил є полегшення процесів міжнародної торгівлі таким чином, щоб усі її учасники одержували максимально можливу користь, яка забезпечувала б ефективність й процвітання економічних систем, які представляє міжнародна торгівля. А вже у процесі реалізації цієї мети, на практиці, українська фінансово-кредитна система, враховуючи існуючі міжнародні валютно-кредитні відносини, повинна забезпечити стабільний фундамент для довгострокового планування міжнародних торговельних відносин й всебічно сприяти впровадженню заходів підтримки вітчизняної економічної діяльності.

Проведене дослідження показало, що методологія впровадження заходів підтримання фі-

нансової стабільності за допомогою важелів державного впливу на фінансово-кредитну систему в багатьох країнах світу визначається як важливий чинник скоріше координуючих, а не регулюючих підходів до проведення сталого економічного розвитку [7]. До того ж, на думку аналітиків, на сьогодні в світі ще існує велика вірогідність розповсюдження нестабільності фінансових систем, у першу чергу знов утворених незалежних країн після розпаду колишньої системи, оскільки країни колишнього соцтабору є все ж таки особливо вразливими в даній ситуації, і до того ж інвестори, які працюють на цих ринках, виказують значну занепокоєність корупцією та слабкістю банківської системи, тобто тими ж факторами, які лежали і в основі досліджених кризових явищ, що мали місце в Туреччині.

До того ж слід розуміти й те, що, як показало проведене дослідження, функціонування фінансово-кредитної системи в світі на сьогодні змінює форми та методи як в управлінні системою банківського кредитування, яке майже всюди претерпіло зміни, так і сутністю відносин із об'єктами надання фінансових послуг. Також і роль банків вже не обмежується тільки виділенням коштів та перевіркою кредитоспроможності позичальників, а також проводяться спільні, зважені дії із урядовими установами щодо проведення єдиної, цілісної державної політики підтримання економічного курсу стабільної ринкової спрямованості. А загалом все це є позитивним чинником взаємодії державних й недержавних, галузевих та спеціалізованих організацій і закладів, призначених до запровадження спільних дій щодо побудови моделей сучасних ринкових економічних відносин.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Чистов С. М. Державне регулювання економіки: Навч. посібник / С. М. Чистов, А. С. Никифоров, Т. Ф. Куценко та ін. – К.: КНЕУ, 2000. – 316 с.
2. Сков Нільс А. Фінанси і управління. – Варшава: ПЕРТ, 1994. – 247 с.
3. Ойкен В. Основные принципы экономической политики. – М.: Прогресс, 1995. – 465 с.
4. Мэнкью Г. Н. Макроэкономика / Пер. с англ. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 512 с.
5. Власюк В. Є. Щодо аналізу основних принципових підходів до впровадження кредитно-грошової політики // Економіка: проблеми теорії та практика. Зб. наук. пр. В 3-х т. Том ІІІ. – Д.: ДНУ. 2003. – Вип. 182. – С. 624–628.
6. Власюк В. Є. Щодо чинників впливу на становлення сталої фінансово-кредитної системи. Економіка і регіон // Науковий вісник Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – 2004. – № 1(2). – С. 82–84.
7. Власюк В. Є. Теоретичні та практичні аспекти функціонування фінансово-кредитної системи: Монографія. – Д.: ДДФА, 2005. – 246 с.
8. Эрхард Л. Благосостояние для всех. – М.: Начала – Пресс, 1991. – 350 с.
9. Власюк В. Є. Регулюючі чинники державного впливу на управління економікою у деяких розвинених країнах. Економіка: проблеми теорії та практики: Зб. наук. пр. В 4 т. Том IV. – Д.: ДНУ, – 2005. – Вип. 206. – С. 1060–1067.
10. Власюк В. Є. Формування фінансово-кредитної системи в умовах світової глобалізації // Фінанси України. – 2005. – №12(121) грудень – С. 89–94.

Надійшла до редколегії 29.11.2006.

УДК 629.45.003.13

Н. В. ГНЕННЫЙ, О. Н. ГНЕННЫЙ (ДИИТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА НОВОГО ТИПА

Запропоновані методичні підходи щодо визначення економічної ефективності впровадження нових типів пасажирських вагонів, що засновані на сучасних методах оцінки ефективності інновацій. У тому числі, запропоновано спосіб урахування невизначеності та ризиків з використанням методу статистичних випробувань. Розроблено відповідну модель для оцінки ефективності впровадження вагона-трансформера виробництва ВАТ «Дніпровагонрембуд».

Предложены методические подходы к определению экономической эффективности внедрения новых типов пассажирских вагонов, основанные на современных методах оценки эффективности инноваций. В том числе, предлагается способ учета неопределенности и рисков с использованием метода статистических испытаний. Разработана соответствующая модель для оценки эффективности внедрения вагона-трансформера производства ОАО «Днепровагонремстрой».

A technical approach to cost efficiency determination of new type of passenger cars introduction is proposed, based on modern methods of defining the efficiency of innovations. This includes a proposed technique for assessing the uncertainties and risks with the use of method of statistical testing. A model has been developed for determining efficiency of introduction of the passenger transformer car produced by public corporation Dneprovagonrembud.

Современное состояние пассажирского подвижного состава железных дорог Украины характеризуется значительным износом как физическим, так и моральным. На 01.01.2005 г. 31 % инвентарного парка пассажирских вагонов составляют вагоны, отработавшие установленный ресурс (28 лет). Инвентарный парк пассажирских вагонов в пределах нормативного срока эксплуатации составил 55 % от парка 1990 года. Средний возраст пассажирского вагона составляет 24 года, что соответствует 86 % износа. При отсутствии обновления подвижного состава ожидается дефицит пассажирских вагонов и соответственно не полное удовлетворение железнодорожным транспортом спроса на пассажирские перевозки.

Одним из путей преодоления сложившейся кризисной ситуации является разработка и внедрение новых типов пассажирских вагонов. Такие вагоны должны приобретаться взамен выбывающих единиц. Они должны отвечать современным требованиям к качеству пассажирских перевозок (скорость перевозок, уровень комфорта и безопасности и др.) и обеспечивать более высокую производительность по сравнению с вагонами старых типов.

В качестве одного из положительных примеров в этой области следует назвать вагон-трансформер, разработанный на ОАО «Днепровагонрембуд».

Благодаря инновационному конструктивному решению пассажирский вагон-трансформер силами поездной бригады за время, которое не превышает 30 минут, может быть переоборудован: в вагон с двухместными спальными купе; в вагон с четырехместными спальными купе; в вагон с шестиместными купе с местами для сидения. Конструктивное и пространственно-художественное оформление отвечает современным требованиям технической эстетики и предусматривает применение негорючих и трудногорючих материалов. Вагон оснащен современными системами кондиционирования воздуха, обеспечения жизнедеятельности пассажиров и электронными системами управления. Это позволяет организовать эксплуатацию указанных вагонов в «дневных» и «ночных» поездах. Благодаря этому при обеспечении равного комфорта в «дневных» поездах увеличивается количество мест, что позволит увеличить населенность вагонов и соответственно доходы от пассажирских перевозок. Кроме того, способность к трансформации позволит без изменения инвентарного парка пассажирских вагонов оптимизировать соотношения спальных и купейных вагонов в составе «ночных» поездов. Появляется возможность оперативного изменения числа мест в спальных купе в зависимости от количества проданных билетов. Интерьер вагона выполнен из современных композитных материалов с антивандальними свойствами и значительной износостойкостью. Это значительно уменьшает затраты при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту вагона.

В целом, можно ожидать, что эксплуатация вагонов-трансформеров будет способствовать повышению эффективности дальних пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте.

Целью данной работы является разработка методики определения экономической эффективности внедрения пассажирских вагонов новых типов. Указанная цель достигается решением следующих задач:

– выбор критерия эффективности;

– выявление факторов, влияющих на эффективность пассажирского вагона;

– разработка методов учета рыночных условий реализации проекта, а именно: наличие альтернативных вариантов инвестирования, учет рисков и неопределенности.

Внедрение пассажирского вагона нового типа является инновационным мероприятием, решение о реализации которого должно базироваться на методах оценки эффективности инвестиционных и инновационных проектов. Современные общепринятые подходы к оценке эффективности инноваций отражены в методике определения экономической эффективности затрат на научные исследования и разработки, их внедрение в производство [1].

В данной работе рассматривается внедрение пассажирского вагона с точки зрения коммерческой эффективности. При этом рассматривается общая эффективность проекта [2]. Указанный критерий выражается в показателе «чистый дисконтированный доход», на базе которого может быть принято решение о реализации проекта и выбор наиболее эффективного варианта.

Вагон-трансформер производства ОАО «Днепровагонремстрой» предназначен для перевозки пассажиров по магистральным железным дорогам колеи 1520 мм в габарите подвижного состава 1-ВМ по ГОСТ 9238 со скоростями движения до 160 км/ч.

Характерной особенностью вагона-трансформера, определяющей сферу его эффективного применения, является возможность изменения вместимости в пути следования, в зависимости от пассажиропотока, силами поездной бригады по указанным выше вариантам. При этом уровень комфорта, обеспечиваемый внутренней отделкой и системами жизнеобеспечения, соответствует современным требованиям к спальным и купейным вагонам.

Возможность трансформации купе позволяет эффективно использовать вагон-трансформер по таким схемам:

– время оборота вагона до 12 часов позволяет организовать полный оборот в течение светлого и полный оборот в течение темного времени суток. В течение светлого времени суток вагоны-трансформеры следуют в составе «дневного» поезда в состоянии шестиместных купе с местами для сидения. В темное время суток вагоны-трансформеры следуют в составе «ночного» поезда в состоянии двухместных и четырехместных спальных купе (вагоны «СВ» и «купе»);

– время оборота вагона до 24 часов позволяет организовать следование в одном направлении в режиме дневного поезда, а в обратном направлении – в режиме ночного поезда.

Очевидно, что эксплуатация поездов в дневном и ночном режиме позволяет существенно повысить их вместимость. При этом в состав как дневного, так и ночного поезда включаются вагоны с открытыми купе (в режиме «плацкартный» и «общий») для обеспечения социальных перевозок. Вагоны-трансформеры целесообразно использовать вместо обычных спальных и купейных вагонов.

В условиях Украины вторая схема использования позволяет достаточно широко внедрять вагон-трансформер и в дальнейшем считается базовой.

Предельная длина маршрута вагона (половина полного рейса), при которой возможна его эксплуатация по указанным схемам, зависит от времени оборота, времени простоя в пунктах формирования и оборота, маршрутной скорости. Длина маршрута определяется по формуле:

$$L_{\text{м}} = \frac{1}{2}\left(O_{\text{в}} - t_{\text{ф}} - t_{\text{об}}\right)V_{\text{м}}, \qquad (1)$$

где $O_{\text{в}}$ – время оборота вагона (для базовой схемы 24 часа), ч; $t_{\text{ф}}$ – технологический минимум простоя в пункте формирования, ч; $t_{\text{об}}$ – технологический минимум простоя в пункте оборота, ч; $V_{\text{м}}$ – маршрутная скорость, км/ч.

Полученная по формуле (1) предельная длина маршрута определяет сферу эффективного применения вагонов-трансформеров.

В качестве горизонта расчета при определении эффективности вагона-трансформера целесообразно принять нормативный срок его использования 28 лет, что совпадает с продолжительностью жизненного цикла рассматриваемого проекта.

Одним из основных принципов оценки эффективности инвестиций является выявления эффекта на основании сравнения ситуаций «с проектом» и «без проекта». Ситуация «с проектом» предусматривает эксплуатацию вагонов-

трансформеров в составе дневных и ночных поездов. Ситуация «без проекта» предполагает движение обычных поездов, по вместимости аналогичных ночному как в светлое, так и в темное время суток. В этом случае в составе поезда используются базовые спальный и купейный вагоны.

Годовой текущий эффект от инвестиций в приобретение вагонов-трансформеров определяется разницей в результатах и затратах в ситуациях «с проектом» и «без проекта».

Учет фактора наличия альтернативных вариантов инвестирования (фактор времени) достигается приведением разновременных результатов и затрат к начальному моменту времени путем дисконтирования.

В настоящей работе применяются сценарный подход к учету рисков и неопределенности, который используется для определения показателя «ожидаемый чистый дисконтированный доход». В данном случае в качестве данного показателя выступает математическое ожидание чистого дисконтированного дохода по всей совокупности возможных сценариев.

При расчете ожидаемого чистого дисконтированного дохода, как математического ожидания, премия за риск в норме дисконта не учитывается. Последнее вытекает из того, что риск проявляется только в возможности осуществления неблагоприятного сценария, но если он уже реализовался, то возникшие потери оценены точно и в расчетах этих потерь никакого риска уже нет [3].

Для моделирования закона распределения случайной величины «чистый дисконтированный доход» целесообразно использовать метод статистических испытаний (Монте-Карло).

В данной работе метод статистических испытаний используется для получения значений случайных величин, то есть для моделирования распределений [4].

Исходной случайной величиной при использования метода Монте-Карло является одномерная равномерно распределенная на интервале [0, 1] случайная величина. Данная величина моделируется при помощи генератора случайных чисел ЭВМ. Из равномерно распределенных случайных величин можно получить случайные величины, имеющие любой заданный закон распределения. При этом для определения ожидаемого чистого дисконтированного дохода, как правило, требуется моделирование непрерывно распределенных случайных величин. В этом случае реализация случайной величины с интегральной функцией распределены $F(x)$ определяется решением уравнения

$$F(a) = \varepsilon, \qquad (2)$$

где a – реализация моделируемой случайной величины на данной итерации; ε – значение равномерной случайной величины, распределенной на интервале [0, 1].

Алгоритм применения метода статистических испытаний для моделирования закона распределения показателя эффективности заключается в следующем:

1. Разработка имитационной модели исследуемой случайной величины.
2. Распределение показателей модели на случайные и детерминированные.
3. Определение законов распределения случайных показателей.
4. Нахождение взаимосвязи между показателями.
5. Расчет значения детерминированных показателей и проведение «испытания» для случайных показателей с учетом взаимосвязи между ними. Вычисление значения результирующего показателя по модели, определенной в п.1, по найденным на данной итерации значениям показателей.

Повторение п.5 достаточно большое число итераций (раз), на каждой из которых определяется значение результирующего показателя.

В результате выполнения указанных выше действий получается равное количеству итераций число значений результирующего показателя, которые рассматриваются в дальнейшем как статистическая выборка результатов «испытаний» исследуемой случайной величины, что позволяет судить о ее законе распределения.

В настоящей работе принято, что случайные величины, входящие в модель чистого дисконтированного дохода, распределены приближенно нормально. Для задания закона распределения такой величины необходимо определить ее математическое ожидание и стандартное отклонение. При этом при прогнозировании таких показателей могут возникнуть следующие ситуации:

В результате прогнозирования определены математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение прогноза. В этом случае формула (2) применяется к результатам прогноза.

В результате прогноза определены интервалы колебаний показателей. В этом случае математическое ожидание оценивается как середина интервала, а среднеквадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \frac{B_{\text{макс}} - B_{\text{мин}}}{2\Phi_{\text{обр}}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}, \qquad (3)$$

где $B_{\text{макс}}$ –наибольшее ожидаемое значение показателя; $B_{\text{мин}}$ – наименьшее ожидаемое значение показателя; $\Phi_{\text{обр}}$ – функция, обратная функции Лапласа; α – уровень значимости (в данном случае означает вероятность того, что реализация случайной величины будет за пределами интервала $\left[B_{\text{макс}}; B_{\text{мин}}\right]$).

В результате прогноза определены интервал колебания показателя и оценка математического ожидания, которая не совпадает с серединой интервала. В этом случае среднеквадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \frac{\max\left(B_{\text{макс}} - \overline{B}; \overline{B} - B_{\text{мин}}\right)}{\Phi_{\text{обр}}\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)}, \qquad (4)$$

где $\overline{B}$ – оценка математического ожидания.

Во всех случаях при определении результата испытания необходимо учесть границы интервала, что достигается использованием формулы

$$B = \min\left(\max\left(\sigma \cdot \Phi_{\text{обр}}\left(\varepsilon\right) + \overline{B}; B_{\text{мин}}\right); B_{\text{макс}}\right), \quad (5)$$

где B – реализация случайной величины – составляющей модели чистого дисконтированного дохода.

Для определения ожидаемого чистого дисконтированного дохода в расчете на один вагон-трансформер разработана модель данного показателя, в которой он определяется по формуле

$$ЧДД = \frac{\sum_{t=1}^{28} \frac{ЧДП_t}{\left(1 + E_{\text{дет}}\right)^t} - КВ}{n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}}, \qquad (6)$$

где $ЧДП_t$ – чистый денежный поток на шаге t в расчете на 1 вагон рабочего парка; $КВ$ – капитальные вложения в начале первого шага, т.е. на нулевом шаге, в расчете на один вагон рабочего парка; $E_{\text{дет}}$ – ставка дисконта в условиях определенности; $n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}$ – инвентарный парк вагонов-трансформеров в расчете на один вагон рабочего парка.

В свою очередь, чистый денежный поток на один вагон рабочего парка определяется по формуле

$$ЧДП_t = \left(Д_t - ЭР_t - PP_t\right)\left(1 - 0{,}25\right) + A_t 0{,}25, \quad (7)$$

где $Д_t$ – прирост доходов от пассажирских перевозок; $ЭР_t$ – прирост зависящих эксплуатационных расходов (без амортизации); PP_t – прирост расходов на ремонты (ДР, КР-1, КР-2); A_t – амортизационные отчисления в налоговом учете; 0,25 – ставка налога на прибыль.

Прирост доходов от пассажирских перевозок на один вагон рабочего парка определяется по формуле

$$Д_t = \frac{365 \cdot L}{1000} \cdot \left(\begin{array}{l} \left(y_{\text{св}} + y_{\text{купе}}\right) \cdot 54 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{в-т}} \cdot \partial_{\text{в-т}} - \\ - \left(\begin{array}{l} y_{\text{св}} \cdot 18 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{СВ}} \cdot \partial_{\text{СВ}} + \\ + y_{\text{купе}} \cdot 36 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{купе}} \cdot \partial_{\text{купе}} \end{array} \right) \end{array} \right), \quad (8)$$

где L – длина маршрута при эксплуатации вагона-трансформера, км; $y_{\text{св}}$ – доля пассажирских перевозок в вагонах СВ; $y_{\text{купе}}$ – доля пассажирских перевозок в вагонах купе; $K_{\text{вм}}^{\text{в-т}}$ –коэффициент использования вместимости вагона-трансформера в режиме шестиместных купе с местами для сидения; $K_{\text{вм}}^{\text{СВ}}$ – коэффициент использования вместимости вагона СВ; $K_{\text{вм}}^{\text{купе}}$ – коэффициент использования вместимости вагона купе; $\partial_{\text{в-т}}$ – доходная ставка для вагона-трансформера в режиме шестиместных купе с местами для сидения, грн/пас-км; $\partial_{\text{СВ}}$ – доходная ставка для вагона СВ, грн/пас-км; $\partial_{\text{купе}}$ – доходная ставка для вагона купе, грн/пас-км.

Прирост зависимых эксплуатационных расходов определяется по формуле

$$ЭР_t = \frac{\Delta PL_{\text{бр}} \cdot e_{PL_{\text{бр}}} + \frac{\Delta PL_{\text{бр}}}{10000} \cdot \beta_{\text{э}} \cdot e_{\text{Э}} + \Delta H \cdot e_H}{1000}, \quad (9)$$

где $\Delta PL_{\text{бр}}$ –прирост тонно-километров брутто, т·км бр.; $\beta_{\text{э}}$ – норма расхода электроэнергии на 10000 т·км брутто, кВт·ч; ΔH – прирост количества отправленных пассажиров, пас.; $e_{\ldots}$ – соответствующие расходные ставки, грн/изм.

Прирост т·км брутто связан с изменением количества пассажиров в вагоне и при норме массы на одного пассажира 0,1 т определяется по формуле

$$\Delta PL_{\text{бр}} = 365 \cdot L \cdot 0{,}1 \cdot \left(\begin{array}{l} \left(y_{\text{св}} + y_{\text{купе}}\right) \cdot 54 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{в-т}} - \\ - \left(\begin{array}{l} y_{\text{св}} \cdot 18 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{СВ}} + \\ + y_{\text{купе}} \cdot 36 \cdot K_{\text{вм}}^{\text{купе}} \end{array} \right) \end{array} \right). \quad (10)$$

Прирост количества отправленных пассажиров определяется по формуле

$$\Delta H = 365\left(\begin{array}{l}\left(y_{\text{св}} + y_{\text{купе}}\right)\cdot 54\cdot K_{\text{вм}}^{\text{в-т}} - \\ -\left(\begin{array}{l} y_{\text{св}}\cdot 18\cdot K_{\text{вм}}^{\text{СВ}} + \\ + y_{\text{купе}}\cdot 36\cdot K_{\text{вм}}^{\text{купе}} \end{array}\right)\end{array}\right). \quad (11)$$

Инвентарные парки вагонов в расчете на один вагон рабочего парка по типам определяются как отношение долей соответствующих типов вагонов к коэффициентам соотношения рабочего и инвентарного парков.

Изменение расходов на ремонт определяется по формулам:

$$PP_{\text{др}} = n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}\cdot Ц_{\text{др}}^{\text{в-т}} - \\ -n_{\text{инв}}^{\text{СВ}}\cdot Ц_{\text{др}}^{\text{СВ}} - n_{\text{инв}}^{\text{купе}}\cdot Ц_{\text{др}}^{\text{купе}}, \quad (12)$$

$$PP_{\text{КР-1}} = n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}\cdot Ц_{\text{КР-1}}^{\text{в-т}} - \\ -n_{\text{инв}}^{\text{СВ}}\cdot Ц_{\text{КР-1}}^{\text{СВ}} - n_{\text{инв}}^{\text{купе}}\cdot Ц_{\text{КР-1}}^{\text{купе}}, \quad (13)$$

$$PP_{\text{КР-2}} = n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}\cdot Ц_{\text{КР-2}}^{\text{в-т}} - \\ -n_{\text{инв}}^{\text{СВ}}\cdot Ц_{\text{КР-2}}^{\text{СВ}} - n_{\text{инв}}^{\text{купе}}\cdot Ц_{\text{КР-2}}^{\text{купе}}, \quad (14)$$

где $PP_{\dots}$ – изменения расходов на соответствующие виды ремонтов; $n_{\dots}^{\dots}$ – инвентарные парки соответствующих видов вагонов; $Ц_{\dots}^{\dots}$ – затраты на соответствующие виды ремонтов соответствующих типов вагонов.

Прирост капитальных вложений в расчете на один вагон рабочего парка определяется по формуле

$$KB = n_{\text{инв}}^{\text{в-т}}\cdot Ц_{\text{в-т}} - , \quad (15)$$

где $Ц_{\dots}$ – цена вагона соответствующего типа без НДС.

Амортизационные отчисления по годам определяются по формуле

$$A_i = KB\left(1-a\right)^{i-1} a\,. \quad (16)$$

где A_i – амортизационные отчисления i-го года; a – средняя годовая ставка амортизационных отчислений в налоговом учете.

Таким образом, показателями имитационной модели являются приведенные выше величины для каждого года из расчетного периода.

Разработанная в данной работе модель чистого дисконтированного дохода содержит показатели, которые подразделяются на независимые случайные величины, зависимые случайные величины, функционально зависимые величины и константы. Независимые случайные величины являются самостоятельными факторами, определяющими величину чистого дисконтированного дохода. При этом законы распределения для них в каждом году расчетного периода устанавливаются на подготовительном этапе. Параметры этих законов распределения не изменяются в ходе проведения статистических испытаний.

Зависимые случайные величины являются показателями, у которых параметры законов распределения изменяются в ходе выполнения статистических испытаний под влиянием результатов испытания независимых случайных величин. На предварительном этапе устанавливаются формы связи параметров законов распределения зависимых величин от значений независимых. Функционально зависимые величины используются в качестве промежуточных показателей. Показатели-константы устанавливаются на предварительном этапе и не изменяются во время испытаний.

Выводы

Проведенное исследование методов определения эффективности пассажирских вагонов позволяет сделать выводы.

Решение о внедрении пассажирского вагона нового типа целесообразно принимать на базе критерия общей коммерческой эффективности, выраженного в показателе «ожидаемый чистый дисконтированный доход», что в полной мере позволяет учесть рыночные условия реализации проекта (факторы времени, риска, неопределенности, инфляции и т. д.).

Факторами, влияющими на эффективность вагона, являются технологический минимум времени простоя в пунктах формирования и оборота, маршрутная скорость, структура перевозок пассажиров по типам вагонов, уровень тарифов на пассажирские перевозки по типам вагонов (СВ и купе), коэффициенты использования вместимости вагонов, соотношение рабочего и инвентарного парков пассажирских вагонов, цены вагонов СВ, купе, вагона-трансформера, соотношение расходов на техническое обслуживание и ремонт вагонов нового и старого типов.

Для учета фактора неопределенности целесообразно использовать сценарный подход. Адекватным задаче инструментом моделирования закона распределения чистого дисконтированного дохода является метод статистических испытаний.

В работе построена модель для определения ожидаемого чистого дисконтированного дохода в расчете на один вагон-трансформер инвентарного парка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения экономической эффективности затрат на научные исследования и разработки, их внедрение в производство, утвержденная приказом Министерства экономики и по вопросам европейской интеграции и Министерства финансов Украины от 26.09.2001 г. № 218/446.
2. Сост. Ю. Ф. Кулаев.Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте: Учеб.-метод. пособие / – К.: Транспорт України, 2001. – 182 с.
3. Виленский П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц и др. – М.: Дело, 1998. – 248 с.
4. Бусленок Н. П. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Н. П. Бусленок, Д. И. Голенок и др.; Под. ред. Ю. А. Шрейдера. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 331.

Поступила в редколлегию 01.12.2006.

УДК 385 (045)

Н. Г. ИВАНОВА (ВНИКТИ, Россия)

ОЦЕНКА ЗАТРАТ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КАК КРИТЕРИЙ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ВЫГОДНОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО МЕРОПРИЯТИЯ

Наведено сучасні підходи до оцінки ефективності придбання нових локомотивів на основі показника вартості життєвого циклу (LCC).

Представлены современные подходы к оценке эффективности приобретения новых локомотивов на основе показателя стоимости жизненного цикла (LCC).

The review article represents current approaches to the efficiency estimation of new locomotive purchasing on the basis of life cycle cost value (LCC).

На современном этапе развития железнодорожного транспорта весьма остро стоит вопрос коренного обновления тягового подвижного состава, создания и освоения производства в России локомотивов нового поколения.

Меняются также подходы к проблеме технического обслуживания и ремонта подвижного состава. В соответствии со Стратегической программой развития ОАО «РЖД» деятельность по ремонту подвижного состава должна быть основана на принципах сервисного обслуживания предприятием-изготовителем.

В настоящее время в зарубежной практике все более широкое применение при заключении договоров на поставку подвижного состава и при выборе наиболее выгодного предложения используются такие понятия, как «стоимость (затраты) жизненного цикла» (Life Cycle Cost – LCC) и «управление надежностью, эксплуатационной готовностью, ремонтопригодностью и безопасностью» (RAMS – Reliability, Availability, Maintainability, Safety) [1–3].

Для указанных понятий характерно то, что количественные требования и критерии поведения изделия в эксплуатации (в первую очередь, системные расходы и эксплуатационная готовность) определяются для реальных условий эксплуатации на весь предусмотренный срок службы и используются в качестве основных показателей при выборе наилучшего варианта осуществления перевозок.

В составе затрат жизненного цикла учитываются, как правило, стоимость приобретения локомотива, расходы на техническое обслуживание и ремонт за весь срок службы, а также затраты на топливо и энергию в натуральном выражении. При этом учитываются возможные типовые условия эксплуатации в условиях неопределенности, которая существует при любом длительном периоде прогнозирования, а речь идет о сроке 20…40 лет, необходимо учитывать риски возникновения нештатных ситуаций.

Фирма-изготовитель подвижного состава на основании его конструкционных и технических параметров с большой вероятностью может рассчитать стоимость жизненного цикла выпускаемой им техники.

Применение понятий LCC и RAMS обусловлено, в первую очередь, произошедшим в последнее время изменением взаимоотношений между железными дорогами и промышленностью. На современном этапе промышленность берет на себя полную ответственность за разработку изделий и систем. Железная дорога ограничивается выдачей технических требований и гарантиями предоставления данных о системном поведении продукции в течение срока службы (т. е. о затратах жизненного цикла, эксплуатационной готовности). Кроме того, частные железные дороги ориентируются на экономический эффект, определяемый на основе интегрированных оценок расходов в течение всего срока службы используемых изделий и устройств, при разработке и внедрении своих инвестиционных программ. По мнению автора [4], показатель LCC и эксплуатационная готовность в будущем станут основными критериями при оценках в принятии решений.

Железная дорога как эксплуатирующее технику предприятие, используя эти показатели, сможет количественно определить требования к новым поколениям подвижного состава на основе сравнения с достигнутым уровнем:

– оценивать пакеты предложений промышленности и при заключении договоров давать сравнительную оценку показателей LCC и эксплуатационной готовности;

– оценивать и оптимизировать собственную внутреннюю стратегию в области обновления парка тягового подвижного состава, организации процесса эксплуатации или системы технического обслуживания.

Методика оценки затрат жизненного цикла LCC создает для железных дорог инструмент, пригодный для того, чтобы анализировать структуру затрат, определять наиболее капиталоемкие звенья и слабые места, выбирать оптимальные решения на основе сравнительной оценки и тем самым способствовать повышению конкурентоспособности железных дорог за счет совершенствования технической базы.

К примеру, контракт на поставку электроподвижного состава Норвежским государственным железным дорогам (NSB), предусматривающий оценку затрат жизненного цикла, корректировался и уточнялся на протяжении ряда лет (т. н. мониторинг технико-экономических показателей) [5]. Расчет затрат жизненного цикла включал определение суммарного расхода электроэнергии за срок службы подвижного состава (в кВт·ч) и расходов на ремонт и обслуживание. Изменения вносились на различных стадиях осуществления проекта (в течение 5 лет) в связи с увеличением межремонтных периодов по некоторым узлам и системам, совершенствованием системы ремонта и обслуживания (например, для системы внутреннего освещения было выбрано профилактическое обслуживание вместо ремонта, что значительно уменьшает время работ, не влияя на удобство пассажиров). Учитывалось также изменение величины затрат жизненного цикла при смене поставщиков, исключения некоторых узлов и систем из базовой конфигурации поезда и соответственно исключения операций по обслуживанию и ремонту удаляемого оборудования или, напротив, в связи с установкой нового оборудования включение в LCC затрат по его обслуживанию и ремонту.

Даже незначительные изменения нашли отражение при расчете затрат жизненного цикла ─ в результате величина затрат жизненного цикла снизилась на 55,4 млн норвежских крон или на 8 % по сравнению с первоначальными оценками. Расчеты проводились без учета фактора времени на основании норм расхода материальных ресурсов, трудозатрат, периодичности каждого вида ремонта и обслуживания.

Для промышленности использование методики расчета затрат жизненного цикла означает, что для удовлетворения спроса необходимо предложение конкурентоспособных оптимизированных системных решений.

В то же время на современном этапе кардинально меняются подходы к проблеме технического обслуживания и ремонта подвижного состава железнодорожного транспорта, в том числе локомотивов.

До последнего времени в зарубежной практике ответственность изготовителей подвижного состава за свою продукцию прекращалась по истечении двух- или трехлетнего гарантийного срока. Подвижной состав разрабатывался и изготовлялся согласно техническим требованиям железной дороги-заказчика, при этом производители не проявляли особой заинтересованности в поддержании его технического состояния после выполнения условий на поставку. Техническое обслуживание и ремонт осуществлялись железными дорогами, эксплуатирующими подвижной состав.

В настоящее время крупнейшие компании-изготовители подвижного состава все больше внимания уделяют заботе о своей продукции в течение всего срока службы – жизненного цикла технического средства. Следствием является существенное улучшение технических параметров, повышение надежности и эксплуатационной готовности подвижного состава.

Многие фирмы-изготовители подвижного состава содержат в своем составе группы поддержки заказчиков, обеспечивающие послепродажное сопровождение своей продукции в течение всего срока службы, выполнение иных работ по техническому обслуживанию и ремонту подвижного состава, его узлов и агрегатов, включая поставленные другими изготовителями, а также обслуживание по этому профилю заказчиков других, помимо транспорта, отраслей. Как правило, в составе группы (например, в компании ABB Transportation) имеются специализированные подразделения, осуществляющие следующие направления деятельности: гарантийный и послегарантийный ремонт подвижного состава, ремонт узлов и агрегатов подвижного состава, изготовление и поставка запасных частей, проектирование и оснащение ремонтных предприятий.

Однако, несмотря на все достоинства методики оценки эффективности инвестиционных мероприятий с использованием показателя LCC, повсеместного применения ее пока нет.

Отсутствие единообразия терминов и понятий, применяемых в методике оценки LCC, а также наличия статистической базы по показателям использования локомотивов в конкретных условиях эксплуатации за продолжительный период времени, каковым является жизненный цикл, делает ее применение ограниченным, сдерживает широкое использование на железнодорожном транспорте.

В отечественной практике использование показателя LCC в настоящее время еще не нашло пока такого применения, как за рубежом.

Создание ОАО «Российские железные дороги» и переход на рыночные отношения ставит задачу более широкого использования этого экономического показателя как одного из основных критериев при оценках и принятии решений инвестиционного характера. Это позволит эксплуатирующей организации более качественно определить требования к новой технике, оценить предложения промышленности, оптимизировать внутреннюю инновационную политику.

Разрабатываемые в настоящее время технические требования к перспективному тяговому подвижному составу включают в обязательном порядке требования о предоставлении информации предприятиями-разработчиками об оценке стоимости жизненного цикла локомотивов.

В стоимость жизненного цикла локомотива (*LCC*) должны быть включены общие затраты за весь срок его службы: затраты, связанные с приобретением ($Ц_{ПР}$), текущим содержанием ($И_{ТС}$) и ремонтом ($И_{Р}$), затраты на дизельное топливо (электроэнергию) и масло по осуществлению непосредственно движения, разгон и торможение, выполнение маневров на станционных и тракционных деповских путях и на вспомогательные нужды ($И_{гсм}$), прочие эксплуатационные расходы, зависящие от типа локомотива ($И_{пр}$). В составе прочих расходов могут быть учтены изменения бюджетных выплат по налогу на прибыль и налогу на имущество, обусловленные применением нового локомотива по сравнению с аналогом. Изменение величины амортизационных отчислений учитывается при расчете налогооблагаемой базы по налогу на прибыль.

В стоимости жизненного цикла должна учитываться утилизация материалов и узлов, использованных при постройке и ремонте локомотива ($У_{л}$). Утилизация подвижного состава осуществляется по окончании его срока службы.

Принципиальная расчетная формула стоимости жизненного цикла в этом случае имеет вид:

$$LCC = Ц_{ПР} + И_{ТС} + И_{Р} + И_{гсм} + И_{пр} \pm У_{л}.$$

Критерием выбора оптимального уровня совокупных затрат на приобретение, эксплуатацию и ремонт локомотивов служит минимум затрат за его срок службы.

В осуществляемых ВНИКТИ технико-экономических расчетах по обоснованию эффективности новых и модернизированных локомотивов проводится оценка стоимости их жизненного цикла, а также экономии LCC по сравнению с техникой-аналогом (или заменяемой серией локомотива). При этом стоимость жизненного цикла, рассчитанная по элементам затрат, представляет собой отток денежных средств; экономия затрат жизненного цикла одного локомотива по сравнению с другим в каждом году расчетного периода выступает в качестве текущего эффекта. При сравнении вариантов осуществления перевозок (при оценке сравнительной эффективности нового локомотива и аналога) разность в стоимости жизненного цикла, рассчитанная с учетом фактора времени, представляет собой не что иное, как чистый дисконтированный доход (интегральный эффект) использования нового локомотива.

Однако показатель LCC не всегда удобно использовать при оценке сравнительной эффективности вариантов осуществления процесса перевозок, поскольку в расчетах сравнительной эффективности можно ограничиться только изменяющимися по вариантам статьями затрат. В этом случае абсолютная величина затрат жизненного цикла будет неполной, поэтому применяется показатель экономии (превышения) затрат жизненного цикла одного варианта по сравнению с другим. Кроме того, при сравнительной оценке эффективности использования различных типов локомотивов для условий конкретного полигона могут возникнуть проблемы несопоставимости расчетов, обусловленные, к примеру, различным сроком службы подвижного состава. В этом случае необходимо привести все варианты к сопоставимому виду – одинаковому расчетному периоду с учетом для некоторых вариантов наличия остаточной (несамортизированной) стоимости, или использовать удельные показатели, такие как величина затрат жизненного цикла, приходящихся на единицу перевозочной работы.

Стоимость жизненного цикла может рассчитываться как с учетом, так и без учета фактора времени (дисконтирования).

Цель дисконтирования – это приведение разновременных затрат и результатов инвестиционного мероприятия к ценности расчетного года, временное упорядочение денежных потоков различных периодов.

Согласно применяемым в настоящее время методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов [8], учет фактора времени обязателен, так как отражает временные предпочтения инвестора: более ран-

ние поступления (притоки) средств от реализации инвестиционного проекта предпочтительнее, как и более поздние затраты (оттоки).

Однако вопрос учета фактора времени (или дисконтирования) затрат при определении стоимости жизненного цикла до сих пор является спорным.

Как правило, по мере старения техники сумма переменных затрат возрастает и соответственно увеличивается их доля в стоимости жизненного цикла. Однако поскольку на начальных этапах разработки нового тягового подвижного состава отсутствует достоверная информация о величине и темпах изменения годовых эксплуатационных расходов в течение всего срока его службы, в расчетах обычно используют постоянные по годам расчетного периода значения затрат.

С точки зрения определения величины эксплуатационных расходов в натуральном выражении за срок службы локомотива трудно предположить, что при учете фактора времени объем потребляемого топлива (электроэнергии), других материальных и трудовых затрат будет снижаться с течением времени при одинаковых условиях эксплуатации.

По мнению авторов [7], являющихся разработчиками методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов [8], дисконтировать необходимо затраты и результаты проекта, определяемые и в натуральном выражении, поскольку сегодняшние затраты (результаты) имеют для инвестора большую значимость, чем произведенные (полученные) в отдаленной перспективе. Безусловно, при этом большое значение необходимо придавать выбору нормы дисконта – она должна соответствовать умеренно пессимистическому значению или реальной доходности, очищенной от инфляции.

Кроме того, существует проблема учета влияния риска и неопределенности при оценке эффективности затратного проекта с позиции стоимости жизненного цикла. Поскольку при определении стоимости жизненного цикла речь идет, как правило, о затратной стороне инвестиционного проекта при постоянной (одинаковой для всех вариантов) доходной составляющей, возрастание риска ведет к дополнительным расходам за счет вероятного возникновения нештатных ситуаций, связанных с отказами технических средств, вследствие чего происходит увеличение затрат жизненного цикла. В этом случае обычно проводят корректировку денежных потоков (оттоков) на величину возможных дополнительных расходов, используют вероятностные расчеты, а также номинальную ставку дисконта, включающую поправку на риск. Поскольку не всегда возможно достоверно прогнозировать будущее влияние неопределенности и риска на величину денежных потоков, используют метод корректировки нормы дисконта. Применение этого метода в случае оценки затратных проектов имеет особенность в отличие от традиционных инвестиционных проектов: ставка дисконтирования не увеличивается, а снижается на величину вероятного риска.

С точки зрения структуры затрат жизненного цикла также часто необходимо оценить удельный вес единовременных расходов и переменных затрат за весь срок службы техники.

В этом случае, как правило, дисконтирование не предполагается. Учет фактора времени отражает дополнительную доходность, ожидаемую инвестором при вложении капитала в долгосрочный проект. Однако дисконтирование затрат не всегда оправдано, тем более что в натуральном выражении их объем не будет снижаться с увеличением срока эксплуатации техники, а напротив, повысится. Даже если не учитывать инфляцию, расходы на топливо, энергию, материалы, трудозатраты будут повышаться под влиянием факторов износа, старения узлов и агрегатов и т. п.

По нашему мнению, при определении стоимости жизненного цикла фактор времени при расчете суммы текущих расходов за срок службы техники можно не учитывать, что более адекватно будет отражать структуру затрат жизненного цикла, определять пути снижения составляющих стоимости жизненного цикла, осуществлять выбор наилучшего варианта техники по минимуму LCC.

Расчеты показывают, что, например, величина стоимости жизненного цикла (LCC) тепловоза 2ТЭ10М после проведения модернизации, рассчитанная с учетом фактора времени, почти в 2 раза меньше LCC без применения дисконтирования (приведения по фактору времени). При этом меняется структура затрат жизненного цикла; при его продолжительности в 20 лет и неизменной по годам величине эксплуатационных расходов удельный вес единовременных затрат на проведение модернизации тепловоза 2ТЭ10 составляет соответственно 7,4 и 14,3 % без учета и с учетом фактора времени.

В структуре затрат жизненного цикла тепловоза нового поколения 2ТЭ25 с асинхронным тяговым приводом, рассчитанной с учетом фак-

тора времени и без него, цена приобретения составляет соответственно 33,8 и 12 % за срок службы 40 лет.

Как показывают расчеты, затраты на ремонт и обслуживание в структуре стоимости жизненного цикла составляют всего 7…13 %, основной же составляющей являются затраты на топливно-энергетические ресурсы (40…65 %). Поэтому основным направлением уменьшения затрат жизненного цикла локомотивов является, в первую очередь, обеспечение их топливной экономичности.

Таким образом, существует ряд проблем при использовании показателя стоимости жизненного цикла (LCC) в качестве критерия при обосновании эффективности инвестиционного мероприятия, в частности, при выборе наиболее выгодного варианта освоения перевозок тем или иным типом локомотива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Международный стандарт. МЭК 300-3-3:1996. Управление общей надежностью. Часть 3. Руководство по применению. Раздел 3. Оценка стоимости жизненного цикла.
2. Британский стандарт. BS EN 50126: 1999. Железнодорожные прикладные системы. Определение и подтверждение надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и безотказности (RAMS) на железных дорогах.
3. Рекомендации по расчету стоимости срока службы. Том I. Термины и определения для подвижного состава. UNIFE LCC GROUP, 1997.
4. Затраты в течение срока службы железнодорожной техники. H.Keller. Eisenbautechnische Rundschau, 1995, № 11, С. 723-724 // Железные дороги мира, 1996, № 7.
5. Норвежские государственные железные дороги (NSB). Контракт 9291 00. Затраты жизненного цикла (LCC) – текущий и окончательный статус. – 2003.
6. Политика закупок пассажирского подвижного состава в США // Железные дороги мира, – 1999. – № 10.
7. Виленский П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика / П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц, С. А. Смоляк. – М.: Дело, 2002.
8. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Официальное издание. – М.: Экономика, 2000.

Поступила в редколлегию 09.06.2006.

УДК 656.225

И. Е. ЛЕВИЦКИЙ (Одесская ж. д.)

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРОГРАММЫ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Пропонується новий підхід у розгляданні та реалізації інвестиційних проектів на залізничному транспорті. Також пропонуються варіанти підвищення ефективності інвестиційних проектів.

Предлагается новый подход при рассмотрении и реализации инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте. Также предлагаются варианты повышения эффективности инвестиционных проектов.

A new approach to implementation of investment projects on the railway transport is proposed in this paper, as well as the options of increasing efficiency of the projects.

Железнодорожный транспорт является одной из ведущих отраслей народного хозяйства и характеризуется исключительно высокой фондо- и капиталоемкостью продукции.

Ежегодно железные дороги вовлекают в инвестиционный «оборот» значительное количество инвестиционных проектов, требующих соответствующих объемов финансирования. В связи с этим основной задачей железных дорог становится обеспечение привлечения ресурсов и повышение контроля за их целевым использованием.

В условиях реформирования отрасли назрела необходимость новой организации инвестиционного процесса. Сегодня в соответствии со стратегией развития железных дорог на среднесрочный период требуется формирование инвестиционной программы на трехлетний период с учетом, в частности, концепции выделения отдельных видов бизнеса в конкретную среду [1].

Новым подходом при формировании инвестиционной программы является постепенный переход от принципа формирования программы по железным дорогам и хозяйствам к принципам управления инвестиционными проектами, которые широко применяются на Западе.

Формирование системы управления инвестиционными проектами позволит повысить эффективность инвестиций, а также четко разграничить ответственность основных участников инвестиционного процесса (инвестор, управляющий проектом, заказчик, подрядчик, балансодержатель) и организовать взаимоувязанную работу различных служб, участвующих в реализации проекта.

Основные преимущества данного принципа организации инвестиционной деятельности:

– формирование оптимальной долгосрочной инвестиционной программы железных дорог;

– повышение прозрачности и управляемости технологической и финансово-экономической эффективностью инвестиционной и эксплуатационной деятельностью железных дорог.

С 2007 года в Украине целесообразно внедрять принцип бюджетирования инвестиционной деятельности железных дорог (как это сделано в России и Казахстане).

Переход к бюджетному формированию инвестиционного процесса позволит повысить контроль за инвестиционной деятельностью и реализовать проектный принцип формирования инвестиционной программы.

Система инвестиционных бюджетов строится на основе формирования сводного инвестиционного бюджета и бюджетов инвестиционных проектов с объектным наполнением, составленых на базе генеральной схемы развития железнодорожного транспорта Украины на планируемый период. Сводный инвестиционный бюджет и бюджеты инвестиционных проектов разделены на блок затрат, отражающий состояние объектов проектов и планируемую сумму затрат по ним, и блок финансирования, отражающий движение денежных средств по объектам инвестиционного проекта.

Реализация системы проектного финансирования должна найти соответствующее отражение в системе учета и отчетности Укрзализныци. В первую очередь требуется построение управленческого учета и контроля, т. е. такой гибкой системы внутреннего учета, которая позволяла бы оперативно получать достоверную информацию о состоянии объектов инвестиционного проекта и оценивать его соответствие параметрам бюджета. Кроме того, необходимо построить систему учета, которая позволила бы оценивать влияние инвестиционного проекта на операционную деятельность Укрзализныци, т. е. эффективность инвестиционного проекта.

Сегодня жизнь заставляет делать первые шаги в этом направлении; это, например, реализация двухпутного участка в направлении Черноморская-Береговая (порт Южный), автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии – АСКУЭ, организация пригородного скоростного движения на участке Киев-Борисполь и т. д.

Внедрение полноценной системы проектно-ориентированного бюджетирования позволит четко распределить в определенном временном периоде затраты по центрам ответственности (по проектам) и обеспечить их учет и контроль.

В 2006–2007 гг. в целях формирования системы проектного управления, внедрения принципа бюджетирования инвестиционной деятельности нужно создать Главное управление инвестиционной деятельности Укрзализныци и издать следующие распоряжения:

– о регламенте взаимодействия участников инвестиционного процесса при реализации инвестиционной программы;

– об утверждении управляющих проектами.

Данными документами определяется состав участников инвестиционного процесса Укрзализныци и порядок взаимодействия между ними в ходе реализации инвестиционной программы, утверждается перечень проектов инвестиционной программы на 2007–2008 гг., назначаются управляющие проектом – ответственные за реализацию соответствующих инвестиционных проектов.

Перечень инвестиционных проектов и управляющих по ним утверждается руководством Укрзализныци.

Необходимо разработать формы бюджетов и отчетов инвестиционных проектов, ордера-заказа и заказа-наряда, а также календарный график их предоставления.

Сложность внедрения принципа проектного финансирования и управления инвестиционными проектами в Укрзализныце обусловлена целым рядом сложившихся обстоятельств и прежде всего требованием соблюдения целостности инвестиционной программы:

– обеспечение устойчивой и бесперебойной работы железнодорожного транспорта в рамках регулируемых государственных тарифов;

– достижение макроэкономических эффектов, выполнение государственных поручений и обязательств.

Данные обязательства значительно усложняют процесс проектного финансирования и управления инвестиционной деятельностью, поскольку в соответствии с перечисленными принципами значительная часть инвестиционных ресурсов должна быть направлена на проекты, в которых сложно или невозможно выделить какой-либо экономический эффект, что является серьезным препятствием его оценки.

При разработке системы бюджетирования Укрзализныци сталкиваемся с большим объемом разнородной информации, значительным количеством разного рода подходов в том или другом регионе, где находятся железные дороги, частой сменой показателей бюджетных форм и принятыми сроками предоставления бюджетов Укрзализныци, не всегда удается увязать отчетные формы инвестиционных бюджетов с прочими бюджетами Укрзализныци.

Для решения этих проблем надо разработать программу автоматизированных систем управления инвестиционной деятельностью. Программа должна быть введена в опытную эксплуатацию в части автоматизированного процесса реализации инвестиционной программы на предприятиях Укрзализныци, а также структурных подразделениях аппарата управления. Внедрение такой системы позволило бы получать данные в установленные сроки в едином формате, а также оперативно формировать различные формы отчетов, что упростило бы систему интеграции инвестиционных бюджетов с прочими бюджетами Укрзализныци.

Кроме работы по автоматизации процесса формирования инвестиционной программы, нужно разработать проект регламента взаимодействия участников инвестиционного процесса по формированию инвестиционной программы и подготовить формы соответствующих документов.

На стадии согласования нужно разработать положение о кодировании объектов инвестиционной деятельности. Присвоение объектам уникального кода позволит формировать историю объекта и соответственно внедрить систему учета и отчетности по объектам инвестиционной программы, а также интегрироваться в другие автоматизированные системы Укрзализныци.

Таким образом, внедрение проектного принципа построения инвестиционной деятельности повысит эффективность принимаемых управленческих решений на всех основных стадиях реализации инвестиционных программ Укрзализныци, будет способствовать также привлечению средств для ее развития.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проект концепції державної програми реформування залізничного транспорту України. – 2006.

Поступила в редколлегии 23.10.2006.

УДК 366.6

О. В. ЛИСА (ДІІТ)

ОБГРУНТУВАННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ ОБОРОТНИХ КОШТІВ У ДЕБІТОРСЬКІЙ І КРЕДИТОРСЬКІЙ ЗАБОРГОВАНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

Розглянуто особливості керування оборотними коштами у дебіторській і кредиторській заборгованості підприємства, обґрунтування підходів до визначення оптимального їх співвідношення.

Рассмотрены особенности управления оборотными средствами в дебиторской и кредиторской задолженности предприятия, обоснование подходов к определению оптимального их соотношения.

The article is devoted to peculiarities of managing the turnover assets within accounts receivable and payable of an enterprise, and substantiation of approaches to defining their optimum correlation.

Ринкові принципи господарювання змінили умови функціонування підприємств. Умовою їх стабільного розвитку є фінансова стійкість, за якою, раціонально керуючи фінансовими ресурсами, апарат управління підприємства здатний забезпечити безперебійний і стабільний процес виробництва продукції. Значна частина цих фінансових ресурсів спрямовується на формування оборотних коштів. Від того, наскільки обґрунтований їх розмір і визначені доцільні, з урахуванням особливостей функціонування підприємства, напрямки їх використання, залежить ефективність діяльності підприємства.

Проблемі керування оборотними коштами присвячені наукові праці відомих учених: І. О. Бланк, І. Т. Балабанов, О. М. Бандурка, М. Я. Коробов, В. В. Ковальов, О. П. Крайнік, А. М. Поддєрьогін, Р. О. Радіонов, О. С. Стоянова, А. Д. Шеремет, Дж. К. Ван Хорн, А. М. Хорін, Г. В. Хомкалов та ін. У цих працях відображений вітчизняний і закордонний досвід обґрунтування сутності процесу формування оборотних коштів підприємства. Однак оборотні кошти в цих роботах, по-перше, розглядаються не як інтенсивна, найбільш активна, значима частина механізму керування підприємством, а як екстенсивний економічний складник фінансових ресурсів підприємства; по-друге, при обґрунтуванні розміру оборотних коштів не враховуються специфічні особливості функціонування українських підприємств на сучасному етапі. Тому актуальною є розробка нового організаційно-методичного забезпечення формування оборотних коштів і джерел їх фінансування, адекватного сформованим в ринковій економіці організаційно-економічним, технологічним та іншим особливостям функціонування підприємств.

Сучасний етап економічного розвитку країни характеризується певним уповільненням платіжного обороту, спричиненим зростанням дебіторської заборгованості на підприємствах, що призводить до відволікання коштів із господарського обороту. При цьому підприємство несе непрямі втрати, які виражаються в такому: збільшення терміну погашення дебіторської заборгованості спричиняє зниження доходу від коштів, вкладених у дебіторів (зі зниженням оборотності знижується й віддача); грошові кошти знецінюються в зв'язку з інфляцією (незважаючи на те, що рівень інфляції невисокий); дебіторська заборгованість становить собою один з елементів оборотних коштів, що вимагає відповідного джерела фінансування; оскільки всі джерела коштів мають власну ціну, підтримка того або іншого рівня дебіторської заборгованості сполучено з відповідними витратами.

Унаслідок цього для підприємств досить актуальним є питання про своєчасність погашення дебіторської заборгованості, тому що вона призводить до додаткової потреби підприємства в оборотних коштах, «з'їдаючи» наявні власні джерела його фінансування: прибуток, що залишається в розпорядженні підприємства, статутний капітал, стійкі пасиви тощо. Практика свідчить, що найбільший обсяг дебіторської заборгованості підприємств припадає на заборгованість покупців за відвантажену продукцію. У загальній сумі дебіторської заборгованості на розрахунки з покупцями припадає 80…90 % [1, с. 112].

Тому питання про ефективне керування оборотними коштами – це питання не тільки про те, скільки потрібно оборотних коштів у тому чи іншому періоді, але й про те, у що обійдеться задоволення цієї потреби підприємству. На наш погляд, необхідно знайти не тільки опти-

мальну величину дебіторської заборгованості, але й оптимальне співвідношення між заборгованостями (дебіторською і кредиторською). Методологічно правомірно спробувати відшукати постійні пропорції між дебіторською і кредиторською заборгованістю.

Для оптимізації загального розміру дебіторської заборгованості підприємства, на наш погляд, необхідно вести аналітичний облік згідно з наступними вимогами: не тільки за термінами, як це було раніше, але й за розмірами, географією дебіторів, юридичними і фізичними особами, термінами погашення під час укладання угод; передбачити у своїй обліковій політиці щомісячну (а не раз у квартал) інвентаризацію дебіторської заборгованості; важливою складовою частиною оперативної роботи будь-якої бухгалтерії повинне стати ведення картотеки нагадувань; розширити систему авансових платежів.

Для зменшення негативного впливу дебіторської заборгованості на діяльність підприємства необхідно використовувати порівняно новий для українських підприємств фінансовий інструмент – факторинг. Факторинг – це фінансування під уступку грошової вимоги (під дебіторську заборгованість). У межах послуги фінансування факторинг гарантує забезпечення постачальника оборотними коштами (80…90 % вартості відвантажених товарів) відразу після поставки.

Фінансування у разі факторингу (рис. 1) припускає, що після здійснення поставки покупцю (боржнику) фінансовий агент виплачує постачальнику (клієнту) значну частину суми поставки (первісний платіж, достроковий платіж). Залишок (за винятком комісійних) виплачується постачальнику після надходження грошей від дебітора (покупця).

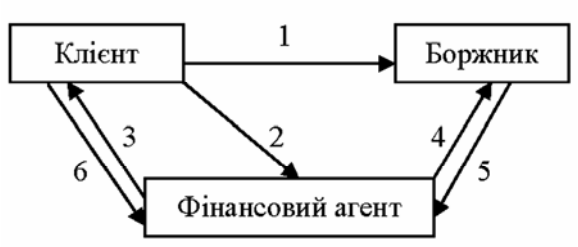


Рис. 1. Схема факторингу:
1 – поставка продукції покупцеві; *2* – уступка дебіторської заборгованості фінансовому агентові; *3* – фінансування клієнта (перерахування первісного внеску); *4* – стягнення заборгованості боржника; *5* – погашення заборгованості; *6* – перерахування клієнтові суми, що залишилася.

У межах послуги фінансування факторинг гарантує забезпечення постачальника оборотними коштами відразу після здійснення поставки. Фінансовий агент виплачує постачальнику обумовлену величину дострокового платежу або відразу після постачання й отримання документів, що підтверджують факт відвантаження товару, або через певну кількість днів після купівлі дебіторської заборгованості. Величина дострокового платежу повинна складати 80…90 % від суми дебіторської заборгованості. Постачальник, одержуючи без затримок значну частину суми постачання, має можливість зменшити дефіцит оборотних коштів.

З 1997 р. існують два методи визначення фінансового результату з метою оподаткування: по моменту оплати («касовий» метод) і по моменту відвантаження (метод «нарахування») продукції (робіт, послуг). За допомогою цих методів здійснюється й оцінка дебіторської заборгованості підприємства. При цьому «касовий» метод забезпечує оцінку дебіторської заборгованості за фактичною собівартістю, а метод «нарахування» – за цінами реалізації.

Оскільки при методі «нарахування» фактично гроші не надійшли, а необхідність сплати податків виникла, то така ситуація збільшує негативний вплив дебіторської заборгованості на рух грошових потоків підприємства: неможливість сплатити борги, які до того ж починають зростати внаслідок штрафних санкцій за несвоєчасну сплату.

Дебіторська заборгованість як елемент оборотних коштів, відвернений з операційного процесу, призводить не тільки до іммобілізації коштів, але й до появи збитків і «упущеної вигоди». Під збитками в даному випадку розуміються неотримані доходи, які певна особа одержала б при звичайних умовах господарювання, якби її право не було порушено (упущена вигода). «Упущена вигода», отримана при інвестуванні дебіторської заборгованості у виробничу діяльність визначається за формулами:

Розрахунок економічного ефекту, недоотриманого підприємством від інвестування дебіторської заборгованості по розрахунках з покупцями у виробничу діяльність

$$E = П - ПВ - ФУ ,$$

де $П$ – сума додаткового прибутку, недоотриманого внаслідок збільшення обсягу виробництва; $ПВ$ – поточні витрати підприємства, пов'язані з організацією кредитування покупців і інкасацією боргу; $ФУ$ – сума прямих фінансових утрат від неповернення боргу покупцями.

Розрахунок суми упущеної вигоди, що припадає на одиницю дебіторської заборгованості:

$$УВ = E / ДЗ ,$$

де ДЗ – середня сума дебіторської заборгованості.

Для забезпечення раціонального використання наявних фінансових ресурсів підприємства фінансовий менеджер повинен прагнути, щоб дебіторська заборгованість не перевищувала рівня звичаїв ділового обороту.

На наш погляд, співвідношення між дебіторською і кредиторською заборгованістю повинне бути фіксованим, постійним на тривалий час. Вважаємо, що методологічно правомірно спробувати відшукати постійні пропорції між дебіторською і кредиторською заборгованістю. Причина однобічної заборгованості звичайно носить внутрішній характер (збитки, надлишкове завезення МЦ тощо). Виникнення ж взаємних боргів в основному викликане зовнішніми причинами, зокрема, невиконанням зобов'язань перед постачальниками внаслідок неплатежів покупців [3, С. 222–223].

Фінансове планування дозволяє прогнозувати всі потоки надходжень і виплат, а також запаси платіжних засобів підприємства в одному або декількох періодах, визначаючи тим самим їх надлишок або дефіцит. Тільки після того, як на підставі інформації про вимоги і зобов'язання з достатнім ступенем надійності будуть спрогнозовані реальні платіжні процеси, активні й пасивні величини кредитів знайдуть відображення в плануванні платежів. Таке планування дозволяє підприємству ефективно керувати оборотними коштами, що і є для нього головною задачею.

Усі необхідні платежі підприємства можна надати у вигляді балансу:

$$З_{\text{п.п}} + В = П_{\text{а}} + П_{\text{з}} + З_{\text{к.п}},$$

де $З_{\text{п.п}}$ – залишок заборгованості на початок періоду; $В$ – заборгованість, що виникає протягом звітного періоду; $П_{\text{а}}$ – сума платежів, сплачених авансом (наприклад, з податку на прибуток або в результаті здійснення передоплати постачань); $П_{\text{з}}$ – погашення заборгованості протягом звітного періоду; $З_{\text{к.п}}$ – залишок заборгованості на кінець періоду.

Такі баланси необхідно робити за кожним видом заборгованості, що містить у собі заборгованість перед бюджетом, заборгованість перед позабюджетними фондами, заборгованість перед постачальниками й підрядчиками, заборгованість перед працівниками підприємства, заборгованість перед власниками, заборгованість по кредитах та позиках.

При погашенні зобов'язань повинні враховуватися не тільки грошові кошти, що є основним засобом платежу, але й інші засоби. Наприклад, у практиці українських підприємств нерідкі випадки, коли зобов'язання погашаються за допомогою взаємозаліку платежів або бартерних операцій – при розрахунку з покупцями й постачальниками; при розрахунках із працівниками підприємства або власниками як платіжний засіб виступає вироблена підприємством продукція.

Для оперативного аналізу джерел фінансування оборотних коштів потрібен щоденний контроль за надходженням коштів від реалізації, за погашенням дебіторської заборгованості, за іншими надходженнями коштів, а також контроль за виконанням платіжних зобов'язань перед постачальниками й іншими кредиторами. Для цього складається платіжний календар, у якому, з одного боку, підраховуються готівкові та інші платіжні засоби, а з іншого боку, платіжні зобов'язання на цей же період. Оперативний платіжний календар складають на основі даних про відвантаження й реалізацію продукції, про закупівлю засобів виробництва, документів про оплату праці, про видачу авансів працівникам, виписок з рахунків банку тощо. Такий календар можна надати у вигляді:

$$З_{\text{п.п}} + Н = В + З_{\text{к.п}},$$

де $З_{\text{п.п}}$ – залишок платіжних засобів на початок періоду (каса, розрахунковий рахунок, валютний рахунок); $Н$ – надходження платіжних засобів; $В$ – погашення зобов'язань; $З_{\text{к.п}}$ – залишок платіжних засобів на кінець періоду.

Щоб реально оцінити сальдо (залишки) платіжних засобів, необхідно враховувати зміни дебіторської і кредиторської заборгованості як майбутнє надходження і витрачання коштів:

Витрати = Виплати + Приріст Кт заборг. +

+Зменшення Дт заборг;

Прихід = Надходження + Приріст Дт заборг. +

Зменшення Кт заборг.

Прибутковість підприємства пов'язана з відмінностями у витратах при різних методах фінансування оборотних коштів. Витрати на короткострокове фінансування менше витрат на середньострокове й довгострокове фінансування, і, отже, чим більше частка короткострокових зобов'язань у загальній сумі заборгованості, тим вище прибутковість підприємства. Вибір способу фінансування оборотних коштів підприємства містить у собі вибір між ризиком і прибутковістю. Частина оборотних коштів фінансується за рахунок сум нарахувань і рахунків до оплати, включених у короткострокові зобов'язання.

Кредиторські рахунки і рахунки нарахувань класифікуються як спонтанні, вони мають тенденцію до коливань, що збігаються з циклом основного виробничого процесу. Комерційний кредит у промислово розвинутих країнах є формою короткострокового фінансування, тому що більшість покупців може не оплачувати вартість товару при його доставці, їм надається невелика відстрочка, обмежена крайнім терміном платежу. Фінансовими інструментами комерційного кредиту є рахунки нарахувань, векселі й акцептовані накладні. Коли товари продаються в кредит, обидві сторони повинні мати чітке уявлення про суму і терміни платежу, наприклад, термін оплати складає 10 або 30 днів, тоді в рахунку-фактурі робиться позначка «н/10» або «н/30», що читається, як «нетто-10» або «нетто-30». Це означає, що зазначена сума в рахунку-фактурі повинна бути сплачена протягом 10 або 30 днів після виставлення рахунка-фактури. Якщо в рахунку-фактурі вказано «2/10» або «3/30», то це означає знижку в 2 або 3 % у випадку дострокової, меншої 10 або 30 днів, оплати рахунка. Підприємству необхідно зіставити переваги використання комерційного кредиту і витрати відмови від знижки, альтернативні витрати, пов'язані з можливим погіршенням кредитного рейтингу, якщо воно відстрочує платіж, і можливе збільшення продажної ціни, що призначає продавець. За наявності кредиторської заборгованості немає необхідності формально організовувати фінансування – воно вже має місце.

Рахунки нарахувань становлять собою джерело спонтанного фінансування навіть у більшій мірі, ніж рахунки кредиторів. Найбільш розповсюджені рахунки нарахувань – це рахунки заробітної плати і податків. Витрати по цих рахунках нараховуються, але відразу не оплачуються. Звичайно визначається дата, коли повинна бути зроблена оплата. Суми по рахунках нарахувань, як і рахунках кредиторів, мають тенденцію до збільшення з розширенням масштабів діяльності. У міру збільшення обсягу продаж витрати праці звичайно теж ростуть, а разом з ними збільшується сума нарахованих податків.

Надання послуг оплачується, але працівники не одержують заробітну плату і не очікують цього доти, поки не закінчиться період, за який здійснюється оплата. Тривалість цього періоду визначається керівництвом організації, хоча на неї можуть впливати профспілки, а також конкуренція наймачів на ринку праці. Аналогічно податки не виплачуються до настання встановленого терміну. Таким чином, нарахування – це джерело «безкоштовного» фінансування. На жаль, для підприємств нарахування не відносяться до контрольованого фінансування. Особливе місце серед зобов'язань підприємства займає заборгованість перед державою по податках та інших обв'язкових платежах до бюджету і позабюджетних фондів. Ця ситуація пояснюється недоліками чинної податкової системи: методологічною складністю, множинністю податків, податкових ставок і пільг, нечіткістю формулювання деяких законодавчих актів і нормативів.

У той же час високий рівень оподаткування в сукупності з твердими штрафними санкціями за порушення податкового законодавства призводить до швидкого росту кредиторської заборгованості перед бюджетом і позабюджетними фондами, провокуючи зниження величини власних джерел фінансування оборотних коштів. Тому для чітких розрахунків по податках та інших обов'язкових платежах необхідно визначити види податків, що сплачуються підприємством, їх ставки, розміри й терміни сплати.

Підприємство може відстрочити виплату заробітної плати за рахунок працівників, однак, останні можуть відреагувати на це невиходом на роботу або зниженням продуктивності чи переходом до іншого роботодавця. Керівництво підприємства має бути досить обережним у питанні відстрочки виплати заробітної плати. Така міра є крайньою, проте, маючи певні труднощі з вільною готівкою, підприємства можуть вдаватися до відстрочки виплати заробітної плати. Нарахована заробітна плата частково контролюється підприємством, оскільки воно може змінювати частоту виплати зарплати і таким чином впливати на обсяг фінансування оборотних коштів. Якщо часовий інтервал між останнім днем періоду, за який виплачується заробітна плата, і днем виплати залишається постійним, то чим менш часті дні виплати, тим більше обсяг фінансування. Лінійна залежність між тривалістю платіжного періоду й обсягом фінансування за рахунок нарахованої заробітної плати зображена на рис. 2.



Рис. 2. Залежність між середньою нарахованою заробітною платою і періодичністю її виплат

Пропонована в багатьох випадках методика визначення власних оборотних коштів підприємства не робить розмежування між стійкими пасивами й іншими короткостроковими пасивами. Вони виділяються не тільки регулярним характером, але й відносяться до планованих елементів оборотних коштів. Стійкі пасиви являють собою джерело покриття потреби в оборотних коштах. На підставі бюджетування і платіжного фінансового календаря підприємства мають можливість точно визначити постійну величину стійких пасивів. Правильне встановлення їх розміру дозволить на цю суму зменшити потребу в кредитах і позиках. При цьому фінансові служби повинні раціонально використовувати весь обсяг стійких пасивів.

Величина стійких пасивів визначається не тільки розмірами відповідних виплат, але й термінами їх погашення. Збільшення інтервалу між виплатами дозволяє збільшити оборотність оборотних коштів [2, С. 33–34].

Помилки в плануванні стійких пасивів, особливо завищена їх оцінка, можуть серйозно відбитися на майбутньому фінансовому стані підприємства.

Стійка заборгованість по заробітній платі, заборгованість перед бюджетом і позабюджетними фондами утворюється в результаті розриву в часі (розбіжності) між зробленими розрахунками і термінами сплати платежів. Платежі до бюджету вносяться в порядку й у терміни, встановлені чинним законодавством. Тому на кінець місяця завжди є мінімальна заборгованість перед бюджетом, що переходить на наступний місяць і становить стійкі пасиви (нарахування раніше терміну виплати). Мінімальний рівень цієї заборгованості можна встановити на рівні нарахованих виплат у день. Мінімальна заборгованість по відрахуваннях у позабюджетні фонди також постійно знаходиться в обороті підприємства. Її можна визначити як добуток мінімальної перехідної заборгованості по оплаті праці працівникам на відсоток відрахувань, затверджений стосовно відповідного фонду. Мінімальна заборгованість кредиторам по оплаті продукції по частковій готовності обчислюється в галузях промисловості з тривалим циклом виробництва (суднобудування, важке машинобудування тощо). Проміжні платежі замовників по етапах готовності продукції, що є джерелом покриття витрат по незавершеному виробництву, обліковуються як стійкі пасиви. Сума по цьому виду стійких пасивів визначається відповідно до програми виробництва, умов здачі продукції та порядку розрахунків.

Висновки

Таким чином, забезпечуючи раціональне використання наявних фінансових ресурсів підприємства, дебіторська і кредиторська заборгованість знаходяться на особливому режимі управління, що вимагає постійного моніторингу за надходженням і витрачанням коштів. Особлива увага при цьому приділяється тому, щоб величина дебіторської заборгованості не перевищувала рівень звичаїв ділового обороту, а кредиторська заборгованість не перевищувала рівня стійких пасивів, що об’єктивно мають місце на підприємстві.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бланк И. А. Управление активами и капиталом предприятия. – К.: Ника-Центр, Эльга, 2003. – 448 с.
2. Справочник финансиста предприятия. – М.: ИНФРА-М, 1996. – 368 с.
3. Фінансовий менеджмент / За ред. проф. Г. Г. Кірейцева. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 531 с.

Надійшла до редколегії 17.07.2006.

УДК: 519.86:334.76

Л. Н. САВЧУК, А. Б. СКОРОХОД (НМетАУ)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ МЕРЫ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТНОЙ ПОЗИЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Запропоновано підхід до оцінки конкурентних позицій підприємства з використанням нечіткого оператора згортання у контексті підприємства, що займається енергозберігаючими технологіями, альтернативними джерелами енергії. Запропоновано модель оцінки конкурентних позицій підприємства.

Предложен подход к оценке конкурентных позиций предприятия с использованием нечеткого оператора свертки в контексте предприятия, занимающегося энергосберегающими технологиями, альтернативными источниками энергии. Предложена модель оценки конкурентных позиций предприятия.

In this paper, is proposed an approach of enterprise competitive position estimation using fuzzy aggregation operator, on an example of enterprise that produce energy-saving technology, alternative sources of energy. A model of evaluating competitive positions of an enterprise is proposed.

Предприятия, занимающиеся использованием альтернативных источников энергии, – солнечной, ветровой и др., поставлены перед трудной задачей определения направлений своей деятельности. Для оценки настоящих и будущих позиций предприятий в конкуренции – конкурентных позиций предприятий используется совокупность критериев (аспектов), среди которых нужно выделять наиболее значимые для данной отрасли и данного предприятия. Отечественные и зарубежные авторы предлагают ограничить перечень критериев шестью критериями: конкурентоспособность изделия, финансовое состояние предприятия, эффективность маркетинговой деятельности, рентабельность, продаж, имидж (марочный капитал) предприятия и эффективность менеджмента.

Анализ конкурентной среды в данной отрасли, показывает, что молодые украинские предприятия сталкиваются с конкуренцией зарубежных производителей. Что выгоднее предприятию: использование собственных технологий и разработок или приобретение лицензий, создание совместных предприятий или корпораций, использование зарубежных инвестиций или собственных средств? Требуется также исследовать возможности применения продукции предприятия с учетом технических, экономических и социальных аспектов, реакции рыночных агентов и значимость правительственного стимулирования поддерживаемых потребителем изделий. Примеры организации таких исследований применения «зеленой энергии» приведены в [1].

Возникающие при этом задачи относятся к классу задач многокритериального принятия решений (МКПР). Одним из этапов задачи МКПР является свертка (агрегация) частичных оценок в глобальную оценку, позволяющую построить рейтинг альтернатив. Свернутая информация должна быть более богатой качественно, чем оригинальная (исходная).

Обычно для получения глобальной оценки предлагается использовать сумму показателей, среднее значение показателей, средневзвешенное значение показателей. Серьезный недостаток средневзвешенной оценки – это требование независимости критериев, веса которых учитываются в глобальной оценке. Для предприятий выбранного нами направления перечень факторов конкурентоспособности, приведенный выше, должен быть проанализирован и уточнен с учетом их специфики. Имеется в виду определение значимости критериев и их взаимодействия.

Понятие взаимодействия критериев сводится к следующему: критерии считаются взаимодополняющими, т. е. с положительной синергией, если учет влияния каждого из них по отдельности практически ничего не дает, а совместное их действие дает значимый эффект. Если же критерии важны сами по себе, а их совместное действие ничего не добавляет, то они считаются критериями с излишеством (замещающими). Остальные критерии считаются нейтральными. Оператор свертки должен учитывать взаимодействие критериев. В данной работе исследованы существующие подходы к конструированию оператора свертки. Широкий ряд возможностей конструирования оператора свертки приведен в [2; 3]. Имеются программные средства, например, Fuzzy Integral (Multipurpose) и Beliakov's AOTool для расчета Шоке-интеграла разных модификаций, Furea Tool – для метода наименьших квадратов и нечеткой регрессии, Fuzzy Java Toolkit – для агрегации, основанной на экспертной базе знаний.

Интеграл Шоке (ИШ) по нечеткой мере есть аналог операторов среднего взвешенного и широко используется при слиянии информации, полученной из разных источников, например в задачах распознавания образов и в задачах многокритериального принятия решения. Нечеткий интеграл комбинирует субъективную информацию о значении источника информации (критерия), выраженную количественно с использованием нечеткой меры, с объективной информацией – данными (оценки по критериям), исходящими от источника информации.

Нечеткие меры позволяют моделировать различные источники информации и их возможные комбинации на основе их важности. Таким образом, они позволяют преодолеть формальное ограничение на независимость источников информации условие необходимое для использования обычных методов свертки информации. Пусть дано конечное множество X из n элементов (критериев). Нечеткая мера на X есть функция $\mu : X \to [0, 1\}$, удовлетворяющая условиям:

$$\mu(\varnothing) = 0, \quad (1)$$

$$\mu(X) = 1. \quad (2)$$

Условие монотонности:

- для всех подмножеств A и B из X, если

$$A \subset B \subset X, \quad \text{то} \quad \mu(A) \subseteq \mu(B). \quad (3)$$

В интеграле Шоке используется монотонно убывающая функции f, примененная к свертываемым данным. В частности, f может просто представлять упорядоченные в порядке убывания свертываемые данные (частичные оценки).

Пусть μ есть нечеткая мера на X, элементы которого обозначены $x_1, \ldots, x_n$. Дискретный Шоке – интеграл от функции $f: X \to R^1$ по нечеткой мере μ определяется так [2]:

$$C\mu(f) = \sum_{i=1}^{n} \left(f(x_i) - f(x_{i-1}) \right) \mu(A_i), \quad (4)$$

где i указывает на то, что индексы переставлены так, чтобы выполнялось условие:

$$\left.\begin{array}{l} 0 \le f(x_i) \le, \ldots, \le f(x_n), \\ A_i = \{x_i, \ldots, x_n\}, \; f(x_0) = 0. \end{array}\right\} \quad (5)$$

Само вычисление ИШ простое, а вот определение (идентификация) нечеткой меры представляет большие трудности. Трудность заключается в том, что необходимо дать оценку нечеткой меры для каждого подмножества критериев, а в случае невозможности это сделать – определить нечеткую меру путем оптимизации модели задачи по известному выходу интеграла Шоке или используя другую дополнительную информацию. Поэтому на практике широко применяются частные случаи нечетких мер, например, λ-мера [4].

Нечеткая λ-мера, известная также как мера Сугено, обладает свойствами (1)–(3) и следующим свойством:

$$\mu_\lambda(A + B) = \mu_\lambda(A) + \mu_\lambda(B) + \lambda \mu_\lambda(A) \mu_\lambda(B), \quad (6)$$

где A и B – нечеткие подмножества, $\mu_\lambda(A)(\mu_\lambda(B))$ есть мера множества $A(B)$ и $\lambda > -1$ есть варьируемый параметр, называемый индексом взаимодействия. Другой индекс взаимодействия – ξ определяет меру, обладающую свойством:

$$\mu_\xi(A + B) = \mu_\xi(A) + \mu_\xi(B) + \\ + \xi \min\left(\mu_\xi(A), \mu_\xi(B)\right). \quad (7)$$

Значения ξ принадлежат интервалу [0, 1] и в точности соответствуют значениям λ при изменении λ от ∞ до –1. Если $\xi = 0$, то $\lambda = \infty$, если $\xi = 0{,}5$, то $\lambda = 0$, если $\xi = 1$, то $\lambda = -1$.

Можно считать, что это взаимно-обратные функции от x-точки на числовой оси. При $\xi = 1$ значение интеграла Шоке равно максимальному значению оценки, при $\xi = 0$ – минимальному значению. Таким образом, индексы взаимодействия отражают склонность ЛПР отдать предпочтение компромиссу между средневзвешенным и максимальным значением оценки (т. е. положить $\xi > 0{,}5$, $\lambda < 0$) или отдать предпочтение компромиссу между средневзвешенным и минимальным значением оценки (т. е. положить $\xi > 0{,}5$, $\lambda < 0$). Для этого ЛПР должен решить, какая оценка представляет для него большую важность – максимальная или минимальная, т.е. знак взаимодействия и количественную важность – числовое значение ξ или λ (удобнее назначать значение ξ).

Такахаги [4] предложил три алгоритма идентификации нечеткой λ-меры. Первый алгоритм основан на итеративном подборе λ по заданным отношениям весов критериев. Второй алгоритм использует подбор расчетных значений Шепли-коэффициентов (см. ниже). Третий алгоритм использует относительные частоты оценок по отдельным критериям в качестве весов критериев и специальное преобразование значений λ из его интервала значений в интервал [0, 1].

Такахаги [4] рекомендует метод вычисления λ-меры, основанный на использовании относительных частот (весов) оценок по отдельным критериям в качестве весов критериев.

Пусть $w_1, w_2, \ldots, w_n$ – веса отдельных оценок по критериям и λ (или ξ) – индекс взаимодействия, λ-нечеткая мера (μ_λ) определяется так [4]

$$\mu_\lambda(A \cup B) = \mu_\lambda(A) + \mu_\lambda(B) + \lambda\mu_\lambda(A)\mu_\lambda(B). \quad (8)$$

Используя Φ_s преобразования, легко идентифицировать λ-нечеткую меру

$$\phi_s : [0,1] \to [0,1],\ s \in [0, +\infty]. \quad (9)$$

Веса оценок нормализуются по формуле

$$u_i = {w_i} \Big/ \sum_i w_i ; \quad (10)$$

$$\phi_s(u) = \begin{cases} \langle u \rangle & if \ \ s = 0 \\ u & if \ \ s = 1 \\ 1 - \langle 1 - u \rangle & if \ \ s = +\infty \\ (s^u - 1)/(s - 1) & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (11)$$

где

$$\langle u \rangle = \begin{cases} 1 & \text{если } \ 0 < u \le 1, \\ 0 & \text{если } \ u = 0, \end{cases}, \quad (12)$$

$s = \lambda + 1$,

$$\mu_\lambda(A) = \phi_{\lambda+1}\left(\sum_{i \in A} u_i \right), \quad (13)$$

под u понимается объединение весов u_i.

Другой индекс взаимодействия –

$$\xi : [0, \infty] \to [0,1],$$

$$\xi(s) = \begin{cases} 1 & \text{если } \ s = 0; \\ 0 & \text{если } \ s = +\infty; \\ \dfrac{1}{1 + \sqrt{s}} & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (14)$$

Схема вычисления интеграла Шоке по λ-мере представлена на рис. 1.

В Интернете есть сайт для расчета интеграла Шоке по приведенной выше схеме.

С целью упрощения применения нечеткой меры в практических приложениях, Грабиш [2; 3] предложил модель Шоке-интеграла по 2-аддитивной нечеткой мере, которая учитывает взаимодействие только между парами критериев. Это хороший компромисс между точностью и сложностью расчетов. В модели используются Шепли-значения (понятие из теории игр), выражающие важность отдельных критериев и индексы взаимодействия между двумя критериями (понятие индекса взаимодействия введено Мурофуши). Грабиш обобщил эти понятия и представил интеграл Шоке в виде [2]

$$C\mu(f_1, \ldots, f_n) = \sum_{I_{ij} > 0} (f_i \cap f_j) I_{ij} + \sum_{I_{ij} < 0} (f_i \vee f_j) |I_{ij}| + \sum_{i=1,n} f_i \left(V_i - 0.5 \sum_{j \ne i} |I_{ij}| \right). \quad (15)$$

со свойством:

$$V_i - 0{,}5 \sum_{j \ne i} |I_{ij}| \ge 0$$

для всех i.

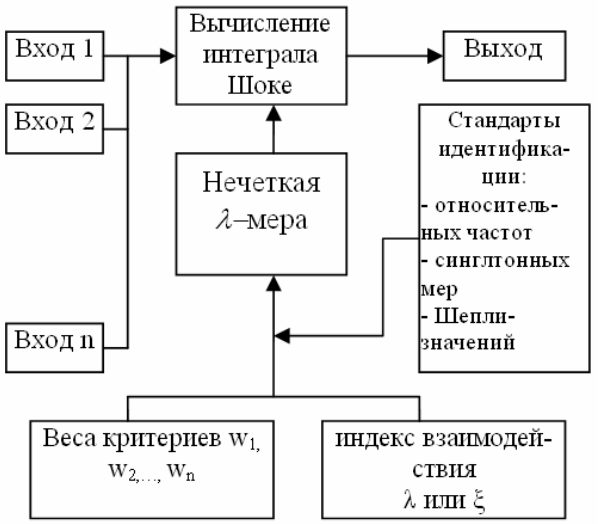


Рис. 1. Вычисление интеграла Шоке по λ–мере

Здесь $|I_{ij}|$ означает абсолютное значение, $f_1, \ldots, f_n$ – оценки по критериям Шепли-значения вычисляются по формуле

$$V_i = \sum_{K \subset X \setminus \{i\}} \frac{(n - |K| - 1)!|K|!}{n!} \left[\mu(K \cup \{i\}) - \mu(K) \right], \quad (16)$$

где $|K|$ означает card.

Индексы взаимодействия между критериями i и j определяются так:

$$I_{ij} = \sum_{K \subset X \setminus \{i,j\}} \frac{(n - |K| - 2)!|K|!}{(n-1)!} \left[\mu(K \cup \{i,j\}) - \mu(K \cup \{i\}) - \mu(K \cup \{j\}) + \mu(K) \right]. \quad (17)$$

Значения индексов взаимодействия принадлежат интервалу [–1,1].

Если $I_{ij} > 0$, то критерии i и j – взаимодополняющие. Это означает, что одновременное удовлетворение критериев i и j значимо для глобального счета, но одностороннее удовлетворение не имеет эффекта.

Если $I_{ij} < 0$, то это означает, что удовлетворение либо критерия i – либо критерия j достаточно для того, чтобы иметь значимый эффект в глобальном счете. Критерии взаимозамещающие. Если $I_{ij} = 0$, то критерии i и j – независимые.

Шепли-значения действуют как вектор весов во взвешенном арифметическом среднем. Они представляют линейную часть Шоке-интеграла. Она будет маленькой, если индексы взаимодействия большие.

Для вычисления Шоке-нтеграла по формуле (15) необходимо, чтобы ЛПР предоставил значения индексов важности и взаимодействия. Однако точные значения индексов вряд ли будут указаны, скорее можно ожидать их приближенной оценки, например, в виде интервалов. В работе [5] предложена модель интервально определенного Шоке-интеграла. Интерпретация формулы (15) осуществляется посредством интервальной арифметики. Как следствие, значение интеграла есть интервал, по мнению авторов, более узкий относительно интервальной информации, предоставленной пользователем. Авторы избежали известной проблемы «сверхоценки», модифицировав формулу (17) так, что она содержит только одно вхождение интервальных переменных, что гарантирует получение точного диапазона значений при данных интервалах предпочтений ЛПР.

М. Сисильо и др. [6] рассматривают экспертов как составную часть процесса конструирования оператора свертки на основе Шоке-интеграла по 3-аддитивной нечеткой мере. Этот процесс явно моделирует извлечение знаний из высказываний экспертов о связях между критериями для построения нечеткой меры, а также использует экспертные глобальные оценки вместо экспериментальных данных для настройки оператора свертки оценок. Оцениваются только важность критериев и эффект замещения в процессе оценки интерфейса человек-машина. Настройка производится с помощью эвристического алгоритма. Число итераций 300…5 тысяч. Грабиш [2] предложил несколько алгоритмов идентификации нечеткой меры изначально оцененной экспертами. Один из них требует глобальной оценки для настройки, другой требует только оценки некоторых отношений между глобальными оценками. В обоих алгоритмах используется оператор свертки Шоке-интеграл по 2-аддитивной нечеткой мере и алгоритмы оптимизации по критерию минимума среднеквадратической ошибки модели. В первом алгоритме используется квадратичное программирование, во втором – линейное программирование.

Нами выполнено исследование практического применения интеграл Шоке по λ-мере, определяемой по формулам (9)–(12) для свертки исходных данных – оценок предприятий (табл. 1). Результаты расчетов представлены на рис. 2.

Таблица 1

Исходные данные для расчета оценок конкурентных позиций предприятий

Критерий	Качество	Цена	Имидж	Финансы	Маркетинг	Наука
Вес критерия	5	6	0	9	3	1
Оценки предприятий по критериям						
Предприятие 1	60	20	30	10	20	80
Предприятие 2	40	30	50	6	30	20
Предприятие 3	50	15	20	30	40	50
Предприятие 4	70	30	60	20	50	5
Предприятие 5	90	10	70	15	30	60

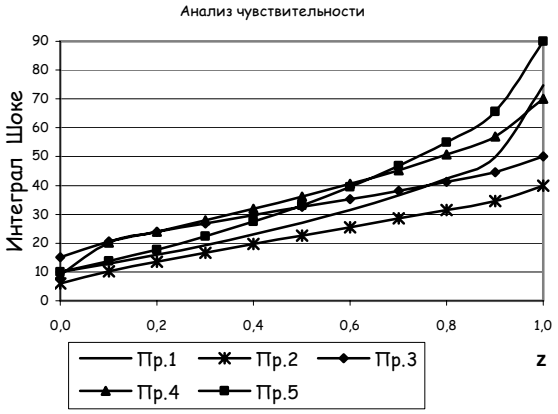


Рис. 2. Расчет интеграла Шоке при различных значениях параметра λ

Значения величин $\xi = [0,1]$ отложенных по оси абсцисс (рис. 2) подтверждают, что при λ устремленном к предельным значениям – 1 и ∞ интеграл Шоке стремится соответственно к максимальному и минимальному значениям оценок. При этом может измениться порядок

оценок. При $\lambda = 0$ интеграл Шоке совпадает со средневзвешенным значением и номера предприятий в порядке убывания глобальной оценки в нашем примере: 4, 5, 3, 1, 2.

Если лицо, принимающее решение (ЛПР), склонно больше доверять максимальным оценкам в выборке, то эту его склонность можно отразить назначением $-1 < \lambda < 0$. При этом порядок оценок альтернатив может измениться. При $\xi = 0{,}84$ $(\lambda = -0{,}94)$ порядок альтернатив меняется на: 5, 4, 1, 3, 2 (см. рис. 2). Если ЛПР имеет большее доверие к минимальным оценкам, например, по причине большей достоверности источника информации, то это может быть формализовано назначением $0 < \lambda < \infty$. Например, при $\xi = 0.2$ $(\lambda = 15)$ порядок альтернатив также изменяется и становится таким:4, 3, 5,1, 2. При этом ЛПР получает дополнительную информацию к размышлению.

Таким образом, нами исследованы и применены в практических расчетах существующие подходы к конструированию оператора свертки информации на базе Шоке-интеграла. Предложена модель анализа конкурентных позиций предприятий использующая свойства данного оператора.

Направление будущих исследований – разработка алгоритмов идентификации нечеткой меры, в частности, определение глобальной оценки при отсутствии некоторых входных оценок для отдельных предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Energy Policy. January 2005. – V. 33, Issue 2. – P. 183–196 and 235–244.
2. Grabisch M. The application of fuzzy integrals in multicriteria decision making / European Journal of Operational Research 89 (1996). – P. 445–456.
3. Grabisch M. Fuzzy Measures and Integrals / M. Grabisch, T. Murofushi and M. Sugeno (eds.). Theory and Applications. Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing // Physica Verlag. – Heidelberg, 2000.
4. Takahagi, Eiichiro. On Identification methods of λ-fuzzy measures using weights and λ // Japanese Journal of Fuzzy Sets and Systems. – V. 12,5. – http:// www.isc.senshu-u.ac.jp//.
5. Ceberio M. Interval-valued, 2-additive Choquet Integral for Multi-criteria Decision Making / M. Ceberio, F. Modave. – University of Texas at El Paso, 2004.
6. Sicilia M. A. An Inquiry-Based method for Choquet Integral-Based aggregation of interface usability parameters / M. Ceberio, F. Modave // Kybernetika. – V. 35, 1999.

Надійшла в редколегію 30.06.06.

Наукове видання

В І С Н И К

Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Випуск 14
Українською, російською та англійською мовами

Відповідальний за випуск *І. П. Корженевич*
Комп'ютерна верстка *Я. І. Заїць*
Коректори *Т. В. Щепоткіна*, *Т. В. Мацкевич, М. О. Долгов*

Здано до набору 15.01.2007. Підписано до друку 05.02.2007. Формат 60×84 1/8.
Папір офсетний. Друк офсетний. Умов. друк. арк. 28,03.
Обл.-вид. арк. 29,04. Тираж 100 прим. Замовлення № 386. Видавн. № 51.

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, www.diitrvv.dp.ua, admin@diitrvv.dp.ua