

*Посвящается 195-летию
со дня основания Университета*

ИЗВЕСТИЯ

ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ



ВЫПУСК 2

Санкт-Петербург
2004

УДК 378: 001.5
ББК 74.58

Известия Петербургского университета путей сообщения. – СПб.:
Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – Вып. 2. – 252 с.

ISBN 5-7641-0124-7

Содержит работы по основным фундаментальным, поисковым и прикладным научным исследованиям университета. Отражает вопросы повышения пропускной и провозной способности железных дорог, совершенствование конструкций, эксплуатации и ремонта подвижного состава, регулирования движения поездов и управления технологическими процессами, реконструкции тяговых средств, обслуживания и ремонта путевых машин, эксплуатации мостов и тоннелей, а также вопросы охраны окружающей среды и безопасности труда.

Рассчитано на научно-педагогических работников высших учебных заведений, инженерно-технический персонал транспортной отрасли, докторантов, аспирантов и студентов.

УДК 378: 001.5
ББК 74.58

Редакционная коллегия: д-р техн. наук **В.И. Ковалев** (ответственный редактор), д-р техн. наук **Л.С. Блажко**, д-р техн. наук **М.Н. Василенко**, д-р техн. наук **А.В. Индейкин**, д-р техн. наук **Л.Н. Павлов**, д-р техн. наук **А.В. Панин**, д-р техн. наук **А.В. Плакс**, канд. техн. наук **Г.К. Зальцман**

Издание выходит с 1883 года
Возрождено в 2004 году
Выходит два раза в год

ISBN 5-7641-0124-7

© Петербургский государственный университет
путей сообщения, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Пропускная и провозная способность.....</i>	<i>7</i>
Решение задачи по управлению вагонопотоками на основе анализа финансовой безубыточности	
<i>В.И. Ковалев.....</i>	<i>7</i>
О моделировании процессов управления вагонопотоками с учетом вагонов других государств	
<i>В.Г. Дегтярев, С.Ю. Елисеев, В.И. Ковалев.....</i>	<i>16</i>
Определение оптимальной нормы состава грузового поезда	
<i>В.А. Кудрявцев, В.В. Волчанинов, Ю.А. Кокшаров.....</i>	<i>19</i>
Анализ случайных последовательностей в задаче исследования баланса вагонов РФ-СНГ	
<i>А.Т. Осьминин, Л.А. Кухаренко, Е.Ю. Мокейчев.....</i>	<i>28</i>
Исследование влияния технико-экономических факторов на безопасность движения	
<i>В.В. Гарбарук, П.В. Герасименко, А.Е. Красковский.....</i>	<i>33</i>
Некоторые показатели контейнерных перевозок	
<i>О.Б. Маликов, Г.И. Никифорова.....</i>	<i>40</i>
<i>Подвижной состав.....</i>	<i>46</i>
Концепция системы рекуперативно-реостатного тормоза грузовых электровозов постоянного тока	
<i>Л.Н. Павлов, В.О. Иващенко, А.Я. Якушев, М.Ю. Изварин, Е.В. Ткаченко, А.В. Богдан.....</i>	<i>46</i>
Новые электропоезда с тяговым электроприводом постоянного тока	
<i>А.С. Корнев, А.Я. Якушев, В.О. Иващенко, Б.Ю. Левитский, О.К. Чандер.....</i>	<i>51</i>
Полупроводниковые системы регулирования возбуждения тяговых двигателей электропоездов	
<i>А.С. Мазнев, А.М. Евстафьев, О.И. Шатнев.....</i>	<i>55</i>
Кинематика и динамика карданной передачи	
<i>А.В. Индейкин, В.А. Кручек, В.С. Доев, Ф.А. Доронин.....</i>	<i>61</i>
Управление качеством цельнокатаных колес железных дорог подвижного состава	
<i>С.В. Урушев, И.А. Иванов, Д.П. Кононов.....</i>	<i>66</i>

	72
Регулирование движения поездов и связь.....	
О методе расчета числа вагонов одного назначения, поступающих на грузовую станцию в течение заданного промежутка времени Ю.И. Ефименко, В.Н. Фоменко, П.К. Рыбин.....	72
Вычисление тестов для неисправностей типа “временная задержка” по эквивалентной нормальной форме В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, А.А. Лыков.....	78
Высокоскоростные алгоритмы и протоколы криптографической защиты информационных ресурсов железнодорожного транспорта А.А. Корниенко, М.А. Еремеев, Е.А. Аникевич.....	85
Анализ транспортной системы Санкт-Петербурга и возможности повышения в ней роли пригородных железных дорог Е.П. Дудкин, Н.Е. Коклева, Н.В. Левадная.....	89
Оценка плотности пассажиров на платформах метро М.Н. Василенко, В.А. Ходаковский, М.А. Шварц.....	97
Теоретический анализ комбинированного предохранителя с контролем перегорания плавной вставки А.М. Костроминов, А.А. Костроминов, Д.Л. Павлов.....	105
К построению концептуальной модели деятельности ОАО “РЖД” в условиях конкуренции В.В. Гарбарук, А.Е. Красковский, В.А. Ходаковский.....	113
Реконструкция тяговых средств.....	119
Асинхронный тяговый электропривод для пригородного электропоезда постоянного тока А.С. Корнев, А.В. Ковтун, Н.В. Лысов, В.О. Иващенко, А.Я. Якушев, О.В. Колодкин.....	119
Моделирование электромагнитных процессов в устройстве фильтрации и компенсации реактивной энергии на тяговых подстанциях переменного тока А.Т. Бурков, А.Н. Марикин, А.П. Самонин, В.В. Сероносов.....	124
Компактный охладитель для преобразователя асинхронного тягового электропривода А.Б. Буянов, И.Г. Киселев, С.И. Степанов.....	129
Сверхпроводимость на транспорте А.И. Хожанинов, В.В. Никитин, Г.Е. Середа.....	135

Математическое моделирование тяговых цепей <i>Е.Ф. Жигалко, А.Н. Бестужева</i>	140
<i>Путевые работы</i>	148
Совместная обработка результатов путеизмерительных и спутниковых измерений параметров железнодорожного пути <i>В.А. Коугия</i>	148
Адаптивная выносная опора для кранов на железнодорожном ходу <i>О.А. Бардышев, Д.Е. Попов, Я.С. Ватулин, В.А. Попов</i>	157
Методика определения остаточного ресурса металлоконструкции башенных кранов БК-1000 <i>В.Л. Уралов, Я.С. Ватулин, С.К. Коровин, А.П. Попов, В.А. Попов</i>	162
<i>Мосты и тоннели</i>	168
Особенности работы опор мостов скоростных железнодорожных магистралей <i>В.Н. Смирнов</i>	168
Региональный мониторинг автодорожных мостов на дорогах общего пользования <i>В.Н. Смирнов, О.В. Гарамов</i>	171
Ускоренный метод оценки трещинообразования в хрупких материалах <i>П.Г. Комохов, Ю.А. Беленцов</i>	174
Учет ползучести бетона и коррозии арматуры при расчете железобетонных конструкций на сейсмостойкость <i>С.В. Елизаров, А.В. Бенин</i>	180
Определение максимального угла поворота сечения разрезной балки от железнодорожной и автомобильной нагрузки <i>Г.И. Богданов, А.А. Жинкин</i>	185
Нелинейная механико-математическая модель динамического анализа пространственных предварительно напряженных шпренгельных систем <i>В.В. Егоров</i>	191
<i>Научная организация труда и хозяйственной деятельности</i>	196
Организационно-управленческие проблемы реформирования Российских железных дорог <i>А.А. Лапинская</i>	196
Мониторинг, моделирование и предупреждение конфликтов на железных дорогах <i>В.П. Огородников, В.А. Светлов</i>	201

Безызлучательный перенос энергии в полимерах <i>Е.Н. Бодунов</i>	207
<i>Охрана окружающей среды и безопасность труда</i>	214
Построение экологической карты-схемы промышленных территорий Северо-Западного региона методами аэросъемки на базе геоинформационных систем <i>А.В. Панин, О.В. Григорьева</i>	214
Перспективы длительного хранения низкоактивных отходов ядерных энергетических реакторов в котлах железнодорожных цистерн, отработавших свой ресурс <i>А.М. Воробьев, В.И. Моисеев, Т.А. Комарова, О.А. Комарова</i>	219
Совершенствование методики обучения по охране труда лиц, работающих в тяжелых и вредных условиях <i>Г.К. Зальцман, А.П. Пронин, Е.Л. Рыжова, О.Н. Тихомиров</i>	226
Перспективы использования аккумуляторов теплоты в стационарной теплоэнергетике железнодорожного транспорта <i>И.Г. Киселев, О.Л. Попова</i>	231
<i>Авторы статей</i>	241
<i>Авторский указатель</i>	250

Пропускная и провозная способность

УДК 656.222.3:656.2.07

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО УПРАВЛЕНИЮ ВАГОНОПОТОКАМИ НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ БЕЗУБЫТОЧНОСТИ**

В.И. Ковалев

Аннотация

В решении задачи по обеспечению возрастающих объемов перевозок без увеличения парка вагонов за счет ускорения оборота вагона ключевая роль принадлежит реализации новых решений по организации вагонопотоков. Предложен алгоритм оценки управленческих решений в области организации вагонопотоков на основе анализа финансовой безубыточности.

Ключевые слова: организация вагонопотоков, анализ финансовой безубыточности

Введение

В рыночной экономике основной целью хозяйствующих субъектов является получение максимальной прибыли на основе быстрого реагирования на изменение запросов покупателей, проведения эффективной ценовой политики, достижения успеха в конкурентной борьбе. При реализации этой цели возникает необходимость в новых системах управления хозяйственной деятельностью фирм, направленные на своевременное принятие правильных решений по управлению финансовыми результатами.

В мировой практике важной составной частью процесса управления финансовыми результатами является анализ безубыточности, состоящий в выявлении и изучении зависимости между объемом производства, выручкой (доходами) и затратами. Методы анализа финансовой безубыточности могут использоваться и применительно к вопросам организации эксплуатационной работы железных дорог (Абрамов А.П., 1995).

В настоящей работе предложен алгоритм оценки управленческих решений в области организации вагонопотоков на основе анализа финансовой безубыточности.

1. Постановка задачи

Пусть K — некоторая структура корреспонденций вагонопотоков (Ковалев В.И., 2002).

Рассмотрим общий случай нелинейной зависимости величин корреспонденции вагонопотока от общей величины объема перевозок x :

$$K = K(x) \quad (1)$$

Предположим, что варианты организации вагонопотоков θ всесторонне оцениваются набором критериев F_i .

Поскольку критерии F_i , зависят не только от вариантов организации вагонопотока θ , но и от матрицы корреспонденции вагонопотоков K , следует считать матрицу K и величину объема перевозок x аргументами:

$$F_i = F_i(\theta, K(x), x) \quad (2)$$

Пусть $Z(x)$ - затраты на перевозки при выбранном варианте технологии θ , зависящие от приведенного объема перевозок x , (причем включаем сюда и общие затраты Z_0). Точно также, пусть $D(x)$ - доходы от перевозок при выбранном варианте, зависящие от величины x .

Наиболее важной экономической величиной является их разность

$$A(x) = D(x) - Z(x) \quad (3)$$

которая оказывается (при своем положительном значении) величиной прибыли.

Эта величина, так же, как $Z(x)$ и $D(x)$ рассчитывается по критериям F_i :

$$A = A(F_1, F_2, \dots) \quad (4)$$

и также, как критерии, зависит от x , и от θ : $A = A_\theta(x)$.

На рис. 1 изображен график возможной зависимости $A(x)$ для четырех гипотетических вариантов $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ и θ_4 .

На графике выделен отрезок $[x_1, x_2]$ возможного изменения объемов перевозок. Этот отрезок необходимо тщательно отобрать, поскольку вне его зависимость матрицы корреспонденции K от x может стать непредсказуемой. Кроме того, отмечены точки равновесия r_i для каждого из вариантов $i (1 \leq i \leq 4)$ – критические точки, ниже которых снижение объема перевозок становится нерентабельным.

Будем называть отрезок $[x_1, x_2]$ отрезком сравнения.

Фиксирование отрезка сравнения приводит к дополнительному ограничению на отбор вариантов: точка равновесия r_θ (нуль функции $A_\theta(x)$) должна лежать слева от отрезка

$$r_\theta \leq x_1 \quad (5)$$

Сравнение между собой значений функций $A_\theta(x)$ при различных вариантах θ на отрезке сравнения задает отношение предпочтения на множестве вариантов:

$\theta_i \succ \theta_j$ (θ_i предпочтительнее, чем θ_j), если

$$A_{\theta_i}(x) \geq A_{\theta_j}(x) \text{ для всех } x \in [x_1, x_2].$$

Практически реализация данного подхода сопряжена с определенными трудностями, которые состоят в первую очередь в том, что функция затрат зависит от времени.

Если функция дохода $D(K, x)$ практически не зависит от времени, так как в соответствии с Уставом железнодорожного транспорта РФ и практикой работы железнодорожные тарифные платежи принимаются до начала процесса перевозки, то с функцией затрат $Z(\theta, K, x)$ ситуация обстоит иначе.

На текущий момент времени можно говорить лишь о планируемых затратах, которые экономические службы дорог рассчитывают на период планирования. Реальная система организации вагонопотоков на сети железных дорог России и управленческие решения в сфере организации перевозочного процесса оказывают существенное влияние на изменение функции затрат. Однако в силу порядка учета таких затрат они отдалены по времени с момента принятия решения и могут быть на текущий момент времени только спрогнозированы. Назовем их затраты отдаленные по времени и обозначим через $\tilde{Z}(\theta, K, x)$ (рис. 2).

Функция $\tilde{Z}(\theta, K, x)$ всегда положительна. Если условно предположить ее линейный характер, то график финансовой безубыточности примет следующий вид (рис 3).

При этом будет наблюдаться смещение точки финансовой безубыточности вправо по оси абсцисс (x), которое можно интерпретировать следующим образом: необходимо осуществить некоторый дополнительный объем перевозок грузов (Δx^+), чтобы компенсировать потери от нерациональной организации вагонопотоков и неэффективного управления перевозочным процессом.

Анализ практики работы железных дорог показывает, что затраты отдаленные по времени возникают по следующим основным причинам:

1. Штрафы, выплачиваемые грузовладельцам в соответствии с Уставом железнодорожного транспорта РФ за невыполнение сроков доставки грузов;
2. Платежи государствам СНГ и Балтии за использование принадлежащего им подвижного состава;
3. Потери железных дорог, возникающие из-за несогласованной работы смежных видов транспорта и нерационального планирования смешанных, в первую очередь, железнодорожно-морских перевозок грузов;
4. Нарушения в области коммерческой работы и подготовки подвижного состава под погрузку, приводящие к замедлению продвижения вагонопотоков на подходах к погранпереходам и перепробегам при регулировании парком порожних вагонов;
5. Замедление пропуска вагонопотоков по причинам нерациональной организации вагонопотоков, загрузки технических станций, организации пропуска поездов и регулирования тяговыми средствами;
6. Сверхнормативной работой локомотивных бригад;
7. Нерациональной организацией местной работой.

Вместе с тем, следует отметить и то обстоятельство, что за счет умелого руководства движением поездов, организацией вагонопотоков и рационального использования имеющихся ресурсов на железных дорогах могут сократиться планируемые переменные затраты на перевозку $\tilde{Z}(\theta, K, x)$, а в условиях колебаний вагонопотоков – и постоянные затраты $\bar{Z}(\theta, K, x)$.

Если также предположить линейный характер изменения таких затрат, то при этом будет наблюдаться смещение точки финансовой безубыточности влево по оси абсцисс (x), которое можно интерпретировать следующим образом: железные дороги за счет рациональной организации перевозочного процесса, использования ресурсов получают дополнительный доход эквивалентный некоторому объему перевозок грузов (Δx^-).

Тогда отрезок сравнения будет определен как $[(x^{\phi\phi} - \Delta x^-), (x^{\phi\phi} + \Delta x^+)]$.

Приведенные рассуждения позволяют говорить не о точке финансовой безубыточности, а об отрезке финансовой безубыточности или точнее отрезке финансовой стабильности, и сделать вывод о необходимости создания некоторого множества прогнозных моделей, позволяющих определить зону смещения точки финансовой безубыточности $x^{\phi\phi}$ по оси абсцисс.

В общем случае задача по управлению вагонопотоками может быть сформулирована следующим образом: организация вагонопотоков и их регулирование должны быть такими, чтобы доходы от перевозок за

определенный отрезок времени превышали фактические затраты на организацию данных перевозок и отдаленные по времени затраты, вызванные нарушениями в технологии организации перевозок и ответственностью железных дорог в соответствии с нормативно-правовой системой регулирования экономических взаимоотношений участников перевозочного процесса.

2. Решение задачи

$$A(x) \geq D(x) - [Z(x) + \tilde{Z}^0(x)] \quad (6)$$

или

$$A(x) \geq D(x) - Z(x, t) \quad (7)$$

При этом величины $Z(x)$, $D(x)$, соответственно и $A(x)$ зависят не только от x , но и от технологии перевозочного процесса θ , т.е.:

$$D = D_{\theta}(x); Z = Z_{\theta}(x, t); A = A_{\theta}(x, t)$$

где $A(x)$ – величина прибыли (при своем положительном значении),

θ – технология перевозочного процесса (вариант организации вагонопотоков).

θ напрямую зависит от корреспонденций вагонопотоков K , представляемых в матричной форме.

θ можно представить как отображение множества направлений поездопотоков на множество всех возможных маршрутов следования:

$$\theta: \Pi \rightarrow \Sigma, \theta(\pi) = V_{\pi},$$

где $\Sigma = \{V_{\pi}\}$, $\pi \in \Pi$, множество всех направлений поездопотоков (рис. 4).

Поскольку прибыль зависит, как было отмечено ранее, напрямую от θ , а последняя в свою очередь от K , то матрицу K , величину объема перевозок x и время следует считать аргументами.

Тогда выражение (6) и (7) примет вид:

$$A(\theta, K(x), x, t) \geq D(x) - Z(\theta, K(x), x, t) \quad (8)$$

Следует также отметить то обстоятельство, что на величину $\tilde{Z}(x)$ или $Z(x, t)$ существенное влияние оказывает порядок начисления налогов на прибыль, специфика ведения бухгалтерского учета и отчетности.

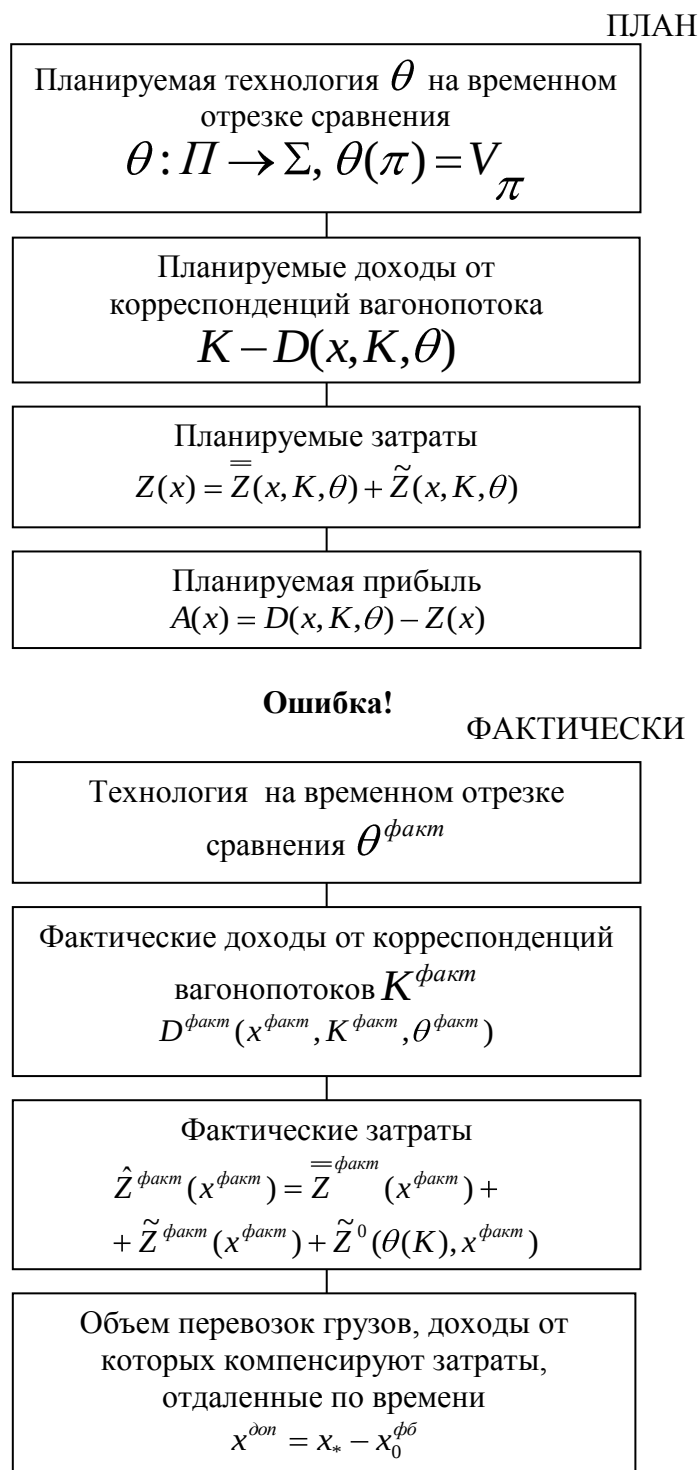


Рис. 4. Анализ безубыточности

3. Заключение

Организация вагонопотоков в поезда и управление ими являются одними из основных технологических задач эксплуатационной работы железнодорожного транспорта, эффективное решение которых создает условия для увеличения масштаба и совершенствования качества

транспортного производства, повышения рентабельности перевозок. Предлагаемый метод решения задачи по оптимальной организации вагонопотоков позволяет наряду с затратами, необходимыми для реализации плана перевозок, учитывать затраты, которые отдалены во времени от момента принятия решения по управлению вагонопотоками на основе принципов финансовой безубыточности.

4. Литература

- Абрамов А.П. Управление экономическими результатами в рыночных условиях (анализ безубыточности) // Вестник ВНИИЖТ. – 1995, № 1. – С. 3-7.
- Ковалев В.И. Организация вагонопотоков на сети железных дорог России в условиях реформирования отрасли (развитие теории расчета плана формирования поездов, экономико-математические модели). – СПб.: Информационный центр «Выбор», 2002. – 144 с.

УДК-656.2

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ВАГОНОПОТОКАМИ С УЧЕТОМ ВАГОНОВ ДРУГИХ ГОСУДАРСТВ

В.Г. Дегтярев, С.Ю. Елисеев, В.И. Ковалев

Аннотация

В наших предыдущих работах (Ковалев В.И. и др., Вестник ВНИИЖТ, 2002; Ковалев В.И. и др., Известия МАН ВШ, 2002; Дегтярев В.Г. и др., 2003; Елисеев С.Ю. и др., 2004), в основном, была решена проблема управления порожними вагонами с учетом вагонов других государств и различных форм собственности. Однако, ряд тонких аспектов этой проблемы в указанных работах не был уточнен. К этим аспектам относятся: динамический характер проблемы (зависимость от времени тарифных коэффициентов, используемых при расчете оплаты за пребывание иностранных вагонов на территории России); нечетко расписанные условия экономической целесообразности использования иностранных вагонов в тех или иных условиях; недостаточно прозрачный и неоднозначно очерченный алгоритм передачи иностранных вагонов государствам – владельцам вагонов либо сразу после предыдущей разгрузки либо после использования для перевозки грузов.

Ключевые слова: вагонопотоки, тарифный коэффициент, иностранные вагоны

Введение

Как известно, в соответствии с договоренностями между железнодорожными ведомствами России, других стран СНГ и стран

Балтии при нахождении вагонов этих стран на территории других стран соглашения предусмотрена оплата за эти вагоны. Оплата стране – владельцу вагонов осуществляет страна, на территории которой находятся вагоны, и эта оплата пропорциональна коэффициенту 1.0, если вагон находится на территории данной страны менее 15 суток, - коэффициенту 1.3, если вагон находится на территории от 15 до 30 суток и коэффициенту 3.0, если вагон находится на этой территории более 30 суток. Традиционно задачи об управлении порожними вагонами решаются методами линейного программирования. Вышеуказанные особенности иностранных вагонов не позволяют без соответствующих модификаций применять этот аппарат и к иностранным вагонам. В работах (Ковалев В.И. и др., Вестник ВНИИЖТ, 2002; Ковалев В.И. и др., Известия МАН ВШ, 2002; Дегтярев В.Г. и др., 2003) нами, в основном, эта проблема была решена, однако, остались неисследованными некоторые аспекты этой проблемы, о которых было сказано выше. В данной работе производится рассмотрение и исследование этих особенностей проблемы.

1. О моделировании и алгоритмах решения задач

Если при оптимальном управлении порожними вагонопотоками в качестве целевой функции рассматривать суммарные эксплуатационные и прочие расходы, связанные с подачей порожних вагонов под погрузку из различных пунктов в пункты погрузки, то вышеуказанный факт приводит к тому, что коэффициенты c_{ij} расходов на один вагон, подаваемый из пункта A_i в пункт B_j для иностранных вагонов будут зависеть от времени (задача принимает динамический характер). Последнее обстоятельство не позволяет при решении задачи минимизации расходов применять ни аппарат линейного программирования ни аппарат транспортной задачи линейного программирования. Однако, эта трудность может быть преодолена, если коэффициенты c_{ij} рассчитывать не на момент начала отправления вагона из пункта A_i , а на момент когда этот вагон после прибытия в пункт погрузки B_j будет направлен и прибудет в пункт доставки груза C_k . Правда, в этом случае необходимо прогнозировать время прибытия вагона в пункт C_k , но такое хотя и грубое прогнозирование движения вагонов на железнодорожном транспорте осуществляется уже давно и оно вполне может быть использовано. Рассчитанные таким способом коэффициенты c_{ij} , как числа, т.е. постоянные, уже могут быть использованы при решении задачи минимизации расходов, как в методах линейного программирования, так и в методах транспортной задачи линейного программирования.

В этой частной задаче, связанной с динамическим характером коэффициентов c_{ij} , остается еще одна немаловажная деталь: если какие-то конкретные иностранные вагоны решено будет не использовать под погрузку в пунктах B_j , то их необходимо направить в порожнем состоянии

из пунктов A_i сразу в пункты E_m для передачи государствам – владельцам вагонов, если же вагоны использовались для перевозки грузов, то их также необходимо направить в пункты E_m , но уже из пунктов C_k , где они будут разгружены. Суммарные же эксплуатационные расходы этих двух разных доставок порожних вагонов очевидно будут отличаться друг от друга и их разница может быть как положительной, так и отрицательной. Но об этой частной проблеме будет сказано ниже.

Переходим теперь к обсуждению задачи, связанной с решением вопроса о том, в каких условиях целесообразно использовать иностранные вагоны под погрузку, а в каких условиях – нецелесообразно и экономически выгоднее сразу отправить их в пункты передачи для возвращения государствам – владельцам. С этим же будет связан и алгоритм организации возврата вагонов.

В наших прежних работах (Ковалев В.И. и др., Вестник ВНИИЖТ, 2002; Ковалев В.И. и др., Известия МАН ВШ, 2002) в качестве условия экономической целесообразности использования иностранных вагонов было выдвинуто условие превышения суммарного дохода, полученного от использования всех иностранных вагонов, отправляемых из всех пунктов A_i во все пункты B_j и далее в груженном состоянии во все пункты назначения груза C_k над суммарными эксплуатационными расходами во время этих доставок. Очевидно, это условие требует, по крайней мере, уточнения, а возможно, и видоизменения.

Во – первых, видимо, целесообразно осуществлять не суммарное сравнение указанных величин, а по каждому вагону или по группе однотипных вагонов.

Во – вторых, такое сравнение необходимо проводить до решения задачи об оптимизации управления вагонопотоками с тем, чтобы заранее отбросить явно невыгодные вагоны и (или) выявить те пункты, направление в которые иностранных вагонов нецелесообразно.

В – третьих, по каждому доходу D_{ijk} необходимо не простое превышение над эксплуатационными расходами $\mathcal{E}_{ijk}$, а превышение с добавлением некоторого частного дохода d_{ijk} ($D_{ijk} \geq \mathcal{E}_{ijk} + d_{ijk}$). Величины d_{ijk} , очевидно, должны определяться экспертами. В частности, именно здесь со знаком плюс или минус может быть учтена разница в эксплуатационных расходах по доставке порожних вагонов в пункты E_m либо из пунктов A_i , либо из пунктов C_k .

Вынесение вопроса о целесообразности использования иностранных вагонов за рамки алгоритма оптимального регулирования вагонов позволяет избежать неоправданного увеличения числа переменных в оптимизационной задаче, а также позволяет оставаться в рамках транспортной задачи, а не выходить на уровень задачи линейного программирования. То и другое вместе позволяет решать

оптимизационную задачу более эффективно (с меньшими затратами машинного времени и объема памяти ЭВМ).

2. Заключение

В заключение отметим, что здесь обсуждались только иностранные вагоны, в то время как в работах (Ковалев В.И. и др., Вестник ВНИИЖТ, 2002; Ковалев В.И. и др., Известия МАН ВШ, 2002) были представлены алгоритмы оптимального регулирования смешанного вагонопотока, включающего в себя как российские вагоны различных форм собственности, так и иностранные вагоны. Но, очевидно, что все здесь сказанное не нарушает возможности использования алгоритмов работ (Ковалев В.И. и др., Вестник ВНИИЖТ, 2002; Ковалев В.И. и др., Известия МАН ВШ, 2002), разумеется с учетом уточнений и изменений, которые здесь обсуждались.

3. Литература

- Ковалев В.И., Дегтярев В.Г., Елисеев С.Ю., Осьминин А.Т. Оптимальное по стоимости управление вагонопотоками с учетом наличия в рабочем парке вагонов как принадлежащих России, так и странам СНГ и Балтии. – Вестник ВНИИЖТ, В.2., 2002.
- Ковалев В.И., Дегтярев В.Г., Елисеев С.Ю., Осьминин А.Т. Оптимальное по стоимости управление вагонопотоками с учетом вагонов других государств и различных форм собственности. – Известия МАН ВШ, В.2., 2002.
- Дегтярев В.Г., Елисеев С.Ю., Осьминин А.Т. Динамическое оптимальное управление вагонопотоками с учетом вагонов других государств. – Материалы конференции “Математическое моделирование в образовании, науке и производстве”. Тирасполь, 2003.
- Елисеев С.Ю., Дегтярев В.Г., Мокейчев Е.Ю. О модификации алгоритмов управления вагонопотоками с учетом вагонов других государств. Сб. трудов конференции “Математика в вузе”. – СПб., 2004.

УДК 656.222.2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ НОРМЫ СОСТАВА ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА

В.А. Кудрявцев, В.В. Волчанинов, Ю.А. Кокшаров

Аннотация

Норма состава грузового поезда играет важную роль в технологии перевозочного процесса как определяющий параметр плана формирования и графика движения поездов. Рассмотрены факторы, влияющие на величину состава и сформулирована оптимизационная задача, которая решена на основе нового экономического подхода.

Ключевые слова: грузовой поезд, норма состава, вагонопоток, вагоно-часы, локомотиво-часы, расходная ставка, доходная ставка.

Введение

Традиционно норму веса и состава грузового поезда определяют как технический параметр в зависимости от мощности локомотива и длины приёмо-отправочных путей. В настоящее время, главным фактором при решении этой задачи является длина приёмо-отправочных путей, вследствие чего поезда формируются по установленной их длине, определяемой числом условных вагонов.

На самом деле норма состава является важнейшим технологическим параметром, играющим важную роль в управлении эксплуатационной работой. Так, для плана формирования поездов выгодно уменьшение нормы состава, так как при этом снижаются затраты на накопление составов и увеличивается транзитность поездных назначений (снижается переработка вагонов). Увеличение состава отрицательно сказывается на продолжительности обработки транзитных поездов на технических станциях, поскольку она прямо пропорционально величине состава. Так, если состав из 50 вагонов обрабатывается на данной станции один час, то затрата вагоно-часов составит 50 вагоно-часов. Если же состав увеличить вдвое, то вдвое увеличится продолжительность обработки, а затрата вагоно-часов будет уже $100 \times 2 = 200$ вагоно-часов, то есть увеличится в 4 раза.

С другой стороны увеличение нормы состава выгодно для графика движения (снижаются размеры движения, хотя и замедляются продвижение поездов), а также для эксплуатации локомотивов (снижается потребность в них). Налицо оптимизационная задача. Если решать её по критерию затраты вагоно-часов, то получим минимально возможное значение состава (теоретически, при отсутствии ограничений снизу – до 1 вагона). Если же решать эту задачу по критерию затраты локомотиво-часов, то получим максимально возможное значение величины состава по верхнему ограничению (длине приёмо-отправочных путей). Для получения реального ответа надо использовать экономический критерий, который бы учитывал все затраты и способствовал получению максимального дохода от перевозок. В связи с этим предоставляет интерес исследование этого вопроса с целью установления оптимальной нормы состава поезда.

1. Постановка задачи

Так как каждое поездное назначение обладает рядом только ему присущих параметров, (в частности, суточная величина вагонопотока, дальность следования и др.), то все расчёты по определению оптимальной нормы состава следует проводить отдельно по каждому назначению. При необходимости определения общей унифицированной нормы состава,

расчёт её величины должен быть основан на установленных оптимальных значениях нормы состава по каждому назначению.

В связи с тем, что главным фактором при формировании поезда на сортировочной станции в настоящее время является его длина, то есть норма состава (а не вес), то задача заключается в определении оптимальной нормы состава по длине – числа условных вагонов. Норма веса поезда устанавливается как производная от длины состава с учётом средней загрузки вагона.

Период существования состава поезда T_c включает следующие технологические элементы, характеризующиеся продолжительностью во времени:

- накопление состава на станции формирования (t_n – средний простой вагона под накоплением);
- формирование состава с перестановкой в парк отправления t_ϕ ;
- обработка поезда по отправлению t_o ;
- следование поезда по участкам своего маршрута $\sum t_y$;
- обработка поезда на попутных технических станциях $\sum t_{mp}$;
- обработка поезда по прибытию на станцию расформирования t_{np} ;
- расформирование состава t_p .

Таким образом,

$$T_c = t_n + t_\phi + t_o + \sum t_y + t_{tr} + t_{np} + t_p. \quad (1)$$

Каждый элемент этого выражения в той или иной степени зависит от числа вагонов в составе m . Исследуя эти зависимости как функции $t = f(m)$, можно установить общую зависимость $T_c = f(m)$, которую положить в основу решения задачи оптимизации состава поезда. Рассмотренный процесс сопровождают следующие виды затрат на один поезд:

- затрата вагоно-часов $T_c m$;
- затрата локомотиво-часов $\sum t_y + \sum t_{mp} + t_{cm}$,

где t_{cm} – затраты времени на станциях формирования и расформирования при подаче локомотива под состав и уборке его из-под состава;

- расход топлива (электроэнергии) $r = f(m)$.

В результате проведённых исследований были получены выражения для определения суточных затрат вагоно-часов, локомотиво-часов и топлива (электроэнергии), приходящихся на одно назначение плана формирования. Полученные зависимости приведены в таблице 1 и позволяют определить денежные расходы по всем видам затрат, связанным с продвижением вагонов данного назначения.

В таблице использованы обозначения:

- c – параметр накопления;

m – число вагонов в составе;
 u_n – суточный вагонопоток данного назначения, вагонов;
 m_n – графиковая норма состава, ваг.;
 t_{om}^n – норма времени на техническое обслуживание в парке отправления состава, состоящего из m_n вагонов;
 l_{yi} – протяжённость i -го участка, входящего в маршрут следования поезда, км;
 a_i и b_i – коэффициенты для расчёта ходовой скорости движения грузовых поездов (Справочник эксплуатационника, 1971);
 q_6 – средний вес вагона брутто, т/ваг.;
 t_{mp}^n – технологическая норма времени на контрольный технический и коммерческий осмотры и устранение неисправностей (приём и сдача локомотива, а также сокращённое опробование тормозов, производится параллельно технологическому и коммерческим осмотрам), мин.;
 k_d – число попутных технических станций на которых производится смена локомотивов;
 t_{np}^n – технологическая норма времени на техническое обслуживание состава и отпуск тормозов, мин.;
 q_o – среднее осевая нагрузка вагона т/ось;
 c_i и d_i – коэффициенты для определения среднего расхода электроэнергии (условного топлива) на передвижение грузового поезда на 1 км пути (Справочник эксплуатационника, 1971).
 Для определения денежных расходов соответствующие выражения умножаются на один из экономических параметров, оценивающих вагоно-час, локомотиво-час, 1 кг условного топлива и 1 кВт-час электроэнергии в денежном выражении. С этой целью обычно используют установленные расходные ставки: $e_{вч}$ – стоимость вагона-часа, руб./в-ч; $e_{лч}$ – стоимость локомотиво-часа, руб./л-ч; $e_{кг}$ – стоимость 1 кг условного топлива, руб./кг; $e_{квт}$ – стоимость 1 кВт-часа электроэнергии, руб./кВт-ч.

ТАБЛИЦА 1. Расходы, зависящие от величины состава m

№ п/п	Вид расходов	Расчетная формула, руб.
	Вагоно-часы на:	
1	Накопление составов	$sm e_{вч}$
2	Формирование составов	$e_{вч} u_n (0,000033m^2 + 0,002217m + 0,0485)$
3	Простой в парке отправления станции формирования	$e_{вч} u_n \left(\frac{t_{om}^n}{60m_n} m + 0,25u_n \right)$
4	Движения в поездах	$e_{вч} u_n \sum \frac{l_{yi}}{a_i - 0,001b_i q_6 m}$

№ п/п	Вид расходов	Расчетная формула, руб.
5	Простой на попутных технических станциях	$e_{вч}u_n(\frac{\sum t_{mp}^n}{60m_n}m + \frac{k_n}{6})$
6	Простой в парке прибытия станции назначения	$e_{вч}u_n \frac{t_{np}^n}{60m_n}m$
7	Расформирование состава	$e_{вч}u_n(0,006m+0,1133)$ $e_{вч}u_n(0,0065m+0,1133)$ $e_{вч}u_n(0,0072m+0,1133)$ $e_{вч}u_n(0,0077m+0,1133)$
8	Локомотиво-часы на: На конечных станциях участка обращения локомотивов	$e_{лч}k_{ул} \frac{u_n}{m}$
9	Движение в поездах	$e_{лч}u_n \sum_i \frac{l_{yi}}{a_i m - 0,001b_i q_6 m^2}$
10	Топливо и электроэнергия на тягу поездов Условное топливо	$e_{к2} \sum (c_i l_{yi} + \frac{0,001d_i l_{yi} u_n}{m})$
11	Электроэнергия	$e_{квт} \sum (c_i l_{yi} + \frac{0,001d_i l_{yi} u_n}{m})$

2. Экономическая сущность

Однако такой подход является чисто затратным и не учитывает главного экономического требования – повышения доходности перевозок.

Понятно, что оптимальная величина состава m при прочих равных условиях напрямую зависит от значений $e_{вч}$, $e_{лч}$, $e_{к2}$, $e_{квт}$. По данным Октябрьской ж.д. в 2003 году эти величины составили: $e_{вч} = 7,2$ руб.; $e_{лч} = 481$ руб. (для электровозной тяги $e_{лч}^{эл} = 570$ руб.; для тепловозной тяги $e_{лч}^m = 390$ руб.); $e_{к2} = 4,87$ руб.; $e_{квт} = 0,91$ руб. Такое соотношение величин неизбежно приведёт к тому, что в результате будут получены чрезмерно большая величина состава, обеспечивающая экономию локомотиво-часов за счёт излишней затраты вагоно-часов.

Такой эффект возникает вследствие того, что величина $e_{вч}$ включает в себя только расходы на содержание вагона и амортизацию. Они настолько малы по сравнению с расходами на содержание поездного локомотива с бригадой, что экономически выгодно решать этот вопрос, обрекая вагоны на существенный простой. Получается парадоксальная ситуация: выгодно, чтобы стояли и вагоны, и локомотивы. С другой стороны, расходы на содержание вагона и амортизацию невозможно сэкономить – они не зависят от характера использования вагона.

Между тем основным источником дохода дороги является именно гружёный вагон, находящийся в движении (поскольку оплате подлежат выработанные им тонно-километры). Поэтому, экономя вагоно-часы, т.е. экономя рабочий парк, железнодорожный транспорт получает дополнительный доход от использования высвобожденных вагонов. Это положение усугубляется вследствие существующего в настоящее время дефицита вагонного парка. Поэтому величина $e_{вч}$, должна включать в себя "потерянный" доход, который будет реализован в случае экономии вагоно-часов. Величину "потерянного" дохода на 1 ваг-ч можно определить следующим образом:

$$e_{пот} = \frac{a_{ткм} \cdot \omega}{240}, \text{ руб./в-ч,} \quad (2)$$

где $a_{ткм}$ – доходная ставка по грузовым перевозкам на 10 ткм, руб./10 ткм;
 ω – производительность грузового вагона, ткм/ваг.-сут.

Например, если $a_{ткм} = 3,0$ руб./10ткм, $\omega = 8000$ ткм/ваг.-сут., то

$$e_{пот} = \frac{3,0 \cdot 8000}{24 \cdot 10} = 100 \text{ руб./вч}$$

Тогда величина стоимости вагоно-часа будет составлять:

$$e_{вч} = 7,2 + 100 = 107,2 \text{ руб./вч}$$

такой подход является правомерным, поскольку позволяет перейти от затратного критерия к критерию, который учитывает доход от более интенсивного использования вагонов.

3. Решение

Поскольку каждый элемент затрат есть функция величины состава $f(m)$, то общие суточные расходы на продвижение вагонов данного назначения можно определить суммированием этих элементов:
 $E(m) = \sum_i f_i(m).$

Данный функционал правомерно рассматривать как целевую функцию задачи определения оптимальной величины состава для данного назначения. Поскольку она является функцией одного аргумента m , то его оптимальное значение может быть определено путём исследования целевой функции на минимум. С этой целью необходимо взять первую производную функции по аргументу m приравнять её к нулю, затем решить полученное уравнение относительно m : $\frac{\partial E(m)}{\partial(m)} = 0$.

Таким образом, задача оптимизации состава поезда в данном случае математически формулируется следующим образом. Требуется определить такое значение величины состава m , при котором целевая функция $E(m)$ принимает минимальное значение. При необходимости можно учитывать ограничения на величину состава m сверху (или) снизу.

На графике (рис.1) приведена зависимость оптимальной нормы

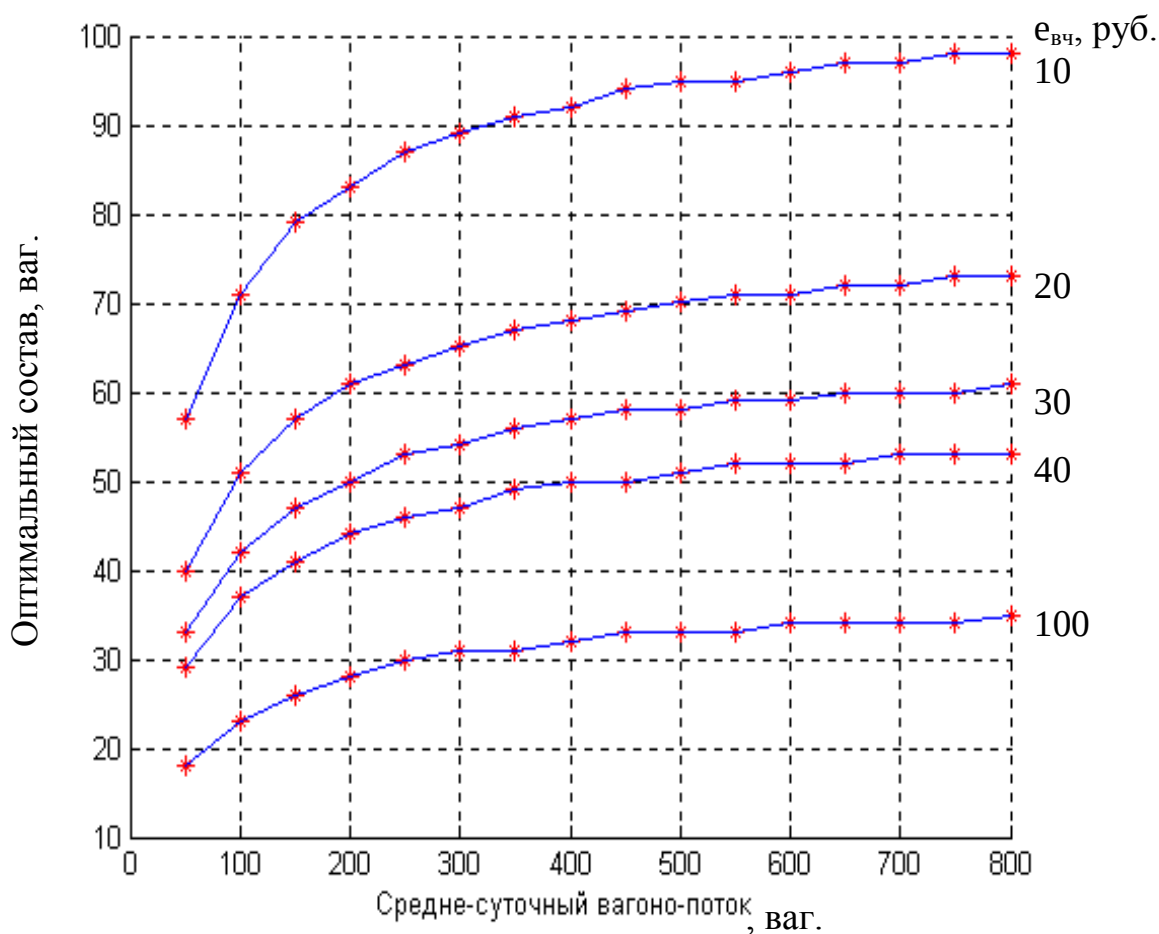


Рис.1. Графики зависимости оптимального состава поезда от средне-суточного вагонопотока, при разных значениях стоимости вагоно-часа $e_{вч}$

состава m от величины среднесуточного вагонопотока поездного назначения и для серии локомотива ВЛ 23, типа профиля 1, максимально допустимой скорости $V_{max} = 80$ км/ч, протяжённости маршрута следования 1200 км. Расчёты производились последовательно для значений вагоно-часа без учёта "потерянного" дохода $e_{вч} = 10$ руб. и с учётом "потерянного" дохода $e_{вч} = 20$ руб. (при доходной ставке $a_{ткм} = 0,3$ руб./10ткм); $e_{вч} = 30$ руб. ($a_{ткм} = 0,6$ руб./10ткм); $e_{вч} = 40$ руб. ($a_{ткм} = 0,9$ руб./10ткм) и $e_{вч} = 100$ руб. ($a_{ткм} = 2,7/10ткм$). Производительность вагона $\omega = 8000$ ткм/ваг. Без учёта "потерянного дохода" минимальный состав поезда равен 57 вагонов (при суточном вагонопотоке 50 вагонов);

максимальный – 98 вагонов (при суточном вагонопотоке 800 вагонов). Картина существенно меняется при учёте ”потерянного” дохода. Так, уже при $e_{вч} = 20$ руб. оптимальный состав изменяется от 40 вагонов при суточном потоке 50 вагонов до 73 вагонов при суточном потоке 800 вагонов. При $e_{вч} = 30$ руб. – от 33 вагонов при суточном потоке 50 вагонов до 61 вагона при суточном потоке 800 вагонов. При $e_{вч} = 40$ руб. – от 29 вагонов при суточном потоке 50 вагонов до 53 вагонов при суточном потоке 800 вагонов. При $e_{вч} = 100$ руб. – от 18 вагонов при суточном потоке 50 вагонов до 35 вагонов при суточном потоке 800 вагонов.

На графике (рис.2) приведена зависимость оптимальной нормы

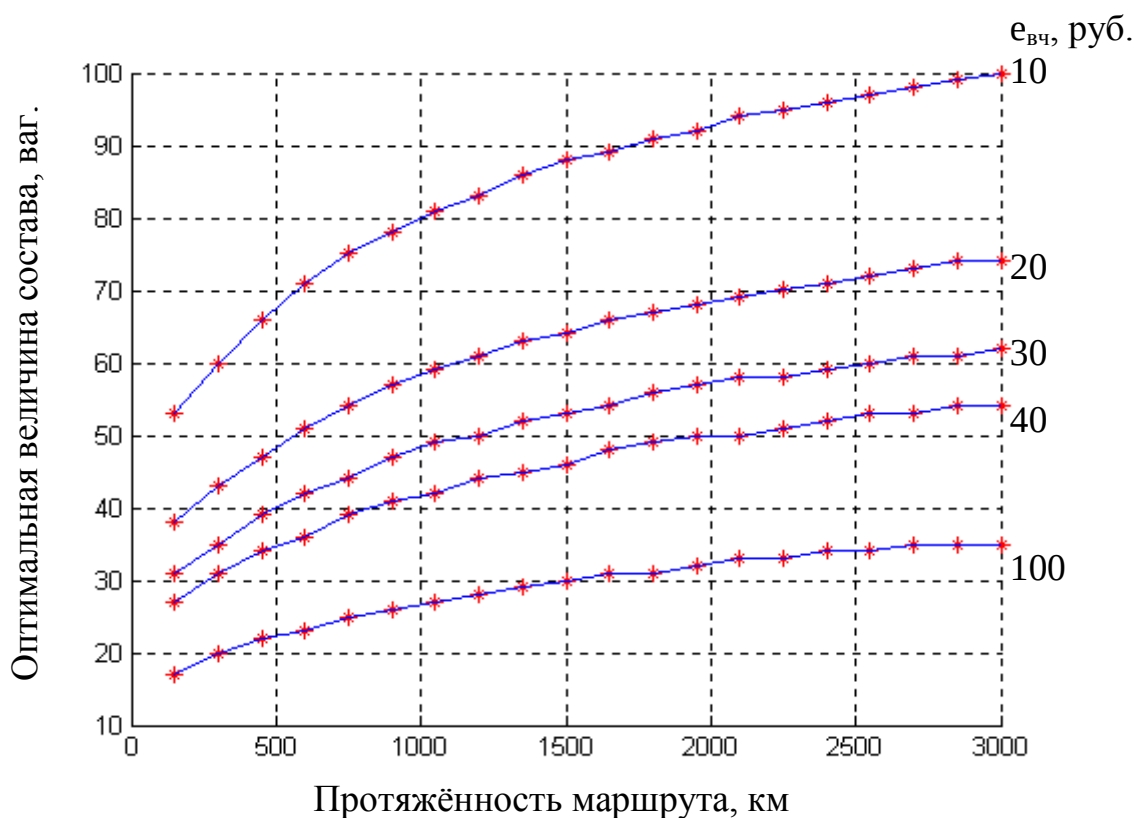


Рис.2. Графики зависимости оптимальной величины состава от протяжённости маршрута следования поезда при разных значениях стоимости вагоно-часа $e_{вч}$.

состава m от протяжённости маршрута поезда L при тех же исходных данных для суточного вагонопотока $u = 200$ вагонов.

Расчёты производились последовательно при тех же значениях стоимости вагоно-часа для расстояний от 150 км до 3000 км с шагом в 150 км. Результаты аналогичны предыдущему расчёту.

Для ориентировочного определения оптимальной величины состава при указанных условиях для $e_{вч} = 100$ руб. в зависимости от среднесуточного вагонопотока u_n и дальности следования поезда

(протяжённости маршрута) L составлена матрица таблица 2, которая даёт представление о характере изменения этой величины. Так, при среднесуточном вагонопотоке назначения $u_n = 200$ вагонов при дальности следования поезда $L = 300$ км оптимальная норма состава будет 19 вагонов, а при дальности 2700 км – 35 вагонов. Интересно отметить, что с увеличением суточного вагонопотока и дальности следования оптимальная норма состава стремится к постоянному значению, в данном случае 40 вагонов.

ТАБЛИЦА 2. Значения оптимального состава поезда в зависимости от среднесуточного вагонопотока и протяжённости маршрута при $e_{вч} = 100$ (руб.).

$L \backslash u_n$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
150	9	12	14	16	17	18	18	19	20	20	21	21	21	21	22	22
300	11	15	17	19	20	21	22	22	23	23	24	24	25	25	25	25
450	12	17	19	21	22	23	24	25	25	26	26	27	27	27	28	28
600	14	18	21	23	24	25	26	27	27	28	28	29	29	29	30	30
750	15	20	22	24	26	27	28	29	29	30	30	30	31	31	31	32
900	16	21	24	26	27	28	29	30	31	31	31	32	32	32	33	33
1050	17	22	25	27	28	30	30	31	32	32	33	33	33	34	34	34
1200	18	23	26	28	30	31	31	32	33	33	34	34	34	35	35	35
1350	19	24	27	29	30	32	32	33	34	34	34	35	35	35	36	36
1500	19	25	28	30	31	32	33	34	34	35	35	36	36	36	36	37
1650	20	26	29	31	32	33	34	35	35	36	36	36	37	37	37	37
1800	21	26	29	31	33	34	35	35	36	36	37	37	37	37	38	38
1950	22	27	30	32	33	34	35	36	36	37	37	37	38	38	38	38
2100	22	28	31	33	34	35	36	36	37	37	38	38	38	38	39	39
2250	23	28	31	33	35	36	36	37	37	38	38	38	39	39	39	39
2400	23	29	32	34	35	36	37	37	38	38	38	39	39	39	39	40
2550	24	29	32	34	36	36	37	38	38	39	39	39	39	40	40	40
2700	24	30	33	35	36	37	38	38	39	39	39	39	40	40	40	40
2850	25	30	33	35	36	37	38	38	39	39	40	40	40	40	40	40
3000	25	31	34	36	37	38	38	39	39	40	40	40	40	40	40	40

4. Заключение

На основе выполненных расчётов можно сделать выводы, что оптимальная норма состава (обеспечивающая максимальный доход) увеличивается по мере возрастания суточного вагонопотока поездного назначения и его дальности. Оптимальная норма состава для коротких и

слабых назначений может быть существенно меньше действующей нормы. Поэтому такие назначения целесообразно объединять в одnogруппные или групповые маршруты.

Из всего этого следует, что экономически целесообразно отказаться от фиксированной нормы состава по максимальной вместимости путей и перейти к гибкой норме задавая нижнюю границу с учётом оптимальной её величины и верхнюю по вместимости путей. Формировать поезда следует таким образом, чтобы включить в состав максимально возможное на момент формирования количество вагонов, то есть в каждом случае на станции не должно оставаться вагонов этого назначения.

Если при этом правильно рассчитать число ниток графика, то можно будет говорить о переходе на твёрдый график движения грузовых поездов, который сам по себе должен обеспечить повышение экономической эффективности перевозочного процесса.

5. Литература

- Методические указания по расчету норм времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте. МПС РФ. – М.: 1998.
- Типовые нормы оперативного времени и нормативы численности работников на пунктах технического обслуживания грузовых вагонов. МПС. – М.: 1997.
- Типовой технологический процесс работы сортировочной станции. – М.: «Техинформ», 2003.
- Типовой технологический процесс работы участковой станции. – М.: «Транспорт», 1984.
- Справочник эксплуатационника. – М.: «Транспорт», 1971.

УДК 656.2

АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛАНСА ВАГОНОВ РФ – СНГ

А.Т. Осьминин, Л.А. Кухаренко, Е.Ю. Мокейчев

Аннотация

Арендная плата за пользование вагонами иностранного государства в соответствии с договоренностью между странами СНГ определяется числом вагонов, находящихся в эксплуатации, временем использования вагона иностранного государства и не зависит от государства-пользователя и государства-владельца (Ковалев В.И., 2002). Число вагонов РФ, использующихся иностранным государством, зависит, в свою очередь, от некоторых характеристик. Анализ этих характеристик и их влияние на баланс вагонов является предметом данного исследования.

Ключевые слова: баланс вагонов, рабочий парк, резерв, линейный тренд, тригонометрический тренд.

Введение

В задаче исследования влияния различных факторов на характеристику качества объекта U возможны различные подходы в зависимости от информации об объекте, которая доступна исследователю. На практике количественное описание самих факторов может зависеть от времени. В этом случае естественно применить анализ временных рядов, представляющих динамику изменения соответствующих характеристик $x_k(t)$. Последующий корреляционный анализ позволит сделать выводы: 1) о влиянии исследуемых факторов на характеристику объекта U и 2) о динамике изменения $U(t)$.

В наиболее благоприятном случае, когда исследователь обладает достаточно полным объемом исходных данных, применение регрессионного анализа позволяет на основании уравнения регрессии решать задачу прогноза.

Известно, что для глобальной аппроксимации функции наиболее удобным является метод, основанный на среднеквадратичном приближении. В случае аппроксимации функции $f(x)$ в некотором заданном классе функций $L(x)$ на непрерывном множестве Ω в качестве критерия выбирается функционал:

$$Q[L(x)] = \int_{\Omega} (f(x) - L(x))^2 p(x) dx, \quad L(x) \in S, \quad (1)$$

где $p(x)$ – весовая функция.

Если Ω – дискретное множество, то критерием аппроксимации выступает сумма:

$$Q[L(x)] = \sum_k (f(x_k) - L(x_k))^2 p(x_k). \quad (2)$$

В нашей задаче рассматривается наилучшее среднеквадратичное приближение в классе L линейных функций и в классе тригонометрических многочленов.

1. Факторы, влияющие на баланс вагонов

В основе исследования лежат сведения об эксплуатации вагонов РФ, о числе вагонов РФ, арендуемых странами СНГ и о числе вагонов стран СНГ, арендуемых РФ. Естественную озабоченность вызывает тот факт, что этот баланс в различные периоды времени бывает не в пользу РФ, что связано с определенными материальными потерями. Число вагонов РФ, использующихся иностранным государством, зависит, в свою очередь, от

некоторых характеристик. В основу нашего исследования положены следующие данные об этих характеристиках за каждый месяц 2001, 2002 и 2003 г. 1) Число вагонов в работе; 2) число вагонов рабочего парка; 3) число вагонов, находящихся в резерве; 4) число вагонов, принадлежащих странам СНГ и эксплуатируемых в РФ; 5) число вагонов, принадлежащих РФ и эксплуатируемых в странах СНГ.

Задача состоит

- 1) в исследовании динамики факторов, допускающих управление – *работа* (x_1), *рабочий парк* (x_2), *резерв* (x_3) и
- 2) в исследовании влияния этих факторов на *баланс вагонов* (U), который определяется разностью числа вагонов п.5 и п.4.

2. Анализ временных рядов основных факторов

На рис.1 представлены нормализованные временные ряды $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ и $U(t)$ на интервале времени 2001 – 2003 гг. по месяцам. Под нормализацией понимаем перенесение начала отсчета в точку среднего значения данной характеристики за исследуемый отрезок времени с последующим делением на стандартное отклонение за то же время. Как известно, при этом линейном преобразовании характер тренда и корреляционные связи не изменяются.

Из рис.1 видно, что каждая из исследуемых характеристик, кроме первой – баланс, обладает устойчивой периодичностью с периодом 1 год. Поэтому естественно наряду с линейным трендом, характеризующим общую тенденцию, построить тригонометрический тренд и исследовать его спектральную характеристику.



Рис.1. Нормализованные временные ряды

Уравнение линейного тренда случайного процесса $x(t)$ соответствует наилучшему среднеквадратичному линейному приближению:

$$Q(\alpha, \beta) = \sum_{k=1}^n (x_k - (\alpha t_k + \beta))^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Тригонометрический тренд определяется наилучшим среднеквадратичным приближением в классе тригонометрических многочленов:

$$Q(a_1, a_2, \dots, a_m; b_1, b_2, \dots, b_m) = \sum_{k=1}^n (x_k - \sum_{i=1}^m (a_i \cos \frac{i\pi t_k}{l} + b_i \sin \frac{i\pi t_k}{l}))^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где l — половина соответствующим образом выбранного периода. Известно, что наименьшее значение этому критерию доставляют коэффициенты Фурье. За счет выбора m ($m \leq \frac{n}{2}$) достигается сколь

угодно точное соответствие исходным данным, в предельном случае получаем интерполяционный тригонометрический многочлен. Однако порядок многочлена не целесообразно выбирать слишком большим. В любом случае надо иметь в виду, что полученная аппроксимация относится к данному отрезку времени и использовать ее для прогноза можно с определенной осторожностью. Большей адекватности в прогнозе можно добиться, предложив в качестве аппроксимирующей функции сумму линейного тренда и тригонометрического, относящегося к остатку временного ряда после вычитания из него линейного тренда. Коэффициент R^2 достоверности, определяемый как квадрат коэффициента корреляции, характеризует точность аппроксимации соответствующим трендом.

В таблице 1 приведены уравнения линейных трендов, полученные на основании данных за три года (2001–2003) по всем характеристикам и соответствующие коэффициенты корреляции. Ради краткости не приводим тренды по каждому году, хотя они отличаются от приводимых ниже: эти уравнения построены по всему отрезку времени.

ТАБЛИЦА 1. Линейные тренды

Характеристика	Уравнение линейного тренда	R
Работа (x_1)	$x_1 = 55,75t + 53926$	0,245
Рабочий парк (x_2)	$x_2 = 1397,7t + 46438$	0.575
Резерв (x_3)	$x_3 = 91,92t + 25226$	0.053
Баланс (U)	$U = 632,3t - 7718,7$	0,661

Как видим, отмечается

- 1) в среднем некоторая тенденция роста наблюдается только по числу вагонов в рабочем парке и несколько более значительная – по балансу вагонов;
- 2) слабая связь с линейной функцией, которая не может быть принята в качестве соответствующей аппроксимирующей функции, что ранее было замечено на основании рис.1;
- 3) при построении тригонометрического тренда для характеристик с выраженной тенденцией роста (или падения) по годам необходимо в качестве периода выбирать максимальный имеющийся в распоряжении исследователя отрезок времени (в нашем случае – 3 года).



Рис. 2. Аппроксимация $x_1(t)$ тригонометрическим многочленом

На рис. 2 изображены реализация $x_1(t)$ и ее тригонометрический тренд 4-го порядка. Как было сказано, точность может быть повышена за счет привлечения более высоких частот. Однако в данном случае ввиду практического отсутствия линейного тренда тригонометрический многочлен построен для средних за три года значений $x_1(t)$, т.е. по 12 точкам, и поэтому выше 6-го порядка тригонометрический многочлен лишен смысла.

Аналогичным образом получены аппроксимирующие функции для двух других характеристик $x_2(t)$ и $x_3(t)$. Вторая характеристика $x_2(t)$ в соответствии со значительной тенденцией роста (см. табл.1) имеет аппроксимирующую функцию, которая состоит из суммы линейной функции и тригонометрического многочлена:

$$\bar{x}_2(t) = \alpha t + \beta + \sum_{k=1}^n (x_k - \sum_{i=1}^m (a_i \cos \frac{i\pi t_k}{l} + b_i \sin \frac{i\pi t_k}{l}))^2.$$

Функция $\bar{x}_2(t)$ строится для всего периода наблюдения (3 года). Тригонометрический многочлен наилучшего среднеквадратичного приближения естественно строить для разности $x_2(t) - (\alpha t + \beta)$.

Это же относится к характеристике $U(t)$ (баланс), которая имеет наибольшую среди всех характеристик тенденцию роста (по аренде – в пользу РФ). Однако здесь значительно слабее выражена периодичность (рис. 1), что возможно определяется влиянием некоторых других факторов, не учитываемых в этом исследовании.

3. Заключение

1) На основании корреляционного анализа зависимости баланса вагонов РФ – СНГ (Елисеев С.Ю. и др., 2002) и предлагаемого в работе описания динамики изменения факторов, влияющих на баланс, возможны рекомендации по управлению характеристиками $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ с целью более благоприятного для РФ баланса $U(t)$.

2) Построение адекватной математической модели системы арендной эксплуатации вагонов возможно при условии изучения дополнительных факторов, влияющих на финансовую основу аренды (Ковалев В.И., 2002). Точности такой модели послужит поступление новых данных за больший промежуток времени.

4. Литература

- Ковалев В.И. Организация вагонопотоков на сети железных дорог России (развитие теории расчета плана формирования поездов, экономико-математические модели). – СПб.: Информационный центр “Выбор”, 2002.
- Елисеев С.Ю., Кухаренко Л.А., Мокейчев Е.Ю. Корреляционный анализ зависимости баланса вагонов РФ – СНГ от рабочего парка вагонов РФ по эксплуатационным данным 2001г. Труды международной научно-методической конференции. Математика в вузе. СПб, 2002.
- Елисеев С.Ю., Кухаренко Л.А., Мокейчев Е.Ю. Исследование баланса вагонов РФ – СНГ по данным 2001–2003 г. Труды международной научно-методической конференции. Математика в вузе. СПб, 2004.

УДК 656.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

В.В. Гарбарук, П.В. Герасименко, А.Е. Красковский

Аннотация

В настоящее время в качестве основного показателя безопасности перевозочных процессов на железной дороге выступает число браков, как различных подразделений, так и дороги в целом в течение определенного временного промежутка (месяц, квартал, год). Выбору показателя в значительной мере способствует большой объемом

статистических данных по бракам в работе подразделений железной дороги. В работе проведено статистическое оценивание показателя безопасности. С помощью регрессионных зависимостей количества брака от длины железной дороги, объема перевозимого груза, расходов на перевозки и времени показана необходимость совершенствования математико-статистического инструментария для оценивания безопасности перевозочных процессов.

Ключевые слова: безопасность перевозочного процесса; брак в работе подразделений железной дороги; статистическое оценивание; функция регрессии.

Введение

На протяжении всего периода существования железной дороги браку, как показателю безопасности его работы, уделялось и продолжает уделяться огромное внимание. При этом под браком в работе подразделений железной дороги понимают различного рода отклонения в планируемых мероприятиях, отказы или нарушения безопасности движения.

На сегодняшний день основной частью статистической обработки браков, зафиксированных на дороге, является анализ их структуры и динамики с помощью графического представления наблюдаемых данных. При исследовании средней интенсивности случаев брака существуют два основных метода представления данных: один основывается на частоте событий, а другой – на накопленной частоте. Простейшим графиком первого типа является гистограмма, в которой высота каждого прямоугольника пропорциональна числу зафиксированных событий, т.е. частоте в определенный период времени. При построении графика накопленной частоты на график наносятся точки, ординаты которых пропорциональны сумме всех ранее зафиксированных событий.

К сожалению, данная статистическая информация используется, как отмечалось, только для качественного анализа без построения математической модели и количественных прогнозных оценок. Поэтому дальнейшее совершенствование анализа безопасности процессов перевозки железнодорожным транспортом должно базироваться на моделировании брака, как основного показателя, характеризующих безопасность.

1. Статистическое моделирование брака

Математическая модель это упрощенное, формализованное представление реальной транспортной системы (объекта, явления, процесса). С практической точки зрения математическая модель занимается установлением (определением, выяснением) наблюдаемых в транспортной системе конкретных закономерностей, синтезируя для этих целей теорию управления грузовыми перевозками (Ковалев В.И., 2002;

Кузнецов А.П., 2002), железнодорожную статистику и методы математической статистики.

Применение теории вероятностей и математической статистики при построении регрессионной модели безопасности перевозочного процесса обуславливается следующими обстоятельствами. В модели (математических соотношениях между браком и показателями перевозочного процесса) выделяют один или несколько основных определяющих факторов, влияющих самым существенным образом на результирующий показатель. В действительности на возникновение брака оказывают влияние множество факторов, при чем некоторые из них могут быть случайными. Следовательно, при моделировании могут быть упущены, неправильно выделены или неверно оценены важные взаимосвязи показателей перевозочного процесса, влияющие на рассматриваемую транспортную ситуацию. Поэтому полагают, что все остальные факторы, не учтенные явно в математической модели, оказывают некоторое результирующее воздействие, величина которого неизвестна заранее и поэтому описывается как случайная величина. Для этого в модель добавляется случайный параметр, интегрирующий в себе влияние всех неучтенных факторов.

В работе при моделировании эффективности на железнодорожном транспорте рассматривалось два типа выборок статистических данных: пространственная выборка (пространственные данные) и временной (динамический) ряд. Выборка обычно представляет собой набор независимых данных из генеральной совокупности. В работе в основном ограничились данными, приведенными в (Кузнецов А.П., 2002).

Первым типом выборок, рассматриваемых в работе, является временной ряд. При рассмотрении перевозочных процессов под понятием временной ряд понимают множество наблюдаемых на железнодорожном транспорте показателей, полученных на одном объекте (в работе на 6 из 17 железных дорог) за определенные периоды времени (определенный отрезок времени). Для временного ряда характерно, что регистрация исходных статистических данных происходит во времени t и само время фиксируется совместно со значениями показателей перевозочного процесса. При исследовании, расположенную в хронологическом порядке последовательность значений количества брака $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)$ для каждой железной дороги за каждый квартал с 1996 по 2003 г.г. представляли как одномерный временной ряд.

В качестве пространственной выборки принималось суммарное за год количество браков на шести железных дорогах, с одновременным фиксированием за этот период расходов на перевозки, объема груза, и длины дороги. При этом полагалось, что все наблюдения пространственной выборки, а именно количество браков, грузооборот и

расходы на эксплуатацию на разных дорогах за год, получены в примерно равных условиях эксплуатации.

Обобщая изложенное в дальнейшем под пространственной выборкой понимается серия i ($I = 12, \dots, n$) независимых наблюдений $(p + 1)$ -мерной случайной величины (случайного вектора), компонентами которой являются объясняемые ($j = 12, \dots, p$) и объясняющая переменные ($x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}, y_i$). При этом под объясняемой переменной в работе выступает количество брака, а под объясняющими переменными – остальные показатели.

Тогда серию из n независимых наблюдений можно представить в виде матрицы $\mathbf{X}$ значений p объясняемых переменных в n опытах и вектор-столбца $\mathbf{Y}$ объясняемой переменной в n опытах:

$$\mathbf{X} = [\mathbf{1}, \mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3, \dots, \mathbf{X}_p]; \quad \mathbf{X}_j = [x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, \dots, x_{nj}]^T; \quad \mathbf{1} = [1, 1, 1, \dots, 1]^T;$$

$$\mathbf{Y} = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_n]^T$$

Элементы j -го столбца $\mathbf{X}_j$ ($j = 1, 2, \dots, p$) матрицы $\mathbf{X}$ выступают в качестве значений j -ой объясняющей переменной (время, длина дороги, расход на перевозку грузов, объем перевозок) фиксируемой в i -ом опыте ($I = 12, \dots, n$). В рассматриваемой задаче они не являются случайными величинами.

Вектор-столбец $\mathbf{Y}$ состоит из компонент y_i , представляемых собой значения объясняемой переменной (количество брака) фиксируемых в каждом i -ом опыте ($I = 1, 2, \dots, n$). Каждая компонента рассматривается как случайная величина.

2. Результаты исследования

Первой моделью, которая подлежала построению и анализу явилась регрессионная зависимость одномерного временного ряда. При этом зависимость между количеством браков и временем в промежутке от 1996 года до 2003 года для каждой из рассмотренных шести дорог была выбрана в вид:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{A} + \mathbf{E},$$

где, кроме ранее введенного вектор столбца $\mathbf{Y}$, $\mathbf{T}$ – матрица времени, построенная аналогично матрице $\mathbf{X}$;

$\mathbf{A} = [a, b]^T$ – вектор-столбец оцениваемых по выборке коэффициентов a и b ;

$\mathbf{E} = [e_1, e_2, e_3, \dots, e_n]$ – вектор-столбец случайного параметра, добавленный аддитивным образом и суммирующий все неучтенные явно в функции факторы, влияющие на нее.

За единицу времени принят один квартал ($n = 32$).

Наглядное представление о характере изменения количества браков на разных дорогах можно наблюдать на рис.1. Здесь число 37 соответствует первому кварталу 1996 года.

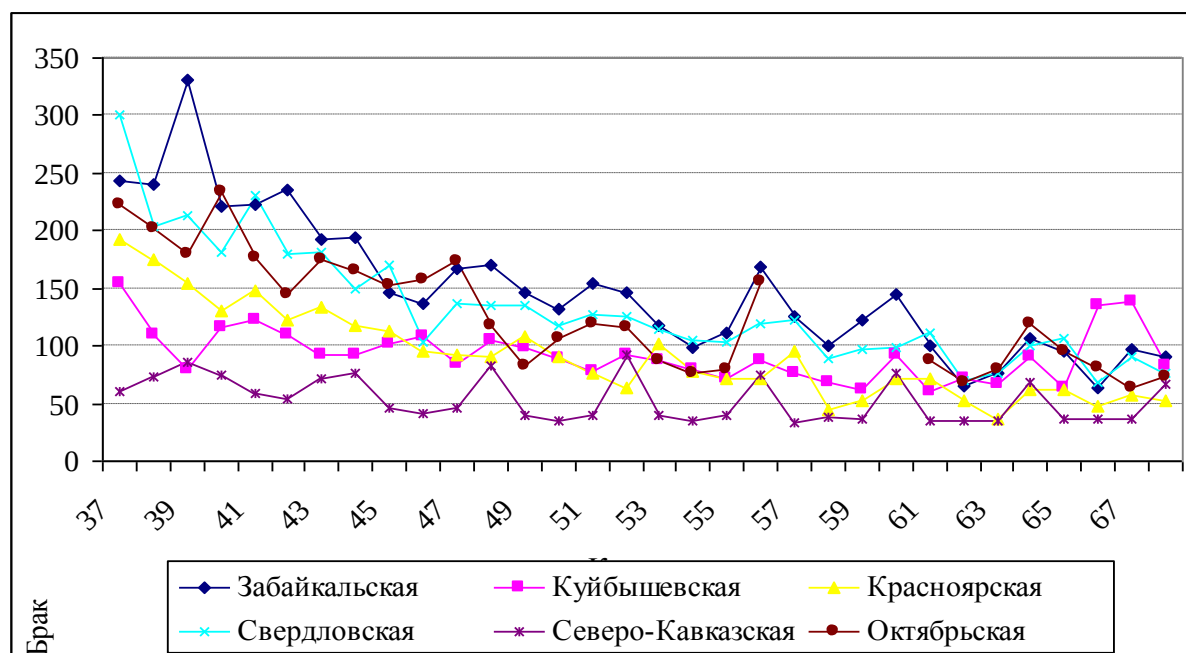


Рис.1 Графики изменения количества браков на разных дорогах

Из анализа графиков следует, что основная тенденция изменения количества браков на разных дорогах сохраняется.

Однако интенсивность изменения для разных дорог различная. Об этом свидетельствует коэффициент регрессии b приведенный в таблице 1, где приведена регрессионная статистика для каждой из шести дорог.

Наиболее сильное изменение характерно для Забайкальской ($b = -5,641$), а менее всего для Северо-Кавказской железной дороги ($b = -0,857$). Из математической статистики известно, что для получения достоверной информации о распределении случайной величины необходимо иметь выборку ее наблюдений достаточного объема. Качество модели в работе оценивалось по коэффициенту детерминации. Из таблицы видно, что линейный тренд свойственен, кроме Октябрьской железной дороги (коэффициент детерминации $R = 0,684$) и Забайкальской ($R = 0,7517$), Красноярской ($R = 0,805$), а также Свердловской ($R = 0,736$) железным дорогам.

Что касается Куйбышевской и Северо-Кавказской железных дорог, то с учетом их коэффициентов детерминации можно утверждать об отсутствии у них линейной зависимости между числом браков и временем. Следует предполагать о существовании у них более существенной сезонной составляющей, что можно усмотреть их анализа графиков изменения количества браков с течением времени.

ТАБЛИЦА 1. Регрессионная статистика

	Наименование железной дороги					
	Забайкальская	Куйбышевская	Красноярская	Свердловская	Северо-Кавказская	Октябрьская
Знач. коэфф. b	-5,641	-0,946	-3,728	-4,764	-0,857	-4,141
Знач. коэфф. a	445,1	142,4	287,5	382,5	98,1	343,5
Среднеквадр. отклонение b	0,5919	0,411	0,335	0,520	0,333	0,514
Среднеквадр. отклонение a	31,5507	21,898	17,873	27,739	17,756	27,373
Коэф. детерминации R	0,7517	0,150	0,805	0,736	0,181	0,684

При рассмотрении второй модели устанавливалась регрессионная зависимость между количеством брака и расходами на перевозки, длиной дороги и объемом грузоперевозок, используя статистические данные шести дорог за 1997 год.

ТАБЛИЦА 2. Исходные данные

	Наименование дороги	Управление в городе	Случаев брака	Расходы на перевозки, млрд. руб.	Длина дороги, км	Грузооборот, млн. ткм
1.	Октябрьская	Санкт-Петербург	649	9280	10147	90467
2.	Московская	Москва	739	9172	9177	70730
3.	Северо-Кавказская	Ростов-на-Дону	261	4690	6499	35852
4.	Куйбышевская	Самара	416	4742	4846	75760
5.	Забайкальская	Чита	864	5131	3407	78769
6.	Красноярская	Красноярск	521	2994	3161	46320

С помощью метода наименьших квадратов установлены функции регрессии. Регрессионные оценки для самой сильной связи между количеством брака и грузооборотом приведены в таблице 3. Из таблицы следует, что коэффициент детерминации составляет величину равную 0,548778.

ТАБЛИЦА 3. Регрессионные оценки

Значение коэффициента b	Значение коэффициента a
0,00633	122,1502516
Среднеквадратическое отклонение b	Среднеквадратическое отклонение a
0,00287	215,354209
Коэффициент детерминации	Среднеквадратическое отклонение y
0,548778	162,6502947
F -статистика	Число степеней свободы
4,864825	4

Другими словами количество брака на 55% объясняется величиной грузооборота. В зависимости количества брака и расходами на перевозки коэффициент детерминации составил 0,17. Практически отсутствует связь между числом брака и длиной дороги.

3. Заключение

Что касается выводов относительно поставленной в работе задачи, а именно, связанной с анализом безопасности перевозочных процессов по числу браков в период с 1996 по 2003 годы, то они носят противоречивый характер. Казалось бы, следует считать неоспоримым фактом, что число браков по статистическим данным в последнее десятилетие уменьшалось. Следовательно, по изменению этого показателя надо полагать, что повысилась и безопасность. Однако если учесть, что одновременно уменьшился за это время и объем грузовых перевозок, то данный вывод следует считать преждевременным. Как показано в приведенном примере, между объемом перевозок и количеством брака существует сильная зависимость. Таким образом, анализ безопасности на основе графических или аналитических зависимостей числа браков в работе подразделений железной дороги только как функции времени ее работы, может привести к ошибочному выводу. Для его устранения необходимо перейти к более глубоким исследованиям, которые учитывали бы изменение во времени факторов, влияющих на брак. Приведенные, только некоторые факторы, определяющие безопасность перевозок, показывают, что проблема разработки теоретических и методических вопросов оценки

эффективности по статистическим данным должна быть включена в число актуальнейших.

4. Литература

- Ковалев В.И. Организация вагонопотоков на сети железных дорог России. – СПб: Информационный центр “Выбор”, 2002. – 144с.
- Кузнецов А.П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах. – ВИНТИ РАН, 2002. – 276с.

УДК 656.2

НЕКОТОРЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

О.Б. Маликов, Г.И. Никифорова

Аннотация

Российские транспортные, экспедиторские, логистические компании еще занимают очень незначительную долю в общемировом объеме контейнерных перевозок, однако, насколько можно судить, эта доля в ближайшие годы может постепенно увеличиваться – особенно после вступления России во Всемирную Торговую Организацию, которое может произойти в 2004 г. Характерными тенденциями морских контейнерных перевозок в мире являются следующие: увеличение объемов контейнерных перевозок; повышение стоимости перевозки контейнеров; развитие контейнерного флота и числа судоходных линий; увеличение вместимости судов-контейнеровозов и проч.

Ключевые слова: логистика, контейнер, перевозки, показатели

Введение

Многие отечественные транспортно-экспедиторские компании уже сейчас сотрудничают с крупными зарубежными компаниями, работающими в этой области и даже имеющими долю собственности в Российских компаниях этого профиля (например, Eurogate, Evergreen, Maersk и другие).

Поэтому для Российских транспортно-экспедиторских компаний, которые планируют выход в том или ином виде на мировые рынки контейнерных перевозок, очень важно знать ситуацию и тенденции развития контейнерных перевозок во всем мире, а не только

непосредственно связанных с Российскими внешнеторговыми грузопотоками.

1. Тенденции морских контейнерных перевозок

Характерными тенденциями морских контейнерных перевозок в мире являются следующие:

- увеличение объемов контейнерных перевозок на 5 – 7% в год, а на некоторых направлениях – до 15 – 20% в год и более;
- повышение стоимости перевозки контейнеров;
- развитие контейнерного флота и числа судоходных линий;
- увеличение вместимости судов-контейнеровозов до 8000 ДФЭ (ДФЭ – двадцатифутовый эквивалент);
- увеличение доли мест для рефрижераторных контейнеров на судах до 10 – 15%;
- развитие глубоководных портов (до глубины 15-17 м) и длины причалов до 1,5 – 2 км;
- совершенствование и расширение контейнерных терминалов, улучшение их технического оснащения, значительные капиталовложения в контейнерные терминалы;
- автоматизация не только управления контейнерными терминалами, но также и работы подъемно-транспортного оборудования на терминалах (применение транспортных роботов на операциях доставки контейнеров с причалов до зоны хранения, автоматизация причальных мостовых перегружателей, автопогрузчиков и порталных мостовых кранов на пневмоходу);
- опережающее развитие припортовых инфраструктур железнодорожного и внутреннего водного транспорта (по сравнению с автомобильным транспортом);
- повышение требований к защите окружающей среды при расширении и развитии существующих и строительстве новых контейнерных терминалов (в частности – законодательное ограничение очередей и времени пребывания большегрузных автомобилей на терминалах) и т.д.

Эти и другие особенности современного периода развития контейнерных перевозок в мире далее будут пояснены и подтверждены дополнительной информацией и численными примерами.

Суммарная вместимость контейнерного флота в мире в ноябре 2003 г. составляла 6,4 млн. ДФЭ, что на 9% больше по сравнению с 2002 г. Количество судов вместимостью 5000 ДФЭ и более возросло в 2003 г. на 18,5%, в то время как число судов вместимостью до 2000 ДФЭ, которые обычно используются на коротких морских перевозках (так называемых

«фидерных» перевозках) увеличилось примерно на 3%. Число судоходных линий также увеличилось.

Число заказов на постройку судов-контейнеровозов на 2004 г. увеличилось на 6% по сравнению с 2003 г., а на 2005 г. – на 44% и их суммарная емкость достигла 755 тыс. ДФЭ. Общая вместимость судов, заказанных на 2006 г. составляет 780 тыс. ДФЭ. Увеличивается количество заказов на постройку судов-контейнеровозов.

В течение одного октября 2003 г. были построены 12 судов вместимостью от 500 до 6200 ДФЭ (дедвейтом соответственно от 5500 до 80000 т) общей вместимостью 22100 ДФЭ и были оформлены заказы на постройку еще 74 судов-контейнеровозов вместимостью от 500 до 9500 ДФЭ со сроками окончания постройки 2005-2007 гг. Скорости судов составляют 19...25 узлов. В судах предусматривается от 8 до 20% мест для рефрижераторных контейнеров.

В настоящее время достраиваются 214 крупных судов-контейнеровозов (так называемых «пост-панамаксов») вместимостью от 5000 до 8000 ДФЭ. Общая вместимость этих судов составляет 1454 тыс. ДФЭ. Сроки окончания постройки – 2004-2007 гг. По прогнозам до 2009 г. ежегодное увеличение контейнерного флота составит 7 – 8%.

2. Характеристики современного флота судов-контейнеровозов

Средняя стоимость судна-контейнеровоза колеблется в широких пределах от 12 – 15 тыс. долл. до 30 – 40 тыс. долл. на 1 ДФЭ вместимости.

В настоящее время большинство флота составляют сравнительно небольшие суда емкостью до 1500 ДФЭ, используемые, в основном для коротких морских («фидерных») перевозок. Всего их насчитывается в мире около 4550 судов, имеющих общую вместимость 860 тыс. ДФЭ (в том числе 2650 судов емкостью до 500 ДФЭ, 1170 судов емкостью 500 – 1000 ДФЭ и 730 судов емкостью 1000 – 1500 ДФЭ). Поскольку в настоящее время строятся, в основном, крупные суда, возможен недостаток фидерных судов, и стоимость этих перевозок может возрасти.

На март 2004 г. мировой контейнерный флот включал 3167 судов общей вместимостью 6544 тыс. ДФЭ (т.е. в среднем 2000 ДФЭ на 1 судно), в том числе: вместимостью до 500 ДФЭ – 416 судов (13,1%), вместимостью 500-1000 ДФЭ – 575 судов (18,1%), вместимостью 1000-2000 ДФЭ – 915 судов (29%), вместимостью 2000-3000 ДФЭ – 508 судов (16%), вместимостью 3000-4000 ДФЭ – 273 судна (8,6%), вместимостью 4000-5000 ДФЭ – 7,2%), вместимостью 5000-6000 ДФЭ – 142 судна (4,5%), вместимостью более 6000 ДФЭ – 110 судов (3,5%).

Со сроком окончания постройки в 2004 г. заказано 206 судов, в том числе вместимостью 500-3000 ДФЭ – 111 судов (54%) и вместимостью более 4000 ДФЭ – 82 судна (40%).

С окончанием постройки в 2005 г. заказано 236 судов, в том числе вместимостью 500-3000 ДФЭ – 117 судов (50%) и вместимостью более 4000 ДФЭ – 113 судов (48%).

Дедвейт судов колеблется от 12 регистровских тонн в расчете на 1 перевозимый контейнер (ДФЭ) до 15 тонн.

Таким образом, имеется явная тенденция постройки средних и крупных судов-контейнеровозов.

3. Экономические показатели контейнерных перевозок

За рубежом принято деловую активность в области контейнерных перевозок оценивать индексом Хау-Робинсон (Howe-Robinson), который представляет собой среднюю стоимость сделок по контейнерным перевозкам за сутки. В январе 2004 г. по разным категориям судов он вырос на 5 – 9%.

Стоимость фрахта судна для контейнерных перевозок за сутки колеблется в широких пределах от 12-15 до 24-35 тыс. долл./судо-сутки.

Стоимость фрахтовки судов росла в течение 2003 г., но к концу года стабилизировалась и индекс фрахта Хау-Робинсон на судно емкостью 3500 ДФЭ составил 27,5 тыс. долл./сутки для обычного контракта на 12 месяцев (вырос за год на 7,2%). Ставка чартера на судно емкостью 2000 ДФЭ составляет 24 тыс. долл./сутки. В зимний период объемы перевозок снижаются, и поэтому ставки стабилизируются.

Стоимость контейнерных перевозок к концу 2003 г. значительно увеличилась на трех основных направлениях перевозок: Азия-Западное Побережье США (Азия – ЗП США); Азия – Европа; Европа-Восточное Побережье США (Европа – ВП США).

Эта стоимость в расчете на перевозку 1 ДФЭ составила в конце 2003 г.:

- Азия-ЗП США – 1995 долл./конт. (выросла на 16%);
- ЗП США – Азия – 871 долл./конт. (выросла на 1%);
- Европа – Азия – 795 долл./конт. (выросла на 4%);
- Азия – Европа – 1672 долл./конт. (выросла на 6%);
- ВП США – Европа – 911 долл. (снизилась на 1%);
- Европа – ВП США – 1444 долл./конт. (выросла на 3%).

5. Развитие контейнерных терминалов Польши и стран Балтии

Контейнеропотоки Гамбург-Россия и обратно составляют 125 тыс. ДФЭ в год. Для их лучшей организации намечаются мультимодальные перевозки: блок-трейнами Гамбург-порт Любек (10 – 12 рейсов в сутки), затем по морю порт Любек – порт Петербург.

Для Российских транспортно-экспедиторских компаний кроме Скандинавских портов представляет интерес информация о контейнерных терминалах в Польских и Прибалтийских портах.

Большое развитие намечается в Польском порту Гданьск, которое финансируется Консорциумом крупных Европейских инвесторов на основе договора о 60-летней концессии территории порта. Здесь будет построено два причала длиной по 300 м с глубиной 16м. Реконструкция порта предусматривает возможность приема судов емкостью до 6000 ДФЭ и увеличение перерабатывающей способности терминала до 500 тыс. ДФЭ в год (в настоящее время здесь перерабатывается около 80 тыс. ДФЭ). Кроме этого, намечается строительство устройств для разгрузки судов типа Ро-Ро с перерабатывающей способностью 160 тыс. ДФЭ в год. Управление терминалом Гданьск будет полностью автоматизировано.

Конкурентом порта Гданьск по-видимому будет соседний контейнерный терминал в порту Гдыня, интерес к финансированию реконструкции которого проявила Международная компания контейнерных Терминалов (МККТ), базирующаяся на Филиппинах и заключившая договор на 20-летнюю концессию терминала Гдыня. Этот терминал в 2002 г. уже переработал 250 тыс. ДФЭ, а после реконструкции его объем переработки контейнеров составит сначала 350 тыс. ДФЭ, а к 2007 г. – до 900 тыс. ДФЭ в год.

Порты Прибалтийских государств становятся конкурентами. Они вкладывают значительные средства в реконструкцию (с использованием зарубежных инвестиций) и стараются повысить уровень сервиса для привлечения грузопотоков. Однако, большую часть их грузопотоков составляют массовые жидкие и сыпучие грузы. По контейнерным грузопотокам представляет интерес организация движения кольцевых железнодорожных маршрутов (блок-трейнов) по маршруту Клайпеда-Одесса, что позволяет соединить грузопотоки по Балтийскому и Черному морям.

6. Заключение

Обзор и анализ контейнерных перевозок в мире показывает, что это наиболее динамично развивающаяся область грузовых перевозок, перспективное направление вложения капиталов и выгодное развитие бизнеса.

Контейнерные потоки, перемещаемые морским транспортом, в конечном итоге приходят через морские грузовые терминалы, в том числе – через Российские порты, на сухопутный транспорт – железнодорожный и автомобильный. Перевозки контейнеров по Балтийскому морю за последние годы увеличиваются ежегодно на 20 – 30%. К сожалению, часть контейнеропотоков идет в Россию через Финские и Прибалтийские порты, а не через порт Санкт-Петербург. Анализ причин этого может быть предметом отдельной статьи. Во всяком случае железнодорожный транспорт должен быть готов к поступлению значительно увеличивающихся контейнерных потоков в ближайшие 3 – 4 года – как

через Порт Санкт-Петербург (Первый Контейнерный Терминал и Петролеспорт), так и через другие порты и причалы – Усть-Луга, Ломоносов, Кронштадт, Северная Верфь, Кировский завод и т.д.

7. Литература

Журналы за 2003 – 2004 года

- «Containerization International»
- «World Cargo News»
- «International Freightin Weekly»
- «Cargo Systems»

Подвижной состав

УДК 629.423:621.3.025

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАТИВНО-РЕОСТАТНОГО ТОРМОЗА ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Л.Н. Павлов, В.О. Иващенко, А.Я. Якушев, М.Ю. Изварин,
Е.В. Ткаченко, А.А. Богдан

Аннотация

Приведена информация о недостатках существующей системы рекуперативного торможения грузовых электровозов постоянного тока. Сформулированы требования к системе рекуперативно-реостатного тормоза. Приведена структурная схема системы рекуперативно-реостатного тормоза, разработанная авторами на основе проведенных исследований.

Ключевые слова: электровозы постоянного тока; рекуперативное торможение; реостатное торможение; микропроцессорная система управления; полупроводниковый преобразователь; IGBT транзисторы

Введение

Замещение рекуперативного торможения реостатным при отсутствии потребителя на отечественных грузовых электровозах не предусмотрено. Данная работа направлена на повышение эффективности системы электродинамического тормоза путем автоматического перехода из рекуперативного торможения в реостатное.

1. Системы рекуперативного торможения электровозов постоянного тока

В настоящее время на отечественных железных дорогах эксплуатируются следующие серии грузовых электровозов постоянного тока: ВЛ10, ВЛ10У, ВЛ11, ВЛ11М, ВЛ15. Все эти электровозы оборудованы системой рекуперативного торможения, структура которой однотипна для всех перечисленных серий: обмотки возбуждения тяговых электродвигателей соединены попарно и питаются от вращающегося преобразователя 3000/38 В; якоря тяговых электродвигателей могут соединяться в три группировки – параллельное (П), последовательно-параллельное (СП) и последовательное (С).

На электровозах ВЛ15 сделана попытка применить статический возбудитель, состоящий из однофазного инвертора и несимметричных управляемых выпрямителей, которые питают по две обмотки возбуждения,

соединенные последовательно. Статическим возбудителем оборудовались электровозы с бортовыми номерами до № 37 включительно. Однако, из-за несовершенства элементной базы полупроводниковых приборов, на которой выполнен возбудитель, в настоящее время нет ни одного такого электровоза с работающей системой. При заводском ремонте электровозов статические возбудители заменяются вращающимися.

На электровозах ВЛ10У, ВЛ11М и ВЛ15 применена система автоматической стабилизации тормозного тока или скорости торможения САУРТ-034 посредством изменения тока возбуждения возбудителя.

На электровозах ВЛ10, не оборудованных блоками САУРТ, в качестве защиты от бросков тормозного тока при провале напряжения в контактной сети используется система противовозбуждения возбудителя.

К недостаткам существующей системы рекуперативного торможения электровозов постоянного тока следует отнести:

1. Проблему выравнивания тормозного тока по параллельным ветвям.
2. Отсутствие надежной защиты силовой цепи от перенапряжений при потере потребителя.
3. Низкое быстродействие системы вследствие большой инерционности цепей возбуждения при питании от вращающегося преобразователя.
4. Отсутствие системы автоматического регулирования тормозной силы во всем диапазоне изменения скорости торможения.
5. Отсутствие на электровозах ВЛ10 системы ликвидации юза посредством снижения тормозной силы.

2. Требования к системе электрического торможения в условиях ограниченного приема рекуперированной электроэнергии

Устойчивая рекуперация возможна при наличии потребителя рекуперированной электроэнергии. Тяговые подстанции участков, электрифицированных на постоянном токе, в большинстве случаев не оборудованы инверторами, что делает невозможным возврат избытка энергии рекуперации во внешнюю энергосистему. Дооборудование тяговых подстанций инверторами требует значительных капитальных затрат.

Для введения в эксплуатацию эффективной системы электрического торможения грузовых электровозов постоянного тока необходимо, чтобы она соответствовала следующим требованиям:

1. Обеспечение высокого быстродействия, необходимого для защиты силовой цепи от перенапряжений при потере потребителя и возникновении юза.
2. Наличие функции снижения тормозной силы отдельных тяговых электродвигателей при возникновении юза колесных пар для исключения их повреждения.

3. Наличие функции выравнивания тормозных токов по параллельным ветвям.

4. Обеспечение плавного входа в режим рекуперативного торможения.

5. Наличие замещающего реостатного тормоза, который может использоваться в случае срыва рекуперативного торможения из-за отсутствия потребителя.

6. Наличие функции автоматического регулирования тормозной силы в следующих режимах:

- реализации максимально допустимой тормозной силы по мощности тяговых электродвигателей и условиям сцепления колес с рельсами при остановочном торможении;

- поддержания заданной величины скорости движения на затяжном спуске;

- поддержания заданной величины тормозной силы в режимах торможения до остановки и ограничения скорости.

7. Наличие функции автоматического перехода на пневматическое торможение при исчерпании эффективности электрического тормоза.

3. Система рекуперативно-реостатного тормоза грузовых электровозов постоянного тока

Разработанная в ПГУПС система рекуперативно-реостатного торможения имеет статический возбудитель, построенный по схеме инвертор–трансформатор–управляемые выпрямители возбуждения и микропроцессорную систему управления (МПСУ). Для обеспечения надежности работы статического возбудителя, обеспечения минимума потерь электроэнергии в процессе преобразования инвертор целесообразно построить на современной элементной базе – IGBT транзисторах высокого класса. Для снижения стоимости силового блока управляемые выпрямители выполняются на однооперационных тиристорах.

Вследствие того, что разрабатываемую систему предполагается устанавливать на существующие электровозы, для управления режимом торможения целесообразно использовать штатный контроллер машиниста.

На рис.1 приведена функциональная схема предлагаемой системы рекуперативно-реостатного торможения для одной секции электровоза ВЛ10 или ВЛ11. Оборудование системы, устанавливаемое на второй секции идентично.

Система рекуперативно-реостатного торможения включает:

- якоря тяговых электродвигателей Я1...Я4. Тяговые электродвигатели в режиме электрического торможения работают как генераторы постоянного тока независимого возбуждения. Схема допускает реализацию следующих группировок якорей двух секций электровоза (П, СП и С) посредством группового переключателя ГП;

– обмотки возбуждения тяговых электродвигателей $ОВ1...ОВ4$. Обмотки возбуждения попарно подключаются к управляемым выпрямителям блока питания цепей возбуждения (БПЦВ) посредством тормозного переключателя ТП. При параллельной группировке ТЭД МПСУ обеспечивает выравнивание тормозных токов по параллельным ветвям. При последовательно-параллельной и последовательной группировке ТЭД – выравнивание токов возбуждения ТЭД;

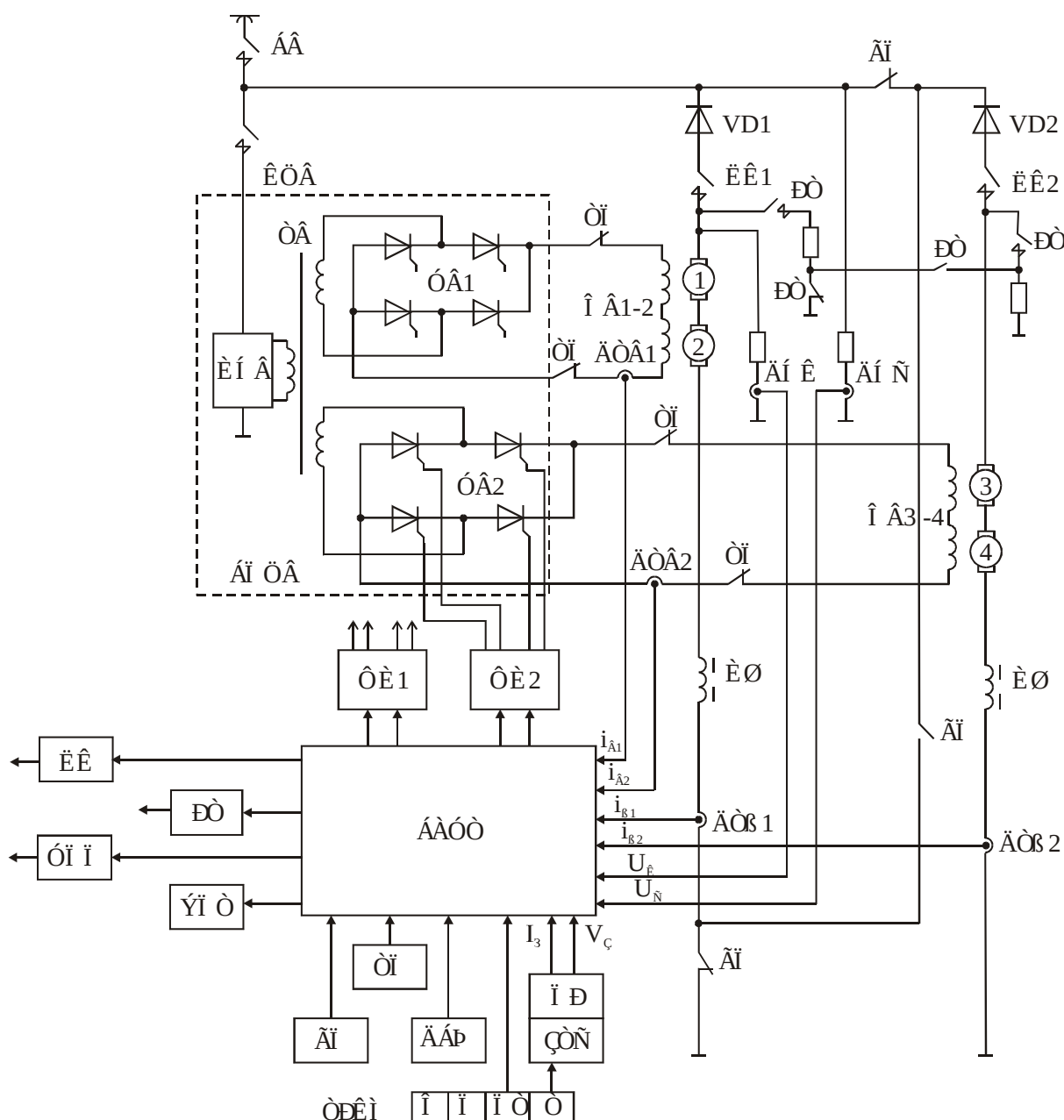


Рис.1. Функциональная схема системы рекуперативно-реостатного торможения

– блок питания цепей возбуждения обеспечивает питание обмоток возбуждения ТЭД в режиме электрического торможения и включает инвертор ИНВ, понижающий трансформатор ТВ и два управляемых выпрямителя возбуждения УВ1 и УВ2. Управляемые выпрямители возбуждения не должны содержать обратных диодов, замыкающих контур токов возбуждения при запертых тиристорах, так как это увеличивает инерционность контура возбуждения;

– датчики токов якорей ДТЯ1 и ДТЯ2, токов возбуждения ДТВ1 и ДТВ2. Формируют сигналы пропорциональные токам якорей и возбуждения ТЭД для МПСУ. Датчики токов необходимо установить в каждой ветви ТЭД для обеспечения алгоритма выравнивания токов якорей и возбуждения;

– датчики напряжения контактной сети ДНС и напряжения коллекторов ТЭД ДНК. По сигналам этих датчиков МПСУ формирует команду на замыкание контакторов ЛК для перехода в режим рекуперации или команду на замыкание контакторов РК для перехода в режим реостатного торможения;

– индуктивные шунты ИШ1 и ИШ2 обеспечивают ограничение скорости нарастания тормозного тока;

– контактор цепи возбуждения КЦВ обеспечивает подключение БПЦВ к контактной сети в режиме электрического торможения;

– диоды рекуперации VD1 и VD2 исключают моторный режим после сборки схемы силовых цепей в режим рекуперации;

– блок автоматического управления торможением БАУТ. Представляет собой микропроцессорную систему управления. Входными сигналами являются сигналы о заданном режиме торможения от тормозной рукоятки контроллера машиниста ТРКМ (I_z и V_z); сигналы о сборке силовой схемы и группировке якорей ТЭД (ГП и ТП); сигнал о наличии юза от датчика боксования-юза ДБЮ; сигналы о величине токов якорей $i_{я1}$, $i_{я2}$, возбуждения $i_{б1}$, $i_{б2}$; сигналы о величине напряжения контактной сети U_c и напряжении на коллекторах ТЭД U_k . Выходными сигналами являются сигналы на сбор схемы рекуперации (ЛК) или реостатного торможения (РТ); сигнал на включение пневматического тормоза (ЭПТ); сигнал на включение устройства подачи песка в случае возникновения юза колесных пар (УПП); сигналы управления тиристорными выпрямителями УВ1, УВ2.

4. Заключение

Предлагаемая система рекуперативно-реостатного тормоза реализует два режима торможения: стабилизацию тормозного тока (режим постоянства тормозной силы) и стабилизацию скорости движения. Процесс входа в режим рекуперации осуществляется при плавном

нарастании тормозного тока до заданной величины за 3...5 с. Восстановление сцепления в случае возникновения юза колесных пар осуществляется двухступенчатым снижением уставки тормозного тока за счет оперативного уменьшения тока возбуждения и подачи песка при продолжительном юзе.

Максимальное напряжение на коллекторах ТЭД программно ограничивается в зависимости от скорости движения по потенциальным условиям на коллекторе. В случае повышения суммарного напряжения на коллекторах до величины 3800 В БАУТ формирует сигнал перехода на реостатное торможение.

При отказе блока питания цепей возбуждения или снижении тормозного тока до величины 50...70 А происходит автоматическое отключение линейных контакторов ЛК и включение вентилей электропневматического торможения.

УДК 629.423:621.3.025

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОПОЕЗДА С ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А.С. Корнев, А.Я. Якушев, В.О. Иващенко, Б.Ю. Левитский, О.К. Чандер

Аннотация

Приведена информация о новых электропоездах постоянного и переменного тока с улучшенными энергетическими характеристиками, выпускаемых Демиховским машиностроительным заводом и комплектуемых электрооборудованием, производимым ОАО "Силовые машины" "Электросила", а так же о новых электропоездах, выпускаемых ЗАО "Спецремонт".

Ключевые слова: постоянный ток; переменный ток; рекуперация; бесконтактное регулирование; тягово-энергетические характеристики

Введение

В настоящее время МПС РФ располагает парком пригородных электропоездов более 15 тыс. вагонов. Из них треть подлежит списанию по истечению срока службы, в том числе около 40% поездов постоянного тока и более 50% переменного.

В рамках "Государственной Программы развития и повышения качества пригородных пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте", были приняты меры по организации и наращиванию

предприятиями России выпуска вагонов электропоездов и комплектного электрооборудования к ним.

1. Электропоезда постоянного тока

ОАО "Силовые машины" "Электросила" производит выпуск электрооборудования для электропоездов с 1997 года. Отвечая современным тенденциям внедрения на железнодорожном транспорте новых энергосберегающих технологий, совместно с кафедрой "Электрическая тяга" Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) и ОАО "Электросила" разработан и освоен выпуск комплекта электрооборудования для нового электропоезда постоянного тока ЭД4Э с тяговыми электродвигателями ТЭД4-У1 с номинальным напряжением 1500В. Схема силовых цепей реализует реостатный пуск с двумя группировками тяговых двигателей и рекуперативно-реостатное электрическое торможение с независимым возбуждением тяговых электродвигателей во всем диапазоне изменения скорости торможения.

В конце 2002 года на экспериментальном кольце ВНИИЖТа успешно проведены тягово-энергетические испытания опытной электросекции ЭД4Э, изготовленной на Демиховском машиностроительном заводе (ДМЗ), с новым комплектом электрооборудования. В настоящее время десятивагонный электропоезд ЭД4Э принят МПС и находится в опытной эксплуатации. В 2004 году ДМЗ запланирован выпуск еще двух электропоездов ЭД4Э.

Электропоезд реализует пусковое ускорение $0,7 \text{ м/с}^2$, тормозное замедление при электрическом рекуперативно-реостатном торможении $0,6 \text{ м/с}^2$, обладает улучшенными по сравнению с электропоездами ЭТ2 и ЭД4М энергетическими характеристиками за счет двухступенчатого пуска и двухступенчатого электрического рекуперативно-реостатного торможения до минимальной скорости 5-7 км/ч.

2. Электропоезда переменного тока

В 2002-2003 годах ОАО "Электросила" в научно-техническом содружестве с кафедрой "Электрическая тяга" ПГУПС разработана схемно-техническая документация и изготовлен комплект электрооборудования для опытной электросекции нового электропоезда переменного тока напряжением 25 кВ ЭД9Э с улучшенными энергетическими характеристиками.

Основу электрооборудования перспективного электропоезда составляет производимый ОАО "Электросила" комплект электрооборудования для серийных электропоездов переменного тока ЭД9Т, выпускаемых Демиховским машиностроительным заводом.

На создаваемом новом электропоезде произведена замена контакторных пуско-тормозных аппаратов четырехзонным выпрямительно-инверторным преобразователем, обеспечивающим бесконтактное плавное регулирование напряжения тяговых электродвигателей в режимах тяги и электрического рекуперативного торможения.

Разработана система автоматического управления тяговыми и тормозными режимами с гибкой логикой на основе микропроцессорного контроллера. Система автоматического управления обеспечивает плавное нарастание токов тяговых электродвигателей при пуске электропоезда в начале движения, при повторных включениях силовой цепи, при входах в режим рекуперативного торможения, стабилизацию пусковых и тормозных токов, ликвидацию режимов боксования-юза колесно-моторных блоков, локализацию переходных процессов в силовых цепях при нарушении контакта токоприемника и контактного провода.

Компоновка схемы силовой цепи и принципы регулирования тягового электропривода на создаваемом новом электропоезде сохранены неизменными, что обеспечивает в перспективе модернизацию ранее выпущенных электропоездов серий ЭР9М, ЭР9Т, ЭД9Т доукомплектованием выпрямительно-инверторными преобразователями и микропроцессорными контроллерами.

Плавное регулирование тяговых электродвигателей в сочетании с микропроцессорным управлением позволяет повысить токовые уставки пусковых и тормозных режимов и, следовательно, улучшить технические характеристики создаваемого электропоезда по сравнению серийным ЭД9Т. Электрическое рекуперативное торможение обеспечивает возврат части электроэнергии, расходуемой при пуске, дополнительно улучшая энергетические характеристики электропоезда.

Расчетное пусковое ускорение электропоезда до скорости 60 км/ч составляет $0,7 \text{ м/с}^2$, расчетное тормозное замедление со скорости 80 км/ч составляет $0,73 \text{ м/с}^2$. Расчетный возврат электроэнергии рекуперативного торможения при движении на перегоне длиной 3,5 км при технической скорости 70 км/ч составляет до 25% от энергии, расходуемой на тягу.

В 2003 году в ОАО "Электросила" проведены стендовые испытания выпрямительно-инверторного преобразователя с нагрузкой на четверть мощности в тяговом и тормозном режимах электропривода с замкнутой микропроцессорной системой управления. Выпуск и испытание опытной электросекции намечен на четвертый квартал 2004 года.

3. Модернизация существующих электропоездов

В 2001-2002 годах акционерным обществом "Спецремонт" г. Москва в содружестве с кафедрой "Электрическая тяга" ПГУПС на базе электропоезда ЭР2 разработана схемно-конструкторская документация и

выпущен опытный электропоезд ЭМ2И с рабочим напряжением 3 кВ постоянного тока с импульсным регулированием напряжения на тяговых электродвигателях, электрическим реостатным торможением и микропроцессорным управлением тяговыми и тормозными режимами. Электропоезд успешно прошел тягово-энергетические испытания и в настоящее время находится в опытной эксплуатации.

Силовая схема моторного вагона включает в себя входной LC фильтр, две группы тяговых электродвигателей последовательного возбуждения, тиристорные ключи, сглаживающие реакторы, тормозные резисторы, диодные группы и коммутационную аппаратуру для переключения режимов работы. Схема обеспечивает плавное изменение уровня напряжения на электродвигателях в режимах тяги и реостатного торможения посредством регулирования относительной продолжительности замыкания тиристорных ключей при постоянной частоте их переключения. Ослабление возбуждения в режимах тяги и реостатного торможения осуществляется тиристорными импульсными регуляторами.

В качестве тиристорных ключей использованы новые полупроводниковые приборы с низкой индуктивностью и интегрированным блоком управления (Integrated Gate Commutated Thyristor (IGCT)). За счет новых функциональных возможностей тиристор при запираании переходит из $p-n-p-n$ состояния в $p-n-p$ за 1 мкс. По сравнению с IGBT транзистором прибор IGCT имеет меньшие потери, поскольку во включенном состоянии работает в режиме тиристора. Низкие уровни статических и динамических потерь, способность работать без снаббера позволили эффективно использовать IGCT для тягового электропривода с частотой переключения 1000 Гц.

Обеспечение удовлетворительных коммутационных условий в режимах электрического реостатного торможения при полном и ослабленном возбуждении реализуется программно за счет ограничения величины коэффициентов скважности тиристорных ключей.

4. Перспективный электропоезд двойного питания

В настоящее время научными сотрудниками НИЛ кафедры “Электрическая тяга” ПГУПС выполняется разработка схемно-технической документации для нового двухсистемного электропоезда с рабочим напряжением 3 кВ постоянного тока и 25 кВ переменного тока.

Для обеспечения режимов пуска и электрического реостатного торможения при последовательном возбуждении ТЭД разработана схема плавного регулирования пяти ступеней пуско-тормозных резисторов посредством универсального замещающего импульсного транзисторного ключа, состоящего из IGBT модулей. Переключение резисторных ступеней осуществляется бесконтактным тиристорным контроллером.

Для расширения диапазона регулирования скорости движения предусмотрено плавное ослабление возбуждения ТЭД в тяговых и тормозных режимах посредством импульсного шунтирования обмоток возбуждения универсальным силовым транзисторным ключом. Переключение силовых цепей в режим ослабления возбуждения осуществляется с помощью двух индивидуальных силовых контакторов. Переход из режима тяги в режим электрического реостатного торможения производится путем реверсирования обмоток якорей ТЭД тормозным двухпозиционным переключателем.

Для обеспечения автоматического пуска и электрического торможения со стабилизацией токов тяговых электродвигателей запланировано применением микропроцессорной системы управления.

5. Заключение

В заключение можно констатировать, что реализация этих проектов и опытная эксплуатация новых электропоездов дали важные научно практические результаты, которые позволяют приступить к серийному выпуску пригородных электропоездов нового поколения.

УДК 629.423.31:621.314.2.6883

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

А.С. Мазнев, А.М. Евстафьев, О.И. Шатнев

Аннотация

Рассмотрены особенности режимов тяги и реостатного торможения тяговых двигателей электрического подвижного состава с тиристорными преобразователями.

Ключевые слова: электроподвижной состав; ослабление возбуждения тяговых двигателей; тиристорный шунт; эксплуатационные характеристики

Введение

В соответствии с комплексной программой «Создания и освоения производства новых локомотивов в 2004-2010 годах» предполагается освоение капитального ремонта подвижного состава с продлением срока полезного использования.

Кафедрой «Электрическая тяга» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) совместно с ОАО «Экспериментальный завод» были разработаны безындуктивные шунты для замены штатных шунтов ИШ-104 при капитальных ремонтах электропоездов ЭР2. В настоящее время предложены схемы безындуктивных шунтов для электропоездов серий ЭР2, ЭР2Т, электровозов серии ВЛ10 с использованием меньшего количества комплектующих изделий, обеспечивающие возможность электрического торможения и снижение потребления электроэнергии.

1. Импульсное регулирование возбуждения

Тиристорный шунт отключает цепи ослабления возбуждения тягового электродвигателя (ТД) при колебаниях напряжения в контактной сети, восстановлении напряжения после отрыва токоприемника, восстановлении сцепления колес с рельсами после разносного боксования, коротких замыканий цепи ТД на «землю», действуя при этом аналогично индуктивному шунту.

Анализ вариантов систем ослабления возбуждения показывает, что для моторного режима целесообразно применять безындуктивный тиристорный шунт, который позволяет улучшить технико-экономические показатели системы регулирования скорости, для режима реостатного торможения – импульсный преобразователь, с помощью которого изменяется коэффициент ослабления возбуждения

$$\beta = \frac{I_B}{I_{\text{я}}} = f(\lambda) \quad (1)$$

где $I_B, I_{\text{я}}, \lambda$ – средние значения токов возбуждения, якоря и коэффициент заполнения.

Принципиальная схема торможения приведена на рис.1.

Для интервала включенного прерывателя (режим 1):

$$L_B \frac{di_{B1}}{dt} + R_B i_{B1} - R_{\text{ш}} i_{\text{ш}1} = 0 \quad (2)$$

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}1}}{dt} + R_{\text{я}} i_{\text{я}1} + R_T i_{T1} = e_1 \quad (3)$$

$$R_{\text{ш}} i_{\text{ш}1} - R_T i_{T1} = 0 \quad (4)$$

$$i_{\text{я}1} = i_{B1} + i_{\text{ш}1} + i_{T1} \quad (5)$$

Для интервала выключенного состояния прерывателя (режим 2):

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}2}}{dt} + (R_{\text{я}} + R_{\text{т}})i_{\text{я}2} = e_2 \quad (6)$$

$$L_{\text{б}} \frac{di_{\text{б}2}}{dt} + R_{\text{б}}i_{\text{б}2} = 0 \quad (7)$$

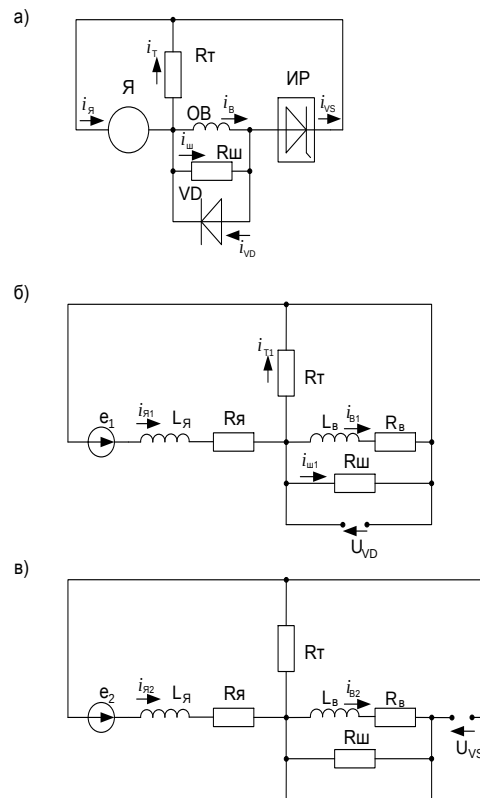


Рис.1. Схемы реостатного торможения.

Из уравнений (2),(4) и (5) получаем:

$$L_{\text{б}} \frac{di_{\text{б}1}}{dt} + (R_{\text{б}} + R_{\text{э}})i_{\text{б}1} - R_{\text{э}}i_{\text{я}1} = 0 \quad (8)$$

$$R_{\text{э}} = \frac{R_{\text{ш}} \cdot R_{\text{т}}}{R_{\text{ш}} + R_{\text{т}}} \quad (9)$$

Из уравнений (3),(4) и (5):

$$L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}1}}{dt} + (R_{\text{я}} + R_{\text{э}})i_{\text{я}1} - R_{\text{э}}i_{\text{б}1} = e_1 \quad (10)$$

Принимая длительности интервалов 1 и 2 в пределах периода T равными λT и $(1-\lambda)T$ интегрируем выражения (6) и (8):

$$\frac{1}{T} \int_0^{(1-\lambda)T} u_{L_{B2}} dt + \frac{R_B}{T} \int_0^{(1-\lambda)T} i_{B2} dt = 0 \quad (11)$$

$$\frac{1}{T} \int_0^{\lambda T} u_{L_{B1}} dt + \frac{R_B + R_{\text{я}}}{T} \int_0^{\lambda T} i_{B1} dt - \frac{R_{\text{я}}}{T} \int_0^{\lambda T} i_{\text{я1}} dt = 0 \quad (12)$$

Средние значения токов и напряжений за интервалы 1 и 2:

$$I_{B1} = \frac{\int_0^{\lambda T} i_{B1} dt}{\lambda T} \quad (13)$$

$$I_{B2} = \frac{\int_0^{(1-\lambda)T} i_{B2} dt}{(1-\lambda)T} \quad (14)$$

$$I_{\text{я1}} = \frac{\int_0^{\lambda T} i_{\text{я1}} dt}{\lambda T} \quad (15)$$

$$I_{\text{я2}} = \frac{\int_0^{(1-\lambda)T} i_{\text{я2}} dt}{(1-\lambda)T} \quad (16)$$

$$L_B \frac{di_{B1}}{dt} = u_{L_{B1}} = \frac{\int_0^{\lambda T} u_{L_{B1}} dt}{\lambda T} \quad (17)$$

$$L_B \frac{di_{B2}}{dt} = u_{L_{B2}} = \frac{\int_0^{(1-\lambda)T} u_{L_{B2}} dt}{(1-\lambda)T} \quad (18)$$

При линейной аппроксимации кривых тока в интервал 1 и 2 периода T можно записать:

$$I_{B1} = I_{B2} = I_B \quad (19)$$

$$I_{\text{я1}} = I_{\text{я2}} = I_{\text{я}} \quad (20)$$

В этом случае

$$u_{L_{B1}} \lambda + u_{L_{B2}} (1-\lambda) = 0 \quad (21)$$

С учетом (19) и (21) уравнений (11) и (12) получим:

$$(R_B + R_{\text{э}})I_B \lambda - R_{\text{э}}I_A \lambda + R_B I_B (1 - \lambda) = 0 \quad (22)$$

Из (22) можно получить зависимость $\beta = f(\lambda)$ для различных значений $R_{\text{ш}}, R_T, R_B$:

$$\beta = \frac{I_B}{I_A} = \frac{R_{\text{э}} \lambda}{R_{\text{э}} \lambda + R_B} \quad (23)$$

Из уравнений (3) и (4) может быть получена характеристика скорости в функции коэффициента заполнения $V = f(\lambda)$ для двух последовательно соединенных двигателей

$$V = \frac{R_A I_A + R_A (I_A - I_B) \lambda + R_T I_A (1 - \lambda)}{2c\Phi} \quad (24)$$

Анализ формулы (23) показывает, что при постоянных значениях сопротивления, шунтирующего обмотку возбуждения, коэффициент ослабления β линейно возрастает при малых $R_{\text{ш}}$ и нелинейно при значительных $R_{\text{ш}}$, причем, в зонах малых коэффициентов заполнения наблюдается резкое увеличение β . Для линейного изменения коэффициента ослабления возбуждения необходимо менять величину сопротивления $R_{\text{ш}}$ по линейному закону, что можно сделать, подключив параллельно шунтирующему резистору управляемый полупроводниковый ключ. Тогда величина шунтирующего резистора будет определяться коэффициентом заполнения импульсного цикла λ' этого регулятора

$$r_{\text{ш}} = R_{\text{ш}}(1 - \lambda') \quad (25)$$

3. Безындуктивная система регулирования возбуждения

В случае использования импульсного преобразователя в режимах пуска тяговых двигателей появляется возможность достаточно просто реализовать режим импульсного рекуперативного торможения, особенностью которого является необходимость выполнения условия

$$\sum E_{\text{вп}} < U_d, \quad (26)$$

где $\sum E_{\text{вп}}$ – ЭДС вращения последовательно включенных тяговых двигателей,

U_d – напряжение источника питания.

При высоких начальных скоростях торможения ЭДС двигателей будет значительно больше напряжения питания, поэтому для реализации

импульсного рекуперативного торможения необходимо либо включать дополнительный резистор в цепь рекуперации, либо использовать ослабление возбуждения. Первый способ снижает эффективность рекуперации, второй усложняет схему в целом. Предложена схема, которая позволяет реализовать коэффициент ослабления возбуждения равный 0,7 и 0,5 в режимах тяги и рекуперативного торможения, изображенная на рис.2.

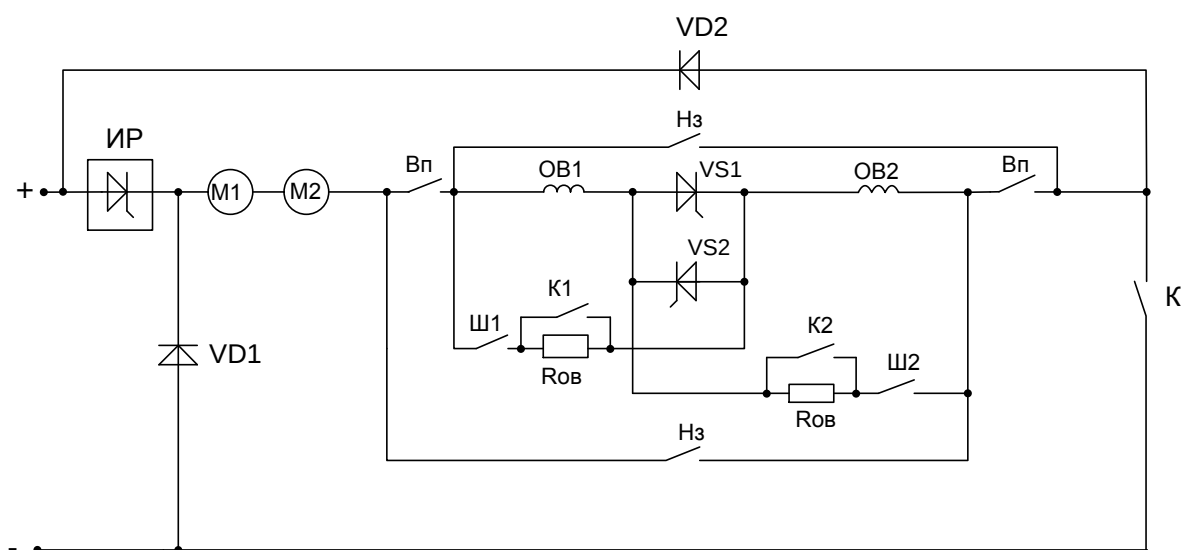


Рис.2.Схема безындуктивного регулирования возбуждения.

В моторном режиме (замкнут К, разомкнуты Ш1 и Ш2) импульсным методом регулируется напряжение на зажимах тяговых двигателей. При включенном прерывателе ток от источника питания протекает по цепи: импульсный регулятор, якорные обмотки, обмотка возбуждения OB1, тиристор VS1 обмотка возбуждения OB2, контактор К. После выхода на автоматическую характеристику двигателей контакторы Ш1 и Ш2 замыкаются, переводя двигатели в режим ослабленного возбуждения.

При импульсной рекуперации контактор К разомкнут, контакторы Ш1 и Ш2 включены, что уменьшает ЭДС вращения двигателей.

4. Заключение

Одним из путей модернизации электропоездов является внедрение полупроводниковой техники в силовые схемы. Это дает возможность исключить индуктивные шунты, повысить надежность и быстродействие системы регулирования, улучшить ее массогабаритные показатели.

УДК 531.2

КИНЕМАТИКА И ДИНАМИКА КАРДАННОЙ ПЕРЕДАЧИ

А.В. Индейкин, В.А. Кручек, В.С. Доев, Ф.А. Доронин,

Аннотация

Рассмотрены кинематика и динамика как жесткой, так и упругой карданной передачи. Получены зависимости угловой скорости и углового ускорения ведомого вала передачи от её угла излома. Исследована зависимость кинематических и динамических характеристик передачи от частоты и амплитуды изменения угла излома. Показано, что существует динамический угол остановки карданной передачи, величина которого зависит от её кинематических и динамических характеристик.

Ключевые слова: карданная передача, угол излома, динамический угол остановки, торсион

Введение

Карданные передачи широко применяются на железнодорожном транспорте, а также в строительных и дорожных машинах. При этом они достаточно часто используются в случаях, когда при эксплуатации машин может изменяться угол излома либо расстояние между осями ведущего и ведомого валов передачи. В подобных условиях кинематические и динамические характеристики трансмиссии существенно зависят от режимов ее движения.

1. Кинематика карданной передачи

1.1. Кинематика шарнира Кардана

Определим кинематические соотношения между углами поворота валов, соединенных шарниром Кардана (рис. 1). Для этого запишем соотношения между координатами точек А и С в подвижной $Ox_1y_1z_1$ и неподвижной $Ox_0y_0z_0$ системах координат (подвижная система осей координат связана с крестовиной шарнира):

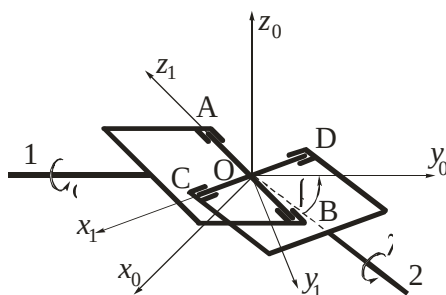


Рис. 1. Схема соединения двух валов шарниром Кардана

$$\mathbf{r}_0^A = \mathbf{H}_y(-\alpha) \cdot \mathbf{r}_1^A; \mathbf{r}_0^C = \mathbf{H}^{-1} \cdot \mathbf{r}_1^C,$$

$$\text{где } \mathbf{r}_0^A = \begin{bmatrix} x_0^A \\ y_0^A \\ z_0^A \end{bmatrix}; \mathbf{r}_1^A = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ R \end{bmatrix}; \mathbf{r}_1^C = \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; R = OA = OC = OB = OD;$$

$$\mathbf{H}^{-1} = \mathbf{H}_x(\beta) \cdot \mathbf{H}_y(-\lambda); \alpha \text{ и } \lambda - \text{углы поворота валов 1 и 2};$$

$$\mathbf{H}_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}; \mathbf{H}_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} - \text{матрицы}$$

поворота вокруг осей x и y ; β – угол излома в шарнире Кардана.

Учитывая условие ортогональности векторов $\overrightarrow{OA}$ и $\overrightarrow{OC}$, получаем соотношение между углами поворота в шарнире Кардана:

$$\cos \lambda \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \lambda = 0. \quad (1)$$

1.2. Кинематика карданного вала

Рассмотрим трансмиссию, состоящую из трех валов (ведущего – 1, промежуточного – 2 и ведомого – 3), соединенных двумя шарнирами Кардана (рис. 2). Введем обозначения: α – угол поворота ведущего вала 1, λ – угол поворота промежуточного вала 2, μ – угол поворота ведомого вала 3.

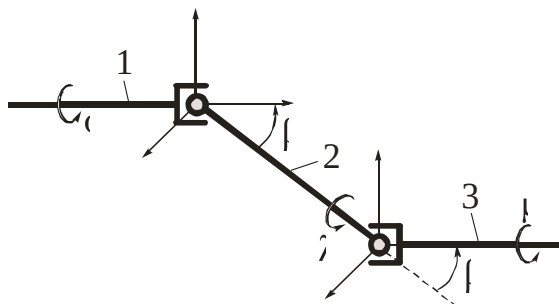


Рис. 2. Схема соединения трех валов шарнирами Кардана

По аналогии с (1) запишем соотношение между углами поворота валов 2 и 3:

$$\cos \mu \cdot \sin \lambda - \cos \lambda \cdot \cos(-\beta) \cdot \sin \mu = 0. \quad (2)$$

Исключив из (1) и (2) угол λ , получаем соотношение между углами поворота ведущего и ведомого валов:

$$\cos \mu \cdot \sin \alpha - \cos \alpha \cdot \cos \beta \cdot \sin \mu = 0. \quad (3)$$

Продифференцировав (3) по времени, после преобразований приходим к выражению для угловой скорости ведомого вала 3:

$$\omega_3 = \dot{\mu} = \frac{\dot{\alpha} \cdot \cos \beta + 0,5 \dot{\beta} \cdot \sin(2\alpha) \cdot \sin(2\beta)}{\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta}. \quad (4)$$

Вычислив производную по времени от (4), находим угловое ускорение ведомого вала. На рис. 3 и 4 показаны графики зависимости углового ускорения ведомого вала от угла поворота ведущего вала при двух значениях угла излома β .

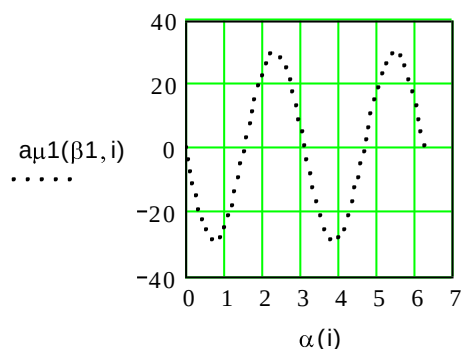


Рис. 3. График зависимости углового ускорения ведущего вала от угла поворота ведущего вала при $\beta = 7^\circ$

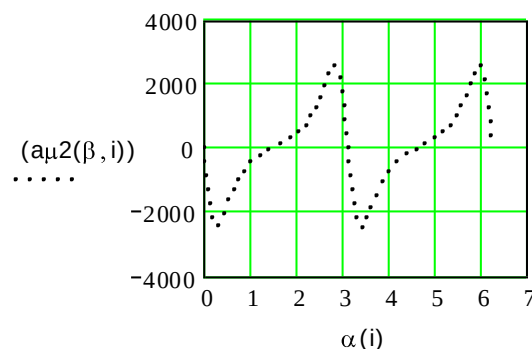


Рис. 4. График зависимости углового ускорения ведущего вала от угла поворота ведущего вала при $\beta = 47^\circ$

Из графиков видно, что возрастание угла излома β в карданной передаче приводит к нелинейному возрастанию углового ускорения ведомого вала и, как следствие, к возрастанию инерционного сопротивления передачи. Можно прогнозировать, что при некотором (пороговом) значении угла излома β инерционное сопротивление станет настолько большим, что это приведет к остановке передачи. Такой угол излома будем называть динамическим углом остановки передачи $\beta_{\text{ож}}$. Этот угол значительно меньше кинематического угла остановки β_k , равного 90° .

Расчеты показывают, что при переменном угле излома передачи, изменяющемся по закону $\beta(t) = \beta_0 + A_\beta \cdot \sin(kt)$, амплитуда углового ускорения ведомого вала существенно зависит от амплитуды A_β и частоты k изменения угла β . На рис. 5 показан график зависимости углового ускорения ведомого вала от угла поворота ведущего вала при $A_\beta = 25^\circ$ и $k = 80\pi \text{ с}^{-1}$.

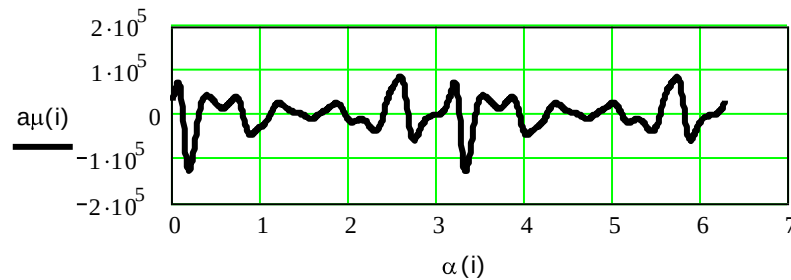


Рис. 7. График зависимости углового ускорения ведущего вала от угла поворота ведущего вала при $A_\beta = 25^\circ$ и $k = 80\pi \text{ с}^{-1}$

2. Динамика карданной передачи

2.1. Динамика карданной передачи без упругих элементов

Рассмотрим движение механической системы, представляющей собой карданную передачу, показанную на рис. 8. К ведущему валу 1 приложен

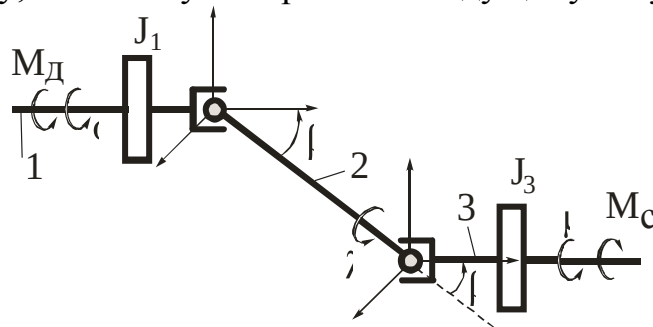


Рис. 8. Схема карданной передачи с инерционными элементами

движущий момент M_d , а к ведомому валу 3 — момент сопротивления M_c .

Дифференциальное уравнение движения системы имеет вид:

$$[J_1 + J_3 \cdot S^2(\beta, \alpha)] \ddot{\alpha} + J_3 \cdot S(\beta, \alpha) \cdot S_1(\beta, \alpha) \cdot \dot{\alpha}^2 = M_d - M_c \cdot S(\beta, \alpha),$$

где $S(\beta, \alpha) = \frac{\cos^2 \beta \cdot (1 + \tan^2 \alpha)}{\cos^4 \beta + \tan^2 \alpha}$; $S_1(\beta, \alpha) = 2 \tan \alpha \cdot (\cos^4 \beta - 1)$.

Результаты интегрирования этого дифференциального уравнения позволяют сделать вывод, что малый угол излома карданного вала β практически не влияет на равномерность передачи вращения жесткой трансмиссии (рис. 9).

При увеличении угла излома карданного вала заметно увеличивается неравномерность вращения и уменьшается среднее значение угловой скорости (рис. 10).

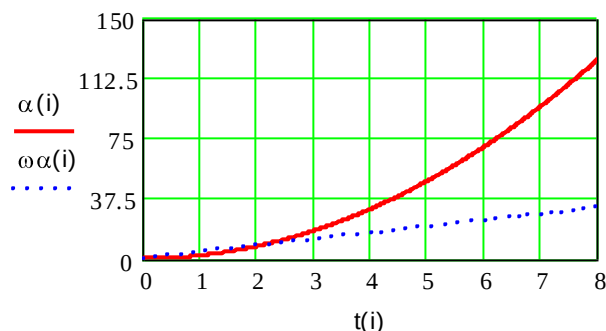


Рис. 9. График зависимости угла поворота и угловой скорости первого диска от времени при $\beta = 7^\circ$

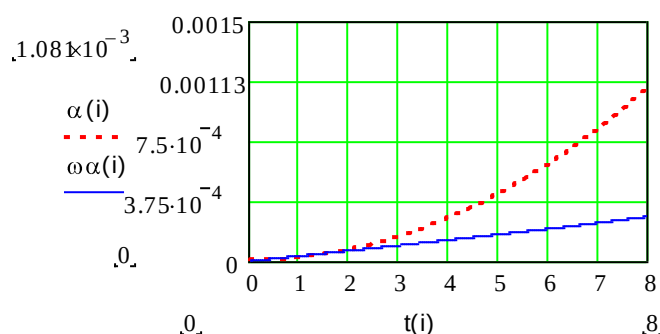


Рис. 10. График зависимости угла поворота и угловой скорости первого диска от времени при $\beta = 27,601^\circ$

2.2. Динамика карданной передачи с упругими элементами

Учет упругих связей в карданной передаче увеличивает число степеней свободы системы до трех, и ее движение описывается связанной системой трех нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка. Интегрирование этой системы уравнений позволяет найти уравнения движения дисков, закрепленных на ведущем и ведомом валах, исследовать зависимость моментов сил инерции валов от времени, а также зависимость разности угловых скоростей дисков от угла излома β . Расчеты показали, что с увеличением угла излома β возрастает амплитуда углов поворота дисков и амплитуда разности их угловых скоростей. При этом, когда угол излома достигает некоторого значения $\beta = \beta_{\partial y}$ ($\beta_{\partial y} = 27,601^\circ$), карданная передача перестает работать. Валы совершают колебания малой амплитуды около положения покоя. Это значение $\beta_{\partial y}$ представляет собой динамический угол остановки. Отметим, что при динамической остановке упругой трансмиссии с карданным валом отчетливо проявляется высокочастотная составляющая крутильных колебаний дисков на остановившихся упругих валах, которые практически стали торсионами.

Задача исследования движения упругой трансмиссии с карданным валом существенно усложняется, если угол излома в шарнире изменяется во времени по некоторому закону $\beta = \beta(t)$. Расчеты показывают, что

колебания угла излома в шарнире существенно меняют весь процесс движения карданной передачи. Эти изменения носят нелинейный характер. Основными факторами, влияющими на этот процесс, являются амплитуда и частота изменения угла излома.

3. Заключение

Работа карданной передачи существенно зависит от величины углов излома в ее шарнирах. Существуют кинематический (β_k) и динамические ($\beta_{дж}$ и $\beta_{дн}$) углы остановки трансмиссии, причем $\beta_{дн} < \beta_{дж} < \beta_k$. При этом важную роль играет характер изменения угла излома трансмиссии и такие параметры, как амплитуда A_β , частота k , а также соотношение между постоянной составляющей β_0 и амплитудой A_β изменения угла излома.

УДК 629.4.027.11

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

С.В. Урушев, И.А. Иванов, Д.П. Кононов

Аннотация

Исследуется проблема надёжности цельнокатанных колёс, вызванная тем, что в эксплуатации наблюдаются случаи появления усталостных трещин, а также полного излома колёс (в основном для колёс с толщиной обода менее 35 мм). Эти случаи представляют реальную угрозу безопасности движения. По данной проблеме ведутся фундаментальные исследования.

Ключевые слова: цельнокатанные колёса, надёжность, качество.

Введение

Цельнокатанные колёса являются наиболее нагруженными элементами подвижного состава. Они в эксплуатации подвержены действию значительных статических и динамических нагрузок, а также тепловому воздействию при торможении. Постоянный рост грузооборота, скоростей движения поездов определяет необходимость обеспечения безопасности движения и эксплуатационной надёжности колёсной пары.

Опыт многолетних исследований, проводимых учёными ВНИИЖТа (Шур Е.А., 2003, Богданов В.М., 2003, Цюренко В.Н., 2002, Марков Д.П., 2004, Иванов С.Г., 2003), а также ПГУПС (Иванов И.А. и др., 1997, Богданов А.Ф. и др., 2000) показал, что трещины и изломы усталостного

характера возникают во всех элементах колеса – диске, ободе, ступице, но наибольшее их число и более тяжёлые последствия связаны с изломом диска.

Статистические данные показывают, что наибольшее количество разрушений колёс происходит при толщине обода 26 – 30 мм. Эти случаи представляют реальную угрозу безопасности движения. Поэтому необходима разработка технических и технологических фундаментальных решений, позволяющих повысить усталостную прочность колес как при ремонте, так и при изготовлении.

1. Управление качеством колёс

Наружный слой металла обода колеса, имеющий макро и микро отклонения от идеальной геометрической формы и изменённые физико-механические свойства по сравнению со свойствами основного материала, в значительной степени определяет эксплуатационные свойства колеса (Губенко С.И. и др., 2003).

Управление качеством работы колеса, его надёжностью должно предусматривать действия, направленные на изменения параметров колёс, условий их производства и восстановления. Повышение надёжности колеса при неизменной средней наработке между отказами достигается:

- увеличением вероятности безотказной работы при заданной наработке t , т.е. $P_2(t_1) > P_1(t_1)$, где $P_1(t_1)$ – исходная функция вероятности безотказной работы колеса;
- увеличением наработки $t_2 > t_1$ при заданной вероятности безотказной работы $P = P_2(t_2) = P_1(t_1)$. При увеличении средней наработки между отказами увеличится гамма-процентная наработка с заданной вероятностью безотказной работы для любых значений t : $P_3(t) > P_1(t)$.

При сочетании указанных методов управления надёжностью колеса безотказность последнего будет характеризоваться $P_4(t)$ – новой функцией вероятности безотказной работы и повышением работоспособности колеса. Этого можно достигнуть специальными технологическими мероприятиями.

2. Методика анализа и синтеза технологического обеспечения ресурса колёс с позиции упорядоченности и целостности

Для обеспечения высокого качества цельнокатаных колёс, а также повышения их срока службы необходимо рассматривать эту проблему как систему управления (Иванов И.А. и др., 1995, Дружинин В.В. и др., 1976, Никифоров А.Д. 2000, Авдеевский В.С. и др., 1985).

Обобщённой моделью системы управления качеством будет:

$$S = \mathfrak{A}[V, \sigma, K] \quad (1)$$

где $\Sigma = \mathbb{X}_i$ – множество состава и свойств элементов; $V = \mathbb{V}_i$ – множество назначений и характера связей; σ – множество устойчивости структуры; K – множество построений структуры.

Для описания качества функционирования колеса воспользовались уравнениями связи элемента, характеризующими индивидуальные свойства каждого элемента безотносительно к возможным соединениям с другими элементами. Для этого применили математический аппарат теории множеств, где систему управления S определяют как преобразование входа X в выход Y посредством некоторого оператора F процесса функционирования Z :

$$S : X \xrightarrow{F} Y, \quad (2)$$

где X и Y – множества, имеющие реальное содержание (анализ). Например, входы – структура металла, физико-механические свойства и т.д.; выходы – износостойкость, циклическая несущая способность и т.д.

В системе, помимо входных и выходных частей, имеется множество процесса управления W . Если зафиксировать роль управляющего множества W , систему можно задать отображением:

$$S : X \cdot W \xrightarrow{F} Y. \quad (3)$$

Если в системе S действуют неопределённые внешние возмущения ε , то отображение дополняется:

$$S : X \cdot W \cdot \varepsilon \xrightarrow{F} Y. \quad (4)$$

Цель управления качеством функционирования колеса состоит в оптимизации функции цели решением задачи синтеза.

На конечный результат управления качеством функционирования колеса влияют три уровня требований к системе: к методологии, управляемому и управляющему объектам.

Общие правила системного подхода (Дружинин В.В. и др., 1976) определяют следующие требования к методологии системы: относительность, целенаправленность, адаптивность.

Объектами управления являются качество функционирования готового колеса, его формирование, обеспечение и поддержание (повышение) работоспособности. Эти процессы – непосредственные объекты управления совместно с качеством функционирования колеса интерпретируются адекватным математическим описанием.

При обеспечении качества функционирования колеса необходимо соблюдать следующие требования: функционирование по совокупности

показателей качества, их полноту и детализацию. Полнота показателей качества характеризует уровень охвата управляющих параметров, существенно влияющих на функционирование колеса. Детализация заключается в доведении отклонений показателей качества до допусков на каждый его вид (размер, шероховатость, волнистость, остаточные напряжения, наклёп и др.)

Повышение ресурса колеса, качества его функционирования будем рассматривать как единый комплекс, состоящий из взаимосвязанных частей. Этот комплекс – технологическая система обработки. Сравнительную оценку качества функционирования колеса, как составной части технологической системы обработки (ТСО), представленной на рис. 1, выполним по отклонению показателя качества (сохранению работоспособности колеса):

$$\Delta K = K_g - K_H, \quad (5)$$

где K_g , K_H – соответственно действительное и номинальное (теоретическое) значения показателя.

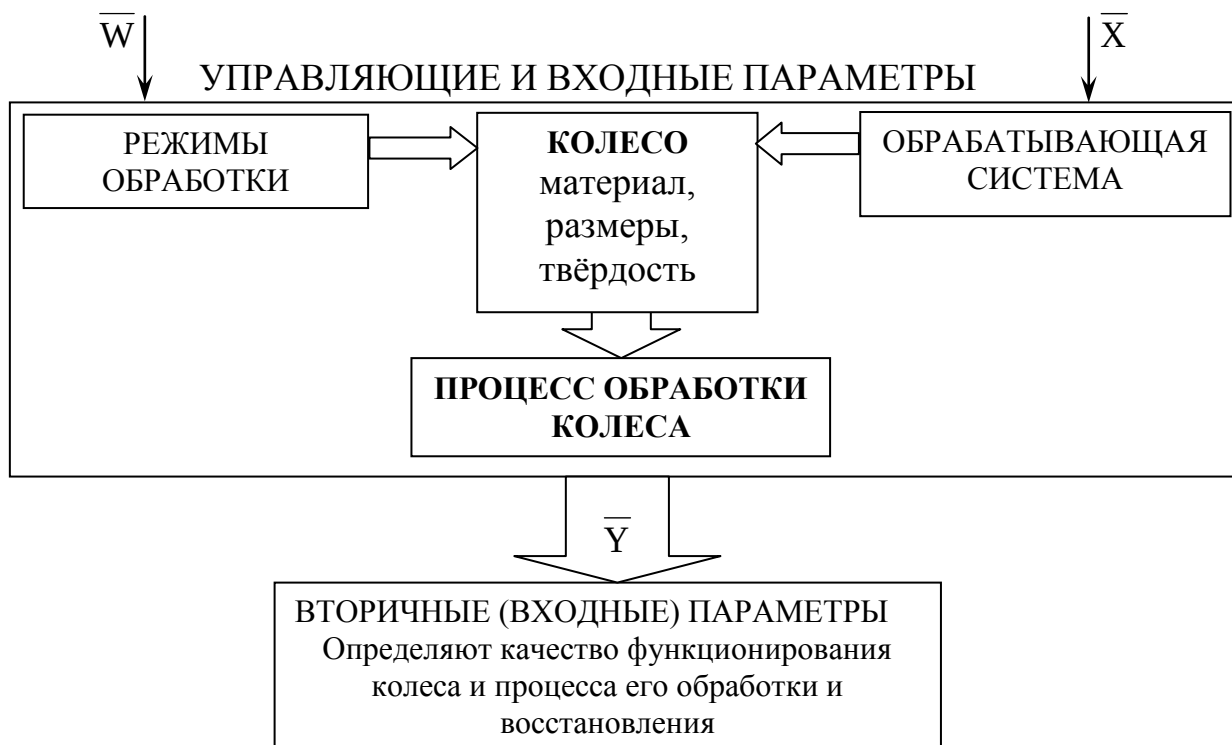


Рис. 1. Структурная схема системы ТСО

С учётом структуры ТСО

$$K_H = f_H(Q_1; S_1) \quad (6)$$

где Q_1 – группа функциональных свойств системы и свойств материала колеса;

S_1 – группа геометрических параметров колеса;

$$\Delta K = f(\epsilon_1; Q_1, S_1) \quad (7)$$

где V_1 – совокупное отклонение.

Воздействие на ΔK – главная задача повышения качества функционирования колеса, его работоспособности.

3. Заключение

Повышение ресурса колеса рассматривается как система управления. Объект управления – качество функционирования колёс, состоящее из совокупности свойств как отдельных колёс, так и множества. Управляющий объект – совокупность управляющих воздействий на колесо (колёсную пару) в виде принятия технических решений, технологического, метрологического обеспечения, стандартизации. Выбор управляющего воздействия производим в зависимости от стадии жизненного цикла колеса. Уровень качества функционирования колеса формируется на стадии проектирования, обеспечивается на стадии производства и поддерживается на стадии эксплуатации.

4. Литература

- Шур Е.А. К вопросу об оптимальном соотношении твёрдости рельсов и колёс. Научно-практическая конференция «Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути. Колесо – рельс 2003». Сборник докладов, 2003. – с. 87 – 93.
- Богданов В.М. Стратегическая программа обеспечения устойчивого взаимодействия в системе колесо-рельс. Научно-практическая конференция «Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути. Колесо – рельс 2003». Сборник докладов, 2003. – с. 14 – 20.
- Цюренко В.Н. Эксплуатационная надёжность колёсных пар грузовых вагонов. Железнодорожный транспорт. 2002. №3, – с. 24 – 28.
- Марков Д.П. Типы катастрофического изнашивания колёсно-рельсовых сталей. Вестник ВНИИЖТ, 2004, №2, – с. 30 – 35.
- Иванов С.Г. Основные направления по повышению надёжности и увеличению ресурса цельнокатаных колёс. Научно-практическая конференция «Современные проблемы взаимодействия подвижного состава и пути. Колесо – рельс 2003». Сборник докладов, 2003 г., – с. 124 – 127.
- Иванов И.А., Битюцкий А.А., Сколотнева Н.Ю. Оценка напряжённого состояния цельнокатаных колёс с различным износом обода. Конструктивно-технологическое обеспечение надёжности колёс рельсовых экипажей. Сборник научных трудов, ПГУПС, 1997, с. 76 – 80.
- Богданов А.Ф. и др. Восстановление профиля поверхности катания колёсных пар: Учебное пособие / А. Ф. Богданов, И. А. Иванов, М. Ситаж. – СПб.: ПГУПС, 2000. – 128 с.
- Губенко С.И., Жуков Д.А., Иванов И.А. Качество поверхности обода цельнокатаных колёс: Учебное пособие. СПб, Издательство «ОМ-ПРЕСС», 2003. – 28 с.

- Иванов И.А., Урушев С.В., Ситаж М., Будюкин А.М. Повышение работоспособности колёс рельсового транспорта при ремонте технологическими методами: СПб, ПГУПС, 1995. – 124 с.
- Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем). – М.: Сов. радио. 1976. – 296 с.
- Никифоров А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Высшая шк., 2000. – 465 с.
- Авдуевский В.С., Ишлинский А.Ю., Образцов И.Ф. и др. Научные основы прогрессивной техники и технологии. – М.: Машиностроение, 1985. – 376 с.

Регулирование движения поездов и связь

УДК 656.212.7

**О МЕТОДЕ РАСЧЕТА ЧИСЛА ВАГОНОВ ОДНОГО НАЗНАЧЕНИЯ,
ПОСТУПАЮЩИХ НА ГРУЗОВУЮ СТАНЦИЮ В ТЕЧЕНИЕ
ЗАДАННОГО ПРОМЕЖУТКА ВРЕМЕНИ**

Ю.И. Ефименко, В.Н. Фоменко, П.К. Рыбин

Аннотация

Рассмотрен метод определения путем статистического моделирования количества вагонов одного назначения, поступающих в поездах на грузовую станцию в течение заданного промежутка времени, и возможность его применения для установления числа неисправных вагонов в составах, прибывающих на наливную станцию нефтепродуктов.

Ключевые слова: станция; состав; функция распределения; неисправные вагоны; доверительная вероятность

Введение

Моделирование технологических процессов на железнодорожном транспорте с применением компьютеров позволяет решить целый комплекс проблем, связанных с определением потребного путевого развития станций и совершенствованием технологии их работы, и повысить обоснованность принимаемых решений, благодаря рассмотрению большого количества возможных производственных ситуаций. При создании соответствующей модели необходимо имитировать реальный характер исследуемых процессов, которые зачастую не могут быть описаны с помощью простых функций распределения. Важным моментом при этом является также возможность адаптации компьютерных моделей, разработанных для решения какой-то конкретной задачи к решению целого круга проблем, имеющих технологически общий характер.

В представленной статье описывается метод, разработанный для грузовых (портовых) станций, который целесообразно использовать для установления потребной величины суточного резерва исправных цистерн на станциях погрузки наливных грузов.

1. Определение числа вагонов одного назначения, поступающих на грузовую станцию в течение заданного промежутка времени

Потребное путевое развитие грузовой станции зависит от интенсивности процесса поступления на нее поездов и типа поступающих вагонопотоков (маршрутизированный или немаршрутизированный). Например, величина и состав немаршрутизированного вагонопотока определяют число и длину путей сортировочного парка.

Одним из важнейших факторов, который влияет на размеры путевого развития грузовой станции, является число вагонов одного назначения, поступающих на нее в течение заданного промежутка времени. Процесс их поступления на станцию подвержен случайным колебаниям.

В крупном морском порту или на промышленном предприятии число грузовых фронтов может превышать величину состава передаточного поезда, поступающего с сортировочной станции. Из этого следует, что прибытие передаточных поездов на соответствующую станцию и поступление вагонов в адрес конкретного грузового фронта будут взаимосвязаны, но не тождественны. Поэтому является важным как определение вероятности поступления передаточных поездов, так и вычисление вероятности наличия в них вагонов соответствующего назначения.

Пусть $f(x)$ – плотность распределения интервалов в некотором случайном потоке Пальма, т.е. ординарном однородном потоке, в котором промежутки между смежными событиями – независимые случайные величины. Обозначим через $\Lambda_n(x)$ плотность вероятности того, что во временном интервале $[0, x]$ появятся ровно n событий, причем последнее из них в момент x . По формуле полной вероятности получаем рекуррентное соотношение

$$\Lambda_n(x) = \int_0^x \Lambda_{n-1}(x') f(x-x') dx' = \Lambda_{n-1}(x) * f(x) \quad (1)$$

Если I – интенсивность потока, то для функции $\Lambda_1(x)$ имеем

$$\Lambda_1(x) = I \int_{-\infty}^0 f(x-x') dx' = I \left(1 - \int_0^x f(y) dy \right) \quad (2)$$

Вероятность появления n событий в интервале T запишется в виде

$$P_n(T) = \int_0^T \Lambda_n(x) \cdot (1 - F(T - x)) dx = \Lambda_n(T) * (1 - F(T)) \quad (3)$$

где $F(x)$ – функция распределения временных интервалов.

Чтобы найти величину $P_n(T)$, используем преобразование Лапласа, предполагая, что временные интервалы имеют гамма-распределение:

$$f(x) = \frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} \cdot x^{r-1} \cdot \exp(-\lambda \cdot x), \quad (4)$$

где λ – параметр масштаба; r – параметр формы; r/λ – среднее значение интервала между поездами; $\Gamma(r)$ – гамма-функция.

В результате для величины (3) может быть получено выражение

$$P_n(T) = \frac{1}{r} \cdot \sum_{k=-1}^1 (1 - 3\delta_{k0}) \Theta(r(n+k), \mu), \quad (5)$$

где $\mu = \lambda T$, μ/r – среднее количество составов, прибывающих за время T ; $\Theta(s, \mu)$ – вспомогательная функция, введенная для удобства расчетов

$$\Theta(s, \mu) = \frac{1}{\Gamma(s)} \cdot \left[\mu \cdot \Gamma_\mu(s) - \Gamma_\mu(s+1) \right] \Theta(0, \mu) = \mu, \quad \Theta(-s, \mu) = s + \mu \quad (6)$$

Здесь $\Gamma_\mu(s)$ – так называемая «неполная Γ -функция».

Формулы (5) и (6) дают возможность вычислить $P_n(T)$ при любых положительных значениях r .

Для определения вероятности поступления заданного количества вагонов в адрес грузового фронта:

- установить вероятность наличия в составе передаточного поезда вагонов данного назначения;
- учесть случайные колебания числа этих вагонов (величины группы).

При разработке проекта реконструкции существующей станции решение этой задачи может быть осуществлено с помощью ввода в качестве исходных данных массива разложения составов, прибывших на конкретную станцию за определенный период, по грузовым фронтам.

Тогда оценку вероятности того, что состав содержит m вагонов данного назначения, можно получить по формуле:

$$w_m = \frac{z_m}{N}, \quad (7)$$

где z_m – число составов, содержащих m вагонов данного назначения;

N – количество составов в выборке.

Обозначим вероятность того, что φ прибывших поездов содержат m вагонов определенного назначения, как $\Omega_{\varphi,m}$. По формуле полной вероятности получим рекуррентное соотношение для величины $\Omega_{\varphi,m}$:

$$\Omega_{\varphi+1,m} = \sum_{v=0}^{\min(v_{\max},m)} \Omega_{\varphi,m-v} \cdot w_v, \quad (8)$$

где $v_{\max}$ – максимально возможное количество вагонов данного назначения в составе.

Данная формула позволяет последовательно вычислять $\Omega_{\varphi,m}$, если учесть, что $\Omega_{0,n} = \delta_{n0}$ ¹.

Вероятность появления m вагонов в адрес определенного погрузочно-выгрузочного фронта за промежуток времени T вычисляется с помощью формулы:

$$W(m, T) = \sum_{n=0}^{\infty} P_n \cdot \Omega_{n,m}, \quad (9)$$

На практике суммирование можно ограничить конечным достаточно большим числом составов так, чтобы дальнейшее увеличение числа составов не приводило к изменению $W(m, T)$.

Таким образом, имеется возможность с заданной доверительной вероятностью (например, 95%) оценить максимальное число вагонов, которые в течение выбранного промежутка времени могут поступить в адрес данного грузового фронта порта в составе немаршрутизированного вагонопотока. Полагая этот промежуток времени равным длительности обработки подачи на погрузочно-выгрузочном фронте, можно использовать разработанные программы при определении путевого развития сортировочного парка грузовых станций. Анализ показал, что изложенный метод может быть применен также к задаче об определении числа неисправных вагонов на станциях налива нефтепродуктов.

¹ δ_{n0} – символ Кронекера.

2. Использование разработанного метода для вычисления числа неисправных вагонов в прибывающих железнодорожных составах

Изложенный в предыдущем разделе метод может быть применен к вычислению числа неисправных цистерн в составах, прибывающих на наливную станцию. Он позволяет определить максимально возможное количество прибывающих неисправных вагонов за заданный промежуток времени при фиксированном уровне достоверности (обычно, 95%). Исходя из этой информации, можно установить экономически оправданное минимальное потребное количество запасных исправных вагонов для замены ими цистерн, требующих ремонта.

В качестве примера для расчетов были взяты статистические данные по станции Новоярославская. На первом этапе был исследован закон распределения интервалов между прибывающими поездами. Статистические данные приведены в табл. 1. К этим данным был применен критерий Пирсона для определения их совместимости с законом гамма-распределения. Значение $\chi^2=7,9$ оказалось заметно меньше критического значения 12,6 (по 5%-му уровню значимости), что позволяет сделать вывод о совместимости гамма-распределения со статистическими данными. Параметры распределения (4) были определены по методу наименьших квадратов.

ТАБЛИЦА 1. Распределение числа составов по интервалам прибытия

Интервал	0–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8	8–9	9–10	10–11	11–12
Число составов	217	259	150	92	71	36	14	9	3	2	2	1

На рис. 1 приведены гистограмма и теоретическая плотность распределения для оптимальных значения параметров: $\lambda = 0,735$ и $r = 1,671$. Статистические данные представлены гистограммой, причем абсциссы даны для середин интервалов, приведенных в табл. 1. По оси ординат отложены относительные частоты составов по интервалам.

Статистические данные по числу неисправных вагонов даны в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Распределение числа неисправных цистерн

ЧД	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ЧС	291	217	142	82	51	18	17	11	9	3	3	1	1	1	1	1	1

В первой строке табл. 2 приведено количество неисправных цистерн в составе, а во второй – количество таких составов в выборке. По данным этой таблицы были вычислены точечные оценки для частот неисправных вагонов w_m (см. формулу 7).

Пусть $F(n)$ – функция распределения числа требующих ремонта цистерн, прибывших в течение промежутка времени T :

$$F(n) = \sum_{k=0}^n W(k, T).$$

Тогда наименьшее целое решение неравенства $F(n) \geq P_{\text{дов}}$ дает наибольшее количество прибывших за этот промежуток неисправных вагонов с доверительной вероятностью $P_{\text{дов}}$. В частности, если за T принять одни сутки, то для станции Новоярославская эта величина составляет 54 вагона для $P_{\text{дов}} = 0,95$ и 64 вагона для $P_{\text{дов}} = 0,99$.

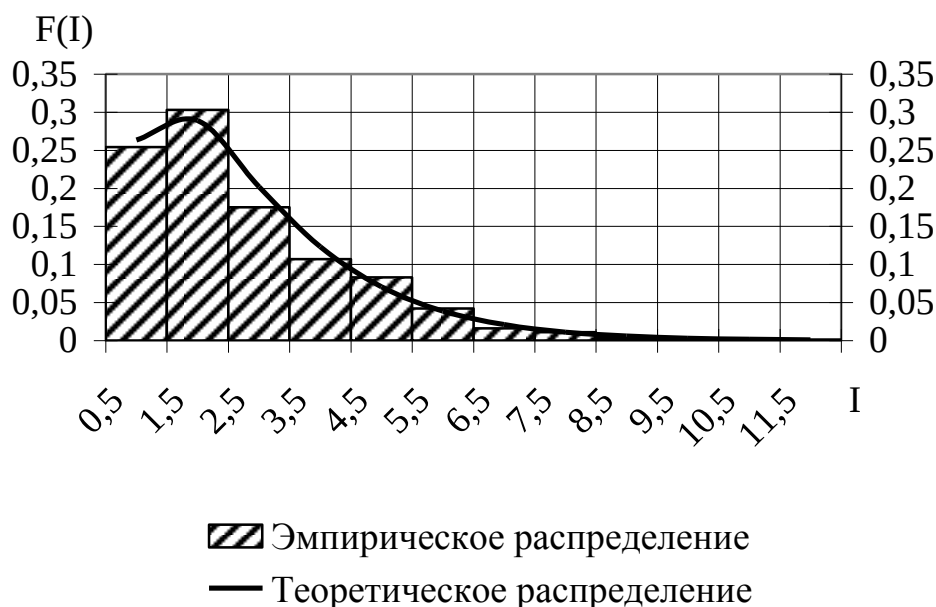


Рис.1. Сравнение эмпирической и теоретической плотностей распределения интервалов прибытия составов.

3. Заключение

Метод определения с помощью математической модели количества вагонов, поступающих на одно назначение грузовой станции, может быть адаптирован к определению потребной величины суточного резерва исправных цистерн, что проиллюстрировано на примере станции Новоярославская.

УДК 681.324.7

ВЫЧИСЛЕНИЕ ТЕСТОВ ДЛЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ТИПА «ВРЕМЕННАЯ ЗАДЕРЖКА» ПО ЭКВИВАЛЕНТНОЙ НОРМАЛЬНОЙ ФОРМЕ

В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, А.А. Лыков

Аннотация

Приведена полная группа теорем, позволяющих проводить анализ обнаруживающих способностей тестовых пар для неисправностей типа «временная задержка». Предложены формулы для расчета тестов с помощью эквивалентной нормальной формы.

Ключевые слова: временная задержка, эквивалентная нормальная форма, робастный тест, соседний тест.

Введение

Обнаружение неисправностей типа «временная задержка» (ВЗ) распространения логического сигнала (delay fault) является важной областью в тестировании микроэлектронных схем (Savir J., 1992, Bushnell M.L., Agrawal V.D., 2000). С увеличением быстродействия схем и тактовой частоты их работы становится более вероятным влияние временных отклонений на правильную работу аппаратуры. Особенностью ВЗ по сравнению с другими видами отказов является то, что они не нарушают логическую структуру схемы и в то же время приводят к ошибочным результатам вычислений.

1. Виды временных задержек

Для каждой схемы существует максимально допустимое время задержки t_c , которое больше, чем время прохождения сигнала по самому длинному пути в схеме t_s и меньше времени полупериода изменения входного сигнала t_a . Если реальное время прохождения сигнала в каком-либо пути t_r превышает допустимое, то в момент времени $t = t_c$ будет зафиксировано неправильное значение выхода.

Для обнаружения временных задержек на входы схемы подается тест, состоящий из двух входных наборов (V_1 , V_2). Классификация ВЗ по тестируемости представлена на рис. 1.

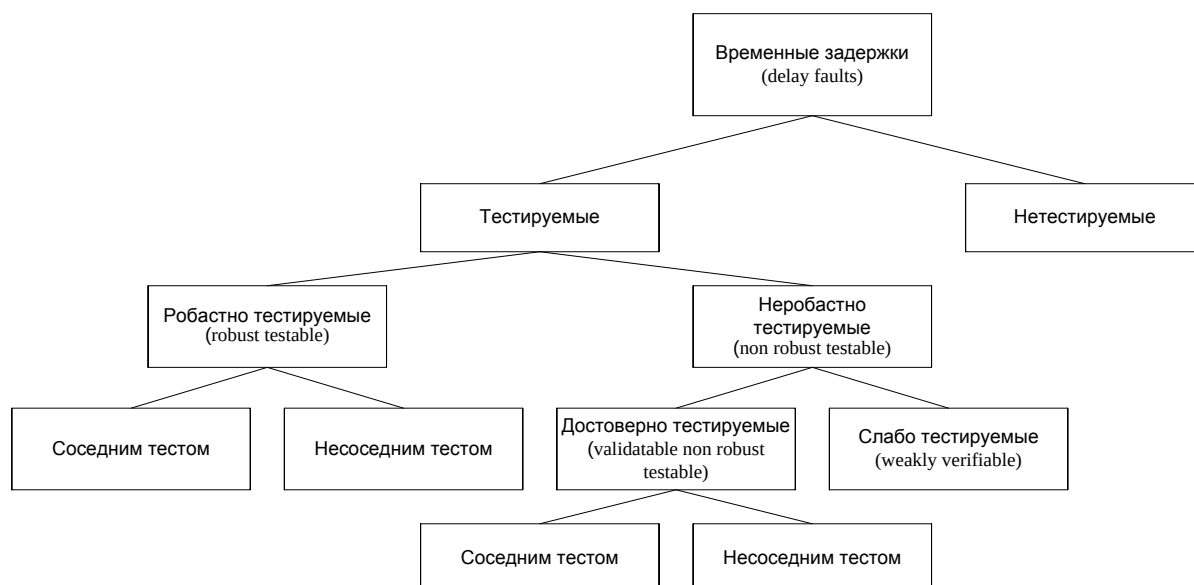


Рис. 1. Классификация ВЗ по тестируемости

Существует четыре вида тестов ВЗ – свободные от состязаний, робастные, неробастные и достоверно неробастные, – а также четыре вида неисправностей – робастно тестируемые, достоверно неробастно тестируемые, слабо проверяемые и нетестируемые.

Тест $\tau = (V_1, V_2)$ называется свободным от состязаний (hazard free), если для всех элементов, входящих в чувствительный путь выполняется условие: логический сигнал изменяется только на одном входе. Это условие выполняется для рассмотренного выше теста $\tau_1 = (0101, 0001)$, что видно на рис. 2.

Тест $\tau = (V_1, V_2)$ называется робастным (robust test) относительно неисправности n_i , если он обнаруживает эту неисправность независимо от существования в схеме других ВЗ путей. В противном случае тест называется неробастным (non robust test). Анализируя рис. 2 нетрудно убедиться, что тест $\tau_1 = (0101, 0001)$ является робастным для неисправности b_1^{10} . Вообще, любой тест, свободный от состязаний, является робастным (обратное не имеет места).

Рассмотрим неисправность d_1^{01} и тест $\tau_2 = (0100, 0101)$. Возможны три случая.

1. В схеме нет ВЗ. Тогда на линиях α и β (рис. 3) задержек нет (рис. 4, а). Сигнал $y = 1$ наблюдается в момент времени t_c , что правильно. Есть состязания на выходе элемента 5.

2. В схеме существует ВЗ $d_1^{0 \rightarrow 1}$, но нет $d_3^{0 \rightarrow 1}$. На линии α есть задержка. Неисправность $d_1^{0 \rightarrow 1}$ обнаруживается, так как в момент t_c выход $y = 0$ (см. рис. 4, б).

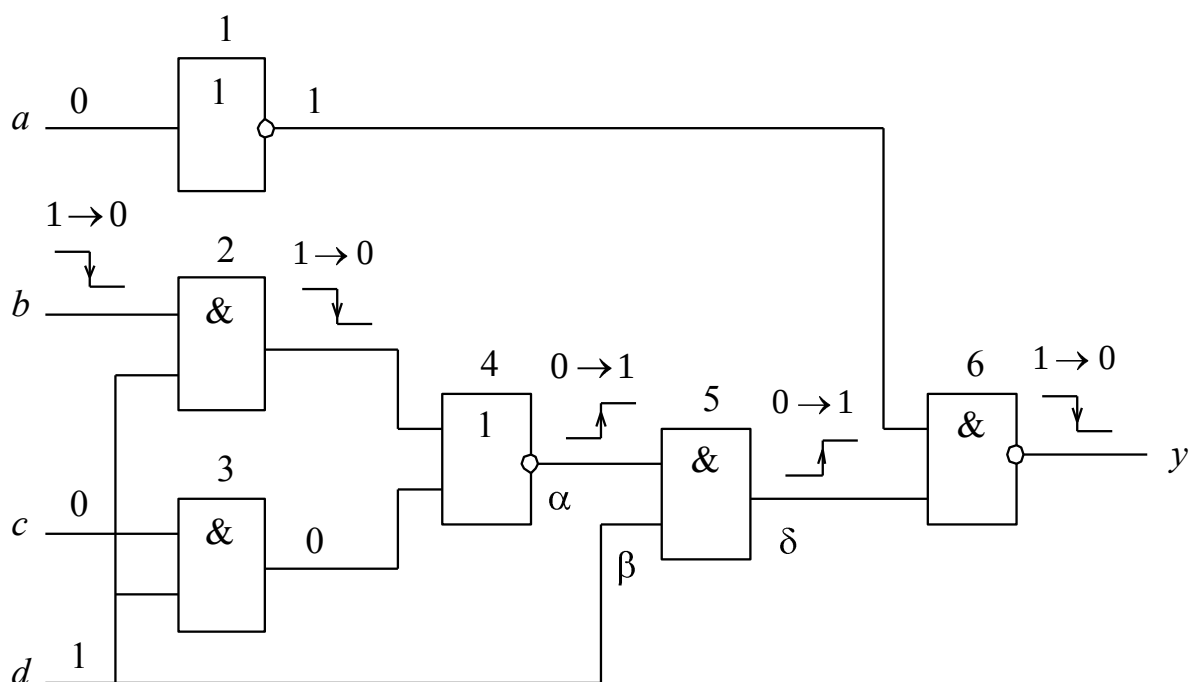


Рис. 2. Приложение тестовой последовательности к комбинационной схеме

3. В схеме существуют ВЗ $d_1^{0 \rightarrow 1}$ и $d_3^{0 \rightarrow 1}$. На линиях α и β есть задержки (см. рис. 4, в). Неисправность $d_1^{0 \rightarrow 1}$ не обнаруживается, поскольку в момент t_c сигнал $y = 1$. Следовательно, тест $\tau_2 = (0100, 0101)$ является неробастным относительно $d_1^{0 \rightarrow 1}$. Временная задержка $d_1^{0 \rightarrow 1}$ маскируется неисправностью $d_3^{0 \rightarrow 1}$.

Тест $\tau_i = (V_1, V_2)$ называется достоверно неробастным (validatable non robust test) относительно неисправности n_i , если он не является робастным и выполняется условие: для любого множества неисправностей $\{n_1, n_2, \dots, n_k\}$, при наличии которых в схеме тест τ_i не обнаруживает неисправность n_i , существует последовательность тестов $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k\}$, после приложения которых в определенном порядке все неисправности $n_1, n_2, \dots, n_k$ обнаруживаются. Следовательно, все неисправности $n_1, n_2, \dots, n_k$, которые маскируют неисправность n_i , обнаруживаются ранее с помощью робастных или достоверно неробастных тестов на последовательности T . Тогда, если неисправностей $n_1, n_2, \dots, n_k$ не обнаружено, тест τ_i достоверно обнаруживает неисправность n_i .

(weakly verifiable) и не может быть гарантированно обнаружена. Если ВЗ не имеет тестов, то она называется нетестируемой.

Для схемы, представленной на рис. 2, робастно тестируемые ВЗ – a_1^{01} , a_1^{10} , b_1^{01} , b_1^{10} , c_1^{01} , c_1^{10} , d_3^{01} , d_3^{10} ; достоверно неробастно тестируемые – d_1^{01} , d_2^{01} ; нетестируемые – d_1^{10} , d_2^{10} .

Особым классом тестов ВЗ являются соседние тесты (V_1 , V_2), у которых двоичные векторы V_1 и V_2 различаются в одном разряде. Примерами являются рассмотренные ранее тесты $\tau_1 = (0101, 0001)$, $\tau_2 = (0100, 0101)$, $\tau_3 = (0000, 0001)$. Соседние тесты хороши тем, что имеют наибольшую вероятность быть свободными от состязаний и быть робастными тестами. В работе (Crepaux-Motte S., 1996) приведены результаты исследования свойств соседних тестов по обнаружению ВЗ в комбинационных схемах. Для этого проведен анализ сокращенной эквивалентной нормальной формы (ЭНФ). Показано, что ЭНФ, которая является удобной моделью для анализа влияния на схему константных неисправностей (Armstrong D.B., 1966; Василенко М. Н., и др., 1976), может быть использована для этих целей и при возникновении ВЗ.

2. Теоремы анализа тестов

Для анализа $F_{\text{СЭНФ}}$ доказаны теоремы, составляющие полную группу и позволяющие осуществить анализ любой сокращенной ЭНФ при обнаружении неисправностей типа ВЗ.

Теорема 1. Если при подстановке значения переменной a в сокращенную ЭНФ все ее конъюнкции равны 1 и содержат одну и ту же букву a_i , то векторная пара (V_1 , V_2) есть робастный тест для неисправности a_i^{01} .

Теорема 2. Если при подстановке значения переменной a в сокращенную ЭНФ существуют хотя бы две конъюнкции, которые равны 1 и не содержат одну и ту же букву ЭНФ, то векторная пара (V_1 , V_2) не является тестом.

Теорема 3. Пусть при подстановке значения переменной a в сокращенную ЭНФ все конъюнкции, которые равны 1, содержат одну и ту же букву a_i и не существуют другие произвольные конъюнкции не равные 1. Тогда:

1) если в каждой конъюнкции, которая не равна 1 и не содержит букву a_i , существует хотя бы одна буква a_j такая, что в двоичном наборе V_2 $a_j = 0$ и неисправность a_j^{10} является робастно или достоверно неробастно тестируемой, то неисправность a_i^{01} является достоверно неробастно тестируемой на векторной паре (V_1 , V_2);

2) в противном случае неисправность a_i^{01} является слабо тестируемой на векторной паре (V_1 , V_2).

Аналогичные теоремы существуют относительно сокращенной обратной ЭНФ (ОЭНФ).

Теорема 4. Если при подстановке значения переменной a в сокращенную ОЭНФ все ее конъюнкции равны 1 и содержат одну и ту же букву a_i , то векторная пара (V_1, V_2) есть робастный тест для неисправности a_i^{10} .

Теорема 5. Если при подстановке значения переменной a в сокращенную ОЭНФ существуют хотя бы две конъюнкции, которые равны 1 и не содержат одну и ту же букву ЭНФ, то векторная пара (V_1, V_2) не является тестом.

Теорема 6. Пусть при подстановке значения переменной a в сокращенную ОЭНФ все конъюнкции, которые равны 1, содержат одну и ту же букву a_i и существуют другие произвольные конъюнкции не равные 1. Тогда:

1) если в каждой конъюнкции, которая не равна 1 и не содержит букву a_i , существует хотя бы одна буква a_j такая, что в двоичном наборе V_2 $a_j = 0$ и неисправность a_j^{01} является робастно или достоверно неробастно тестируемой, то неисправность a_i^{10} является достоверно неробастно тестируемой на векторной паре (V_1, V_2) ;

2) в противном случае неисправность a_i^{10} является слабо тестируемой на векторной паре (V_1, V_2) .

3. Вычисление тестов по эквивалентной нормальной форме

Эквивалентная нормальная форма может быть эффективно использована для вычисления тестов ВЗ. Тестовая пара (V_1, V_2) для неисправности a^{10} (неисправности a^{01}) должна удовлетворять двум условиям:

1) набор V_1 обеспечивает на линии a логический сигнал 1 (сигнал 0);

2) набор V_2 обеспечивает на линии a логический сигнал 0 (сигнал 1) и создает чувствительный путь от линии a до выхода схемы.

Указанные два условия задаются двумя импликациями соответственно $V_1 \rightarrow a$, $V_2 \rightarrow \bar{a} \frac{dF}{da}$ для неисправности a^{10} и $V_1 \rightarrow \bar{a}$, $V_2 \rightarrow a \frac{dF}{da}$ для неисправности a^{01} . Производная $\frac{dF}{da}$ определяет существование чувствительного пути в схеме.

Если использовать модель ЭНФ для логических схем, то указанные импликации определяются по формулам:
для неисправности a^{10}

$$V_1 \rightarrow a, V_2 \rightarrow (\bigvee T_{pi}^*)(\bigvee T_{qi}),$$

для неисправности a^{01}

$$V_1 \rightarrow \bar{a}, V_2 \rightarrow (\bigvee_{q \in Q_i} T_{qi}^*) (\bigvee_{p \in P_i} T_{pi}),$$

где T_{pi} (T_{qi}) – функция, реализуемая конъюнкцией ЭНФ (ОЭНФ), содержащей букву a_i ; T_{pi}^* (T_{qi}^*) – функция, реализуемая конъюнкцией ЭНФ (ОЭНФ), содержащей букву a_i ; в результате приравнивания $a_i = 1$.

Из приведенных формул следует

Теорема 7. Временная задержка пути a_i^{10} (a_i^{01}) не тестируется, если и только если неисправность буквы a_i^1 (a_i^0) в эквивалентной схеме не тестируется.

Доказательство. Достаточность. Пусть неисправность a_i^1 (a_i^0) в эквивалентной схеме не тестируется. Это значит, что $\varphi(a_i^1) = 0$ ($\varphi(a_i^0) = 0$), где φ – есть проверяющая функция. Поэтому $\frac{dF}{da_i} = 0$ ($\frac{dF}{da_i} = 0$).

Следовательно, не существует набора V_2 в тестовой паре (V_1, V_2) , на котором изменение сигнала $1 \rightarrow 0$ ($0 \rightarrow 1$) транслируется на выход схемы.

Необходимость. Пусть временная задержка пути a_i^{10} (a_i^{01}) не тестируется. Это означает, что не существует набора V_2 в тестовой паре (V_1, V_2) . Следовательно, $\varphi(a_i^1) = 0$ ($\varphi(a_i^0) = 0$) и неисправность буквы a_i^1 (a_i^0) не тестируется.

Теорема доказана.

4. Заключение

Теоремы 1...6 составляют полную группу теорем, позволяющих осуществить анализ любой сокращенной ЭНФ для соседних тестов при обнаружении неисправностей типа «временная задержка».

5. Литература

- Savir J. Developments in Delay Testing // Proc. IEEE VLSI Symposium “Design, Test and Application: ASICs and Systems-on-a-Chip”, USA. 1992. P. 247 – 253.
- Bushnell M.L., Agrawal V.D. Essentials of Electronic Testing for Digital, Memory and Mixed – Signal VLSI Circuits. Kluwer Academic Publishers. 2000. P. 629.
- Crepaux-Motte S., Jacomino M., David R. An Algebraic Method for Delay Fault Testing // Proc. 14th IEEE VLSI Test Symposium. USA. Princeton. 1996. P. 308 – 315.
- Armstrong D.B. On Finding a Nearly Minimal Set of Fault Detection Tests for Combinational Logic Nets. IEEE Trans. Comput. Vol. ES-15. № 2. 1966. P. 66-73.
- Василенко М.Н., Прокофьев А.А., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Алгоритм построения эквивалентной нормальной формы. Автоматика и телемеханика, 1976. № 10. с. 168-173.

УДК 681.324

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ АЛГОРИТМЫ И ПРОТОКОЛЫ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

А.А. Корниенко, М.А. Еремеев, Е.А. Аникевич

Аннотация

Рассмотрены схемы построения алгоритмов криптографического преобразования информации, основанные на применении управляемых подстановочно-перестановочных сетей в качестве базового криптографического примитива. Показана их эффективность в сравнении с известными алгоритмами.

Ключевые слова: защищенность информационных ресурсов; криптографический алгоритм; управляемая подстановочно-перестановочная сеть

Введение

Криптографические алгоритмы преобразования информации становятся одними из основных и наиболее эффективных в вопросах обеспечения защищенности информационных ресурсов железнодорожного транспорта. Их реализация связана с построением криптографических протоколов обеспечения конфиденциальности и целостности информации, взаимной аутентификации абонентов сети. В ОАО «РЖД» одноключевые и двухключевые криптоалгоритмы и криптографические протоколы используются для решения задач предотвращения несанкционированного доступа к конфиденциальной информации – аутентификации, обеспечения конфиденциальности и целостности информации (на основе средств КриптоПро), в частности, шифрования и реализации электронной цифровой подписи в защищенном сегменте электронной почтовой службы (Корниенко А.А. и др., 2001). На их основе создаются защищенные сети железнодорожного транспорта (туннелирование с использованием продуктов Vipnet с криптоядром «Домен-К»), а также реализуются WEB-сервисы с использованием криптографических протоколов взаимной аутентификации абонентов сети SSL/TLS. Одна из проблем использования этих криптографических алгоритмов - значительные затраты временных ресурсов для осуществления защитного преобразования. Это требует разработки и внедрения надежных и быстрых криптографических алгоритмов и процедур защиты конфиденциальной информации

железнодорожного транспорта. Проводимые исследования направлены на сокращение временных ресурсов при выполнении криптографического преобразования за счет синтеза высокоскоростных алгоритмов криптографической защиты.

1. Анализ схем блочных алгоритмов криптографического преобразования информации

Проведенный анализ схем построения современных блочных алгоритмов криптографического преобразования информации и условий их применения показал, что в последнее время возросли требования по:

- стойкости;
- скорости криптографического преобразования;
- экономичности программной и аппаратной реализации.

В настоящее время одним из перспективных подходов к синтезу скоростных блочных шифров является применение управляемых операций (Молдовян Н.А. и др., 2004). Наиболее известными алгоритмами такого рода являются итеративные блочные шифры DES, RC5, RC6, MARS, SPECTR-H64 и др.

Предложен подход к построению скоростных блочных шифров, основанный на применении управляемых подстановочно-перестановочных сетей (УППС), обеспечивающих высокую скорость, высокую стойкость и низкую сложность реализации. Большое число различных типов операций преобразования, в отличие от табличных подстановок, управляемого циклического сдвига, управляемых перестановок легко может быть реализовано в виде электронных схем для двоичных векторов достаточно большого размера (например, 32, 64 или 128 бит).

Предложенные УППС представляются существенно более эффективными для криптографических применений, поскольку они включают очень большое число реализуемых модификаций и задают единое преобразование двоичных векторов большого размера (Еремеев М.А., Корниенко А.А., 2002). Исследования вероятностных и алгебраических свойств УППС показали их перспективность для построения стойких быстродействующих шифров.

Управляемые подстановочно-перестановочные сети обладают следующими криптографическими свойствами:

- обеспечивают возможность построения эффективных механизмов внутреннего развертывания ключа, что обеспечивает высокую скорость шифрования в приложениях с частой сменой секретных ключей;
- обеспечивают возможность участия всех битов преобразуемого блока данных при выполнении единой нелинейной операции;

- позволяют синтезировать криптосхемы, для которых возможно более наглядное и убедительное обоснование их стойкости к наиболее сильным методам криптоанализа – линейному и дифференциальному криптоанализу.

2. Разработка алгоритмов преобразования на основе управляемых подстановочно-перестановочных сетей

При синтезе алгоритмов криптографического преобразования информации разработаны критерии оценки криптографических свойств подстановочных преобразований, задающихся в виде векторной булевой функции. Сформулированы требования к преобразованию, выполняемому УППС и к реализующим его координатным булевым функциям:

- регулярность и биективность преобразования, выполняемого УППС относительно множества всех входных векторов;
- высокая алгебраическая степень нелинейности компонентных булевых функций;
- соответствие булевых функций корреляционным показателям;
- высокая нелинейность компонентных булевых функций и преобразования в целом;
- небольшая вычислительная сложность программно-аппаратной реализации УППС и высокая скорость преобразования информации.

На основе математического аппарата булевых функций рассмотрены основные свойства базовых защитных примитивов. Выбраны классы обратимых УППС, проанализированы математические свойства УППС, сформулированы условия их оптимизации и получены оценки сложности реализации управляемых подстановочных операций.

Синтезированы блочные алгоритмы преобразования на основе УППС, осуществляющие преобразование 64 и 128 битовых блоков данных. Структура алгоритмов является комбинацией классов сбалансированных сетей Фейстеля и подстановочно-перестановочных сетей.

Произведена оценка схемотехнической сложности реализации УППС, которая показала возможность реализации высокоскоростных (более 1 Гбит/с) блочных шифров. Несмотря на изначальную ориентацию на аппаратную реализацию проектирование эффективных УППС потенциально может привести к существенному росту скорости программных шифров (до 250 Мбит/с). В целом программная реализация и применение предлагаемых алгоритмов криптографического преобразования информации позволит повысить стойкость на 15-20 % и скорость преобразования информации от 15 % до 50% в зависимости от режимов использования. Это видно из таблицы 1, в которой представлена обобщенная сравнительная характеристика программной реализации используемых в настоящее время в ОАО «РЖД» криптоалгоритмов

(отечественный стандарт ГОСТ-28147-89 и международный стандарт 3DES) и предложенных алгоритмов криптографического преобразования.

3. Заключение

Практическая значимость полученных результатов для ОАО «РЖД» заключается в возможности встраивания разработанных алгоритмов шифрования, аутентификации и электронной цифровой подписи в различные аппаратно-программные устройства (АРМ, ЛВС, маршрутизаторы, коммутаторы, межсетевые экраны, VPN), обеспечивающие информационный обмен, что позволит, в свою очередь, повысить защищенность информационных ресурсов и электронного документооборота железнодорожного транспорта.

ТАБЛИЦА 1. Сравнительная характеристика программной реализации криптографических алгоритмов

Крипто-алгоритм	Скорость преобразования (Pentium1600)	Используемая оперативная память	Устойчивость к инженерному криптоанализу	Примечание
ГОСТ-28147-89	128 Мбит/с	1.5 Кбайт	Низкая	Ключ и неизвестные S-блоки восстанавливаются (атакующим) методом аппаратных ошибок
3DES	90 Мбит/с	2.0 Кбайт	Низкая	Ключ и неизвестные S-блоки восстанавливаются (атакующим) методом аппаратных ошибок
Предлагаемые алгоритмы	200-250 Мбит/с	2.5 Кбайт	Повышенная	За счет использования управляемых подстановочно-перестановочных сетей

4. Литература

- Корниенко А.А., Еремеев М.А., Яковлев В.В. Анализ возможностей использования методов и средств криптографической защиты в информационной системе дорожного (регионального) уровня // Сборник материалов первой межведомственной конференции "Проблемы обеспечения информационной безопасности на федеральном железнодорожном транспорте", МПС, – СПб, 2001. – С. 169-172.
- Еремеев М.А., Корниенко А.А. Разработка и исследование свойств управляемых операционных подстановок над векторами большой размерности в итеративных блочных криптоалгоритмах // Проблемы информационной безопасности, – СПб, №2, 2002. – С. 18-32.
- Молдовян Н.А., Молдовян А.А., Еремеев М.А. Криптография: от примитивов к синтезу алгоритмов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 448 с.: ил.

УДК 656.022

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ В НЕЙ РОЛИ ПРИГОРОДНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Е.П. Дудкин, Н.Е. Коклева, Н.В. Левадная

Аннотация

В настоящее время главной целью транспортной политики становится создание конкурентно-способной, интегрированной транспортной системы, способной привлечь пассажиров с личного автомобильного на общественный транспорт. Проанализирована структура городского транспорта Санкт-Петербурга и предложено одно из направлений повышения роли пригородных железных дорог в транспортной инфраструктуре города.

Ключевые слова: пассажирские перевозки; структура пассажиропотока; натурные и маркетинговые исследования; транспортное моделирование.

1. Городская транспортная система в настоящее время

1.1. Современные требования к городскому транспорту

В современных ориентированных на потребителя экономических условиях необходимо предоставить населению возможность выбора из широкого спектра разнообразных и гибких транспортных вариантов.

В то же время рост уровня автомобилизации и коммерческого транспорта приводит к некоторому снижению пассажиропотока на общественном транспорте и к ряду проблем, связанных с возникновением многочисленных заторов движения на улицах города.

Зарубежный опыт в освоении пригородно-городских и внутригородских перевозок железной дорогой, как бы объединяющей функции городского и пригородного транспорта одновременно, представляет интерес для решения вопросов организации транспортного обслуживания населения крупных и средних городов России.

1.2. Изучение структуры транспортной сети Санкт-Петербурга

В настоящее время одним из важнейших направлений научных исследований являются работы по изучению структуры и повышению качества городского пассажирского транспорта Санкт-Петербурга для сохранения круга постоянных клиентов и, в особенности, привлечения новых.

С этой целью на первом этапе необходимо проводить исследования пассажиропотоков на общественном и индивидуальном транспорте. Проведенные натурные обследования помогают дать оценку сезонной неравномерности пассажиропотоков, служат для определения объемов и

распределения пассажиропотоков по транспортной сети. Деятельность по изучению пассажиропотоков на городских путях сообщения создает информационную базу, необходимую для разработки эффективных планов развития транспортной системы города

Практика показывает, что проводить обследования, а в дальнейшем и использовать их результаты, целесообразно одновременно на всех видах транспорта вдоль линии, разделяющей крупные функциональные зоны. В качестве такой линии была принята граница ядра Петербургской агломерации.

В результате двухлетней работы была изучена динамика перевозок на железнодорожном транспорте в сравнении с данными натурных обследований, проведенных в 1987 году, отраженная на рис. 1 и структура пассажиропотока на городском транспорте, представленная в таблице 1 и на рис. 2.

ТАБЛИЦА 1. Пассажиропотоки на пассажирском транспорте в центре города, весна 2004 г., тыс. чел. (утро, 7.00-10.00)

	из центра	в центр
Всего транспортных средств	28019	41597
Всего пассажиров	149540	264519
на метрополитене	94532	180124
на железнодорожном транспорте	2963	7441
на автомобильном транспорте	52045	76954
<i>из них на общественном транспорте</i>	<i>18306</i>	<i>24000</i>

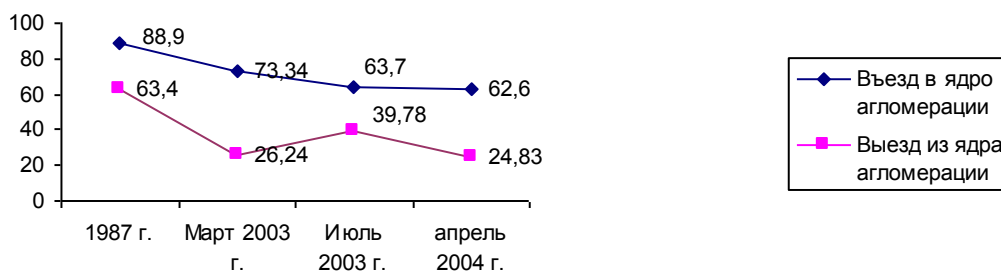


Рис. 1. Пассажиропоток на железнодорожном транспорте на границе ядра агломерации за утренний час «пик»

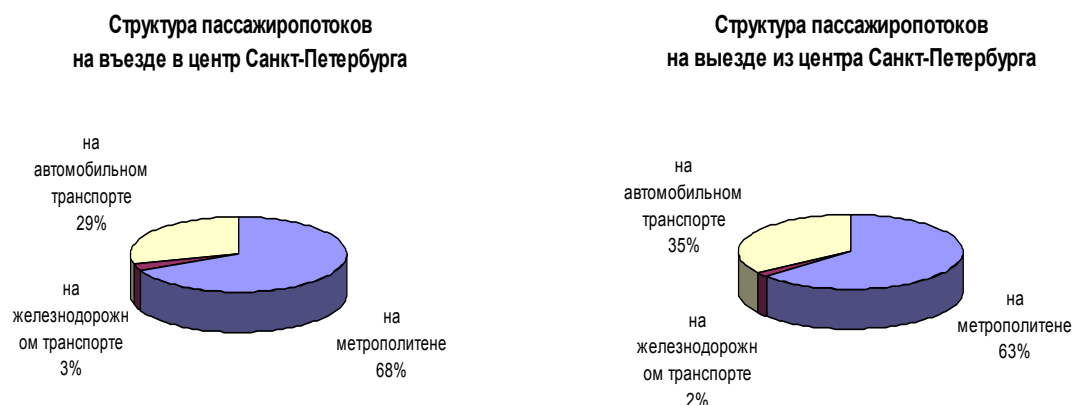


Рис.2. Структура пассажиропотока на наземном общественном транспорте Санкт-Петербурга за утренний час «пик», март, 2004 г.

1.3. Анализ существующей ситуации

Натурные обследования позволили сделать вывод об изменении потока во времени суток: если раньше наблюдались ярко выраженные утренние и вечерние часы «пик», то сейчас при одновременном уменьшении доли пиковых нагрузок расширился и ее интервал в суточном объеме перевозок.

По сравнению с 1987 годом в 2003 году количество пассажиров, пользующихся железной дорогой, сократилось в 1,5 раза, в 2004 году – в 1,7 раза, что говорит о снижении роли пригородного железнодорожного транспорта в транспортной стратегии города. А при сложившейся в настоящее время загруженности автомобильных дорог, повышение привлекательности пригородного железнодорожного транспорта и связанное с этим перераспределение пассажиропотоков, является одним из наиболее эффективных и реальных направлений решения транспортных проблем города.

2. Возможности повышения роли пригородных железных дорог в транспортной системе города

Сегодня железная дорога теряет часть пассажиропотока по причине низкой скорости электропоездов, отсутствия достаточного комфорта и условий проезда, что снижает конкурентоспособность железнодорожных перевозок. Одним из самых перспективных направлений повышения роли пригородных железных дорог в транспортной системе города является ввод в эксплуатацию современных электропоездов повышенной комфортности. Обоснование эффективности и целесообразности использования таких электропоездов на направлениях Санкт-Петербург-Колпино и Санкт-Петербург-Павловск проводилось в три этапа:

натурные обследования, математическое моделирование и маркетинговые исследования. Выполненные натурные обследования пассажиропотоков дали возможность использовать математическое моделирование для решения транспортной задачи.

2.1. Применение математического моделирования для решения транспортных задач

Спрогнозировать развитие ситуации при различных воздействиях на транспортную систему позволяет использование транспортного моделирования (Мягков В.Н. и др., 1989). Единая модель структуры пассажирского транспорта строится на основе агрегированного транспортного графа, образованного осями городских магистралей, используемых для движения городского пассажирского транспорта, линиями метрополитена и пригородной железной дороги. Метрополитен, железная дорога и наземный транспорт представляют собой подмножество графов, связанных друг с другом условными дугами пересадочных узлов, что обеспечивает связность всего графа.

Модель, разработанная коллективом специалистов ЭМИ РАН и ЗАО «Петербургский НИПИГрад», предусматривает двухэтапный алгоритм, включающий построение матрицы межрайонных корреспонденций и расчет потокораспределения в сети пассажирского транспорта.

Для построения матрицы межрайонных корреспонденций территория городской агломерации разбивается на транспортные районы. Внутренние корреспонденции в районах равны нулю. Кроме того, необходима информация о размерах прибытий и отправок для различных типов передвижений в каждом районе, а также данные о неравномерности передвижений, о распределении поездок во времени или дальности и т.д. Сбор и актуализация этой информации часто является трудно осуществимой задачей. Поэтому во многих случаях для прогноза загрузки транспортной сети необходимо использовать данные прямых обследований корреспонденций, т.е. натурные обследования являются важным элементом в обеспечении адекватности работы модели, позволяющие производить ее калибровку или корректировку. Основой для калибровки модели является сопоставление модельных и наблюдаемых данных. (Швецов В.И. и др., 1986).

Для прогноза пассажиропотока на поездах повышенной комфортности применялась описанная выше транспортная модель. Результаты математического моделирования приведены в таблице 2.

Результаты математического моделирования показали, что электропоезд «Спутник» может привлечь в среднем около 30 процентов пассажиров, пользующихся транспортом на данных направлениях, из них в среднем 6 процентов – пассажиры наземного транспорта, 24 процента – пассажиры железнодорожного транспорта. Одновременно с этим,

увеличится посадка на основных станциях выбранных направлений в среднем на 26 процентов, а увеличение суммарной транспортной работы на железнодорожном транспорте в пределах Санкт-Петербурга составит 3,5 процента.

ТАБЛИЦА 2. Структура пассажирских перевозок до и после ввода скоростного электропоезда «Спутник» в утренний час «пик» (с 7.00 до 10.00)

Вид транспорта	из СПб				в СПб			
	Существующее положение		После реализации проекта		Существующее положение		После реализации проекта	
	пасс.	%	пасс.	%	пасс.	%	пасс.	%
СПб-Колпино								
«Спутник»	-	-	257	13	-	-	2336	33
Соц. электропоезд	427	22	301	15	4641	65	2743	38
Наземный обществ. тр-т	1566	78	1435	72	2513	35	2075	29
СПб-Павловск								
«Спутник»	-	-	128	17	-	-	1331	31
Соц. электропоезд	236	31	170	22	2882	66	1764	41
Наземный обществ. тр-т	528	69	466	61	1416	34	1203	28

2.2. Краткая методика и результаты маркетинговых исследований

Обзор рынка пассажирских перевозок по направлениям С.-Петербург - Колпино и С.-Петербург-Пушкин-Павловск состоял из двух частей.

В первой части была сделана сравнительная характеристика различных видов транспорта по выбранным направлениям для:

- выявления всех возможных способов проезда до (из) г. Колпино, Пушкин, Павловск.
- описания основных параметров конкурентоспособности (характеристик) различных видов пассажирского транспорта.

При этом были рассмотрены следующие параметры конкурентоспособности общественных видов транспорта:

- цена на билет, руб.
- время в пути.

Характеристика «время в пути» учитывает время, затрачиваемое пассажирами при перемещении из центра Санкт-Петербурга в центр городов Колпино, Пушкин или Павловск с учетом:

- времени ожидания в очереди (либо интервала в движении общественного транспорта),

- времени в пути от центра Санкт-Петербурга (ст. метро «Невский проспект» и «Технологический институт» с учетом переходов) до пункта отправления в Санкт-Петербурге (например, станция метро «Московская»),
 - времени в пути из центра г. Колпино до вокзала г. Колпино.
- Все временные параметры измерялись в пиковое время в будний день. Укрупненные результаты проведенного исследования можно привести в сводной таблице (Таблица 3):

ТАБЛИЦА 3. Укрупненные результаты исследования

Вид транспорта	Цена	Время в пути «из центра в центр»
Муниципальный автобус	7 руб.	1 час 10 мин. – 1 час 20 мин.
Электропоезд	15 – 20 руб.	55 – 60 мин.
Маршрутное такси	20 – 25 руб.	60 мин. – 1 час 25 мин.

При этом следует отметить, что цена на билет минимальна в муниципальном автобусе, но попасть в него, впрочем, как и в электропоезд, в час «пик» крайне сложно, и в этих условиях речь о комфортной поездке идти не может. Минимальное время в пути «из центра в центр» затрачивается при поездке на электропоезде, однако маршрутное такси, по мнению исследователей, является более комфортным.

Вторая часть исследования представила собой опрос пассажиров маршрутных такси, ожидающих своей очереди, с целью определить возможность и условия перемещения пассажиропотока по указанным направлениям с маршрутных такси на электропоезд повышенной комфортности.

Опрос проводился на конечных остановках маршрутных такси и муниципальных автобусов около ст. метро «Звездная» и «Московская».

Пассажиропоток в будний день и час «пик» (с 17:00 до 20:00) составляет:

- для маршрутных такси от ст. метро «Звездная» по направлению С.-Петербург-Колпино: 1578 чел. Опрошено 287 пассажиров, выборка – 18,2 %.
- для маршрутных такси от ст. метро «Московская» по направлению С.-Петербург-Пушкин-Павловск: 2265 чел. Опрошено 188 пассажиров, выборка – 8,3 %
- для муниципального автобуса от ст. метро «Московская» по направлению С.-Петербург-Пушкин-Павловск: 1620 чел. Опрошено 108 пассажиров, выборка составляет 6,7 % от общего количества пассажиров.

Из них на вопрос: «Будете ли Вы пользоваться скоростным электропоездом повышенной комфортности при максимальной цене на

билет 30 руб., временем в пути 20 мин. и удобным для Вас временем отправления-прибытия?» ответили² (Таблица 4):

ТАБЛИЦА 4. Результаты опроса по пользованию скоростным электропоездом

	Маршрут		
	С.-Петербург-Колпино (маршрутное такси)	С.-Петербург- Пушкин (Павловск) (маршрутное такси)	С.-Петербург– Пушкин (муниципальный автобус)
ДА	60,6 %	55,0 %	43,5 %
НЕТ	32,1 %	39,2 %	47,2 %
НЕ ЗНАЮ	7,3 %	5,8 %	9,3 %

Среди основных причин, по которым пассажиры не хотят пользоваться электропоездом «Спутник» называют (Таблица 5):

ТАБЛИЦА 5. Результаты опроса по пользованию электропоездом «Спутник»

Причина	% от числа ответивших «НЕТ» по маршрутам		
	С.-Пб–Колпино (маршрутное такси)	С.-Пб–Пушкин (Павловск) (маршрут. такси)	С.-Пб–Пушкин (муниципальный автобус)
Не удобно (далеко от дома, места работы, вокзала и пр.)	59,2	57,6	42,9
Не устраивает цена	16,0	27,9	32,1
Предпочитаю маршрутное такси	7,4	7,8	14,3
Нет льгот	-	-	7,1

Для пассажиров, которые на сегодняшний день пользуются в основном маршрутным такси, совершают поездки от 3 до 7 раз в неделю, и выразивших желание пользоваться электропоездом «Спутник» было определено удобное время прибытия/отправления на соответствующий железнодорожный вокзал³.

Способ прогнозирования спроса на основе анализа потребительских намерений, который был использован во второй части исследования, возможно, является оптимальным для получения информации о спросе, поскольку он предполагает ее получение у самих потребителей, а лучше их

² Результаты приведены в процентах от числа опрошенных на данном маршруте

³ Санкт-Петербург Московский для маршрута в (из) г. Колпино, и Санкт-Петербург Витебский для маршрута в (из) г. Павловска.

никто не знает о спросе, который они же и предъявляют. Однако этот способ обладает рядом серьезных ограничений, таких, как:

- это достаточно дорогие исследования, поскольку предполагают опросы тысяч, а иногда и десятки тысяч потребителей. Это необходимо, так как выборка должна быть репрезентативна, представлять пропорционально интересы всего рынка;
- потребители далеко не всегда охотно делятся своими намерениями;
- даже высказанное намерение – это не есть еще реально совершенная покупка.

К тому же для более полного анализа спроса на высокоскоростной электропоезд повышенной комфортности «Спутник» необходимо проводить исследования такого сегмента как владельцы личных автомобилей, для чего может быть применен метод телефонного интервью жителей городов Колпино, Павловск и Пушкин.

3. Заключение

Результаты математического моделирования показали, что ввод в эксплуатацию электропоездов повышенной комфортности на направлениях Санкт-Петербург – Колпино и Санкт-Петербург – Павловск может привлечь в среднем около 30% пассажиров, пользующихся транспортном на данных направлениях (6% – пассажиры наземного транспорта, 24% – пригородного поезда).

Экспресс-анализ маркетинговых исследований (опрошено около 12,5% от общего объема пассажиропотока) показали, что до 50% опрошенных пассажиров в часы «пик» в маршрутных такси готовы пользоваться новым видом транспорта. Получены данные по наиболее удобному времени прибытия и отправления поездов и основные причины, по которым пассажиры не хотят пользоваться этими поездами.

Данные исследования необходимо проводить систематически и не столько с целью определения изменения пассажиропотоков на конкретном направлении, сколько с целью выявления наиболее перспективных направлений, первоочередности и последовательности ввода в эксплуатацию этих поездов, влияния их на работу всей транспортной системы города, определения и обоснования мероприятий по привлечению пассажиров на анализируемые виды транспорта.

4. Литература

Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование работы железнодорожного транспортного узла Санкт-Петербурга в освоении пригородных и городских перевозок», Санкт-Петербург, ПГУПС, 2003.

Отчет о научно-исследовательской работе «Экспресс-анализ» использования скоростного электропоезда «Спутник» для пригородных сообщений Санкт-Петербург – Павловск и Санкт-Петербург – Колпино», Санкт-Петербург, ПГУПС, 2004.

Мягков В.Н., Пальчиков Н.С., Федоров В.П. Математическое обеспечение градостроительного проектирования, Ленинград, «Наука», 1989.

Швецов В.И., Алиев А.С. Математическое моделирование загрузки транспортных сетей, Ленинград, «Наука», 1986.

УДК-656.2

ОЦЕНКА ПЛОТНОСТИ ПАССАЖИРОВ НА ПЛАТФОРМАХ МЕТРО

М.Н. Василенко, В.А. Ходаковский, М.А Шварц

Аннотация

Рассматривается метод оценивания плотности пассажиропотока на платформах метрополитена путем построения регрессионной модели потока и аппроксимации рядом Фурье объективных данных системы (АСКОП) о прохождении пассажирами турникетов с кратностью выборки 5 мин. Проведена проверка качества аппроксимации по остаточной дисперсии. Проведена оценка населенности платформ по направлениям.

Ключевые слова: выборка, плотность, ряд Фурье, регрессия

Введение

С внедрением на метрополитене автоматизированной системы контроля оплаты проезда (АСКОП) появилась техническая возможность получения объективных данных о количестве пассажиров, прошедших через турникеты. Кратность выборок в системе АСКОП, применяемой на Петербургском метрополитене, равна 5 минутам, что является достаточным для использования информации в процессе оперативного управления линией и позволяет формировать базу данных значений интенсивности пассажиропотока за прошедший период $Pn(t)$ (чел/мин) и осуществлять динамическое сравнение выборок из этой базы со значениями текущими $Pm(t)$, получаемыми непосредственно из базы данных АСКОП.

Текущую плотность пассажиров на платформах станций в различных направлениях необходимо оценивать в зависимости от времени суток с учетом матрицы корреспонденций. Решение таких задач требует разработки математического аппарата, позволяющего создать адекватную модель пассажиропотока с заданным уровнем достоверности.

В настоящей работе предлагается построение модели пассажиропотока с использованием метода регрессионного статистического анализа выборок АСКОП.

1. Моделирование пассажиропотока

Модель пассажиропотока определим в виде функции:

$$f(x) = \alpha_0 + \alpha_1 \cos x + \beta_1 \sin x + \dots + \alpha_m \cos mx + \beta_m \sin mx \quad (1)$$

Оценки параметров модели (1) определяются последовательно следующим образом:

$$\tilde{\alpha}_0 = \bar{y}; \quad \tilde{\alpha}_k = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \cos kx_i; \quad \tilde{\beta}_k = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i \sin kx_i \quad (2)$$

где $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} y_i$.

Функция
$$\tilde{y}(x) = \tilde{\alpha}_0 + \sum_{k=1}^m \tilde{\alpha}_k \cos kx + \tilde{\beta}_k \sin kx \quad (3)$$

определяет выборочную эмпирическую регрессию $\tilde{Y}$ на x , которая представляет собой оценку теоретической регрессии (1) по результатам регистрации. С помощью разностей между регистрируемыми значениями y_i и расчетными $\tilde{y}_i$ вычислим остаточную дисперсию:

$$S^2 = \frac{Q_e}{n - (2m + 1)} \quad (4)$$

$$Q_e = \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \tilde{y}_i)^2 \quad (5)$$

Остаточная дисперсия (4) определяет качество аппроксимации результатов регистрации моделью (1). Данная модель представляет собой частичную сумму ряда Фурье порядка m . Возникает важная задача определения наилучшего (оптимального) порядка модели. Для ее решения предлагается сравнивать остаточную дисперсию ошибок для двух последовательных значений $2(m-1)+1$ и $(2m+1)$. Если $S^2(2m-1) > S^2(2m+1)$ и, кроме того,

$$S^2_{(2m-1)/S^2(2m+1)} > F_{1-\alpha(n-(2m+1), n-(2m-1))} \quad (6)$$

где $S^2(2m+1) = \frac{Q_e(\tilde{\alpha}_0, \tilde{\alpha}_1, \tilde{\beta}, \dots, \tilde{\alpha}_m, \tilde{\beta}_m)}{n - (2m + 1)}, m = 1, 2, \dots$

$F_{1-\alpha(n-(2m+1), n-(2m-1))}$ – значение функции Фишера с $n-(2m+1), n-(2m-1)$ степенями свободы и уровнем значимости α .

Таким образом, различие оценок дисперсий $S^2(2m-1)$ и $S^2(2m+1)$ значимо и порядок модели необходимо увеличить на единицу. Если же

различие указанных дисперсий незначимо, то следует остановиться на модели порядка $2m-1$.

Величину $Q_e(\bar{\alpha}_0, \bar{\alpha}_1, \bar{\beta}_1, \dots, \bar{\alpha}_m, \bar{\beta}_m)$ последовательно вычислим с помощью соотношения:

$$Q_e = \sum_{i=1}^{n-1} y_i^2 - n\tilde{\alpha}_0^2 - \frac{n}{2} \sum_{k=1}^m \left(\tilde{\alpha}_k^2 + \tilde{\beta}_k^2 \right) \quad (7)$$

После определения порядка « m » регрессионной модели (3) появляется возможность получить оценку ковариационной матрицы параметров матрицы параметров:

$$K = S^2 (A^T A)^{-1}, \quad (8)$$

а также определить границы доверительных интервалов для параметров:

$$\tilde{\alpha}_j \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m+1))} S \sqrt{a_{jj}}, \quad (9)$$

где a_{jj} – элемент матрицы $(A^T A)^{-1}$, α – заданный уровень значимости, $t_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m+1))}$ – квантиль распределения Стьюдента при уровне значимости α и числе степеней свободы $n-(2m+1)$.

Определим доверительный интервал для дисперсии σ^2 ошибок наблюдений:

$$\frac{(n-(2m+1)) S^2}{\chi_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m+1))}^2} < \sigma^2 < \frac{(n-(2m+1)) S^2}{\chi_{\frac{\alpha}{2}, (n-(2m+1))}^2}, \quad (10)$$

где $\chi_{1-\frac{\alpha}{2}}^2, \chi_{\frac{\alpha}{2}}^2$ – квантили χ^2 – распределения.

Модель (1) представляет собой разложение случайного процесса, характеризующего пассажиропоток за определенный период (одни сутки).

Доверительные интервалы для параметров определяются выражениями:

$$\tilde{\alpha}_0 \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m-1))} \frac{S}{\sqrt{n}}; \tilde{\alpha}_k \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m-1))} S \sqrt{\frac{2}{n}}; \tilde{\beta}_k \pm t_{1-\frac{\alpha}{2}, (n-(2m-1))} S \sqrt{\frac{2}{n}} \quad (11)$$

Так как n с учетом количества 5 минутных выборок АСКОП достаточно велико (≥ 240), то при $\alpha=0.05$ $t=1.96$.

Далее необходимо осуществить проверку гипотезы $H_0: \alpha_1=0, \beta_1=0, \dots, \alpha_m=0, \beta_m=0$. Если гипотеза H_0 верна, то модель (1) статистически незначима.

Для проверки данной гипотезы воспользуемся статистикой:

$$\frac{Q_r / 2m}{Q_e / (n - (2m - 1))} = \frac{Q_r}{2mS^2} \quad (12)$$

Данная статистика при справедливости гипотезы H_0 имеет распределение Фишера с $2m$ и $n - (2m - 1)$ степенями свободы.

$$Q_r = \sum_{i=1}^n \left(\xi_i - \bar{y} \right)^2 \quad (13)$$

Вычисление статистики удобно производить, опираясь на тождество:

$$Q_y = Q_r + Q_e \quad (14)$$

где:

$$Q_y = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\xi_i - \bar{y} \right)^2 = \sum_{i=0}^{n-1} y_i^2 - n\bar{y}^2 \quad (15)$$

или по формуле:

$$Q_r = \tilde{\alpha}^T A^T Y - n\bar{y}^2 \quad (16)$$

2. Применение регрессионной модели

Полученная регрессионная модель пассажиропотока позволяет решить следующие актуальные задачи:

- определение средних $Pn(t)$ значений и их доверительных границ для заданных периодов времени;
- определение изменений интенсивности пассажиропотока $Pm(t)$, превышающих границы доверительных интервалов;
- определение значений плотности пассажиров на платформах станций

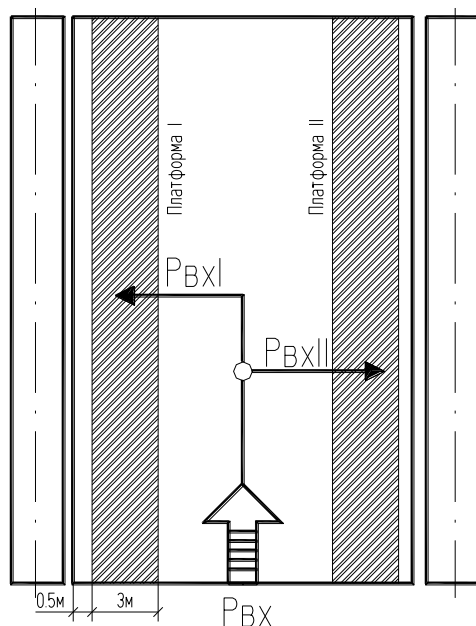


Рис. 1. Схема платформы

для формирования ограничений на возможные решения задачи (1).

Методом экспертных оценок получены следующие границы значений населенности n (чел/м²) платформ:

- $n \leq 1$ - низкая населенность;
- $1 \leq n \leq 3.5$ - нормальная населенность;
- $n > 3.5$ - высокая населенность.

Рассмотрим некоторую станцию метрополитена рис. 1.

Будем анализировать населенность платформ в зоне максимального накопления пассажиров, обозначенной штриховкой. Площадь данной зоны составляет $S = 3l_{nz} \text{ м}^2$.

Интенсивность общего входного пассажиропотока $P_{вх}$ в общем случае равна:

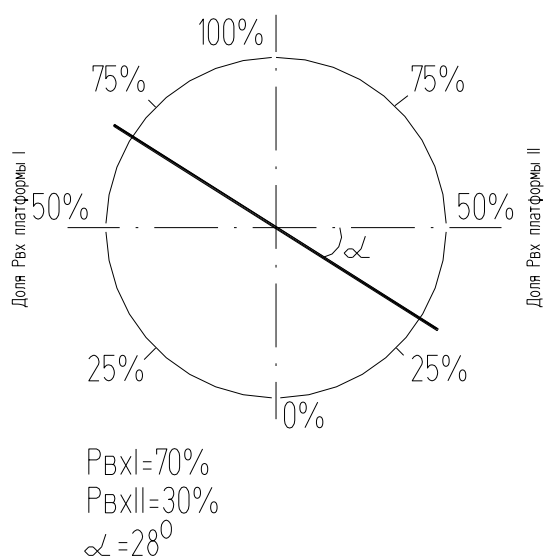
$$P_{вх} = (P_{вх_{с1}} + \dots + P_{вх_{сv}}) + (P_{вх_{n1}} + \dots + P_{вх_{nm}}), v, m = 1, n, \quad (17)$$

где:

$P_{вх_{с}}$ - интенсивность входного пассажиропотока через вестибюли станции;

$P_{вх_{с}}$ $P_{вх_{n}}$ - интенсивность входного пассажиропотока через переходы на другие линии.

Чтобы оценить распределение пассажиров по платформам различных направлений через величины $P_{вхI}, P_{вхII}$ введем понятие «угол неравномерности распределения пассажиров» α . Графическая интерпретация данного параметра приведена на рис. 2.



Тогда интенсивность пассажиропотока для каждого направления для i -й выборки составит:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_{вх} \cos^2 \alpha \\ p_2 &= p_{вх} \sin^2 \alpha \end{aligned} \quad (18)$$

Соответственно, населенность платформ соответствующих направлений составит:

$$\begin{aligned} n_1(t) &= 1.3 p_1(t) S^{-1}_1 \\ n_2(t) &= 1.3 p_2(t) S^{-1}_2, \end{aligned} \quad (19)$$

где параметр t задает интервалы времени между подходящими поездами.

Рис. 2. Угол неравномерности распределения пассажиров

Угол перекоса пассажирской нагрузки возможно получить с помощью часовых матриц корреспонденций $M(t), t = 0, 1, \dots, 23$.

Матрицей корреспонденций называется квадратная матрица размерности $n \times n$, равной количеству станций на метрополитене. В строках данной матрицы записывается количество пассажиров, проехавших с данной станции на другие станции линии.

Для линии, изображенной на рис. 2, матрица корреспонденций имеет вид, приведенный в таблице 1:

ТАБЛИЦА 1. Матрица корреспонденций

Станции	А	Б	В	Г	Д	Е	Вход
А	0	$n_{аб}$	$n_{ав}$	$n_{аг}$	$n_{ад}$	$n_{ае}$	n_a
Б	$n_{ба}$	0	$n_{бв}$	$n_{бг}$	$n_{бд}$	$n_{бе}$	n_b
В	$n_{ва}$	$n_{вб}$	0	$n_{вг}$	$n_{вд}$	$n_{ве}$	n_v
Г	$n_{га}$	$n_{гб}$	$n_{гв}$	0	$n_{гд}$	$n_{ге}$	n_g
Д	$n_{да}$	$n_{дб}$	$n_{дв}$	$n_{дг}$	0	$n_{де}$	n_d
Е	$n_{еа}$	$n_{еб}$	$n_{ев}$	$n_{ег}$	$n_{ед}$	0	n_e
Выход	n_a	n_b	n_v	n_g	n_d	n_e	$n_{общ}$

Для расчета загрузки платформ в каждом направлении на период времени t рассчитывается суммарное количество пассажиров, уехавших на другие станции с соответствующей платформы.

Очевидно, что для конечных станций линии весь входной пассажиропоток приходится на одну платформу, следовательно, $p_i(t) = p_{\text{вх}}(t) \cos 90 = p_{\text{вх}}(t), n_i(t) = 1.3 p_{\text{вх}}(t) S_i^{-1}$

Пример расчета загрузки платформ промежуточных станций проведем для станции Б. Суммарный пассажиропоток с платформ составит:

$$p_1(t) = \frac{n_{ба}}{t} \quad (20)$$

$$p_2(t) = \frac{n_{бв} + n_{бг} + n_{бд} + n_{бе}}{t}$$

Элементарное тригонометрическое преобразование позволяет получить значение $\alpha(t)$ для промежутка времени, относящегося к данной матрице корреспонденций.

Построим регрессионную модель для пассажиропотока ст. «Достоевская» Петербургского метрополитена.

Функция (1) имеет вид:

$$y_i := \alpha_0 + \sum_{k=1}^m \alpha_k \cos(x(i, k)) + \sum_{k=1}^m \beta_k \sin(x(i, k))$$

Зададимся порядком модели $m = 7$.

Проверка оптимальности порядка модели на основании оценок дисперсий (6) для $m = 7, m = 8$ показывает, что уровень значимости ошибки для $m = 9$ не превышает значение функции Фишера для уровня значимости

$\alpha = 0.95$. По формулам (11) определены границы доверительных интервалов параметров модели.

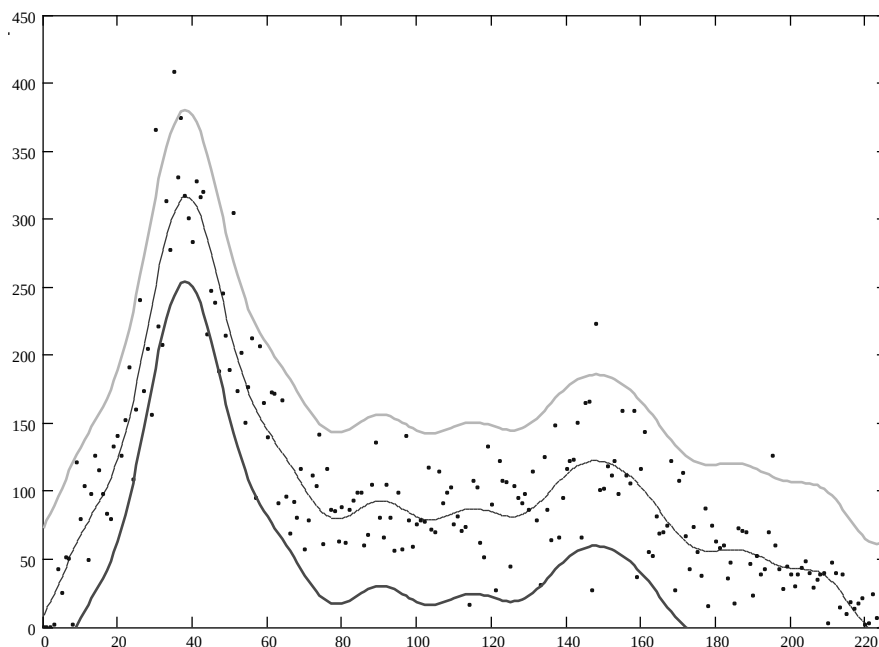


Рис. 3. График изменения входного пассажиропотока и границы доверительных интервалов

На рис. 3 приведен график изменения входного пассажиропотока и границы доверительных интервалов.

На основании полученной модели пассажиропотока произведен расчет зависимости населенности платформ станции для соответствующего угла неравномерности пассажирской нагрузки.

Внешний вид графика изменения населенности платформы, при различных межпоездных интервалах, полученный с использованием разработанной методики, приведен на рис. 4.

В работе адекватность модели проверялась путем сравнения расчетной плотности пассажиров на платформах с реальной населенностью для различных межпоездных интервалов. Фактическая населенность платформы определялась посредством фотосъемки с последующим определением количества пассажиров на контрольном участке платформы.

Результаты сравнения для станции «Лиговский проспект» Петербургского метрополитена приведены в таблице 2.

Таким образом, расчетные значения отличаются от реальных не более чем на 5.7 %, что позволяет сделать вывод о достаточной точности оценок.

Заключение

Рассмотренный метод получения регрессионной модели потока пассажиров на платформах метрополитена может быть рекомендован и для решения других задач, где требуется аппроксимация (фильтрация временного ряда) значений статистической выборки. Практика применения метода показывает, что хорошие результаты могут быть получены при учете всего 7 гармоник разложения в ряд Фурье.

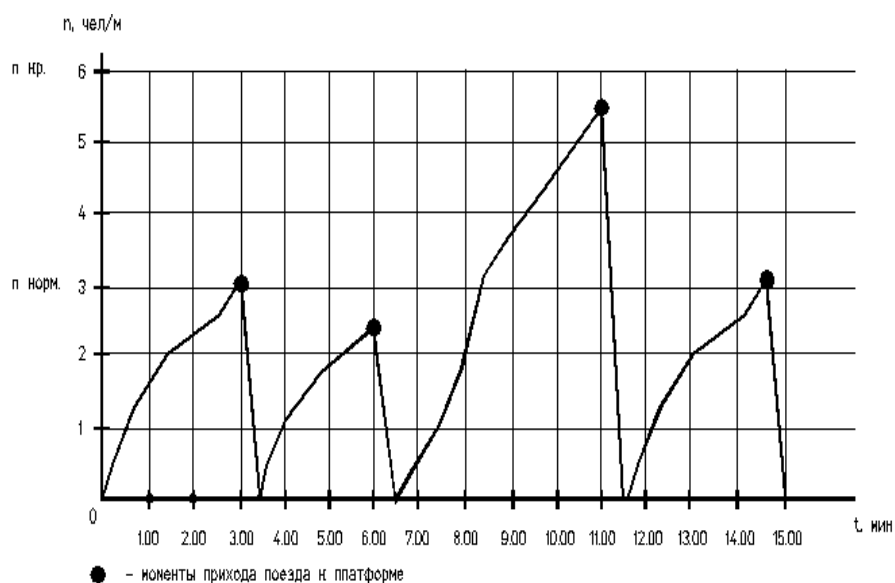


Рис. 4. График населенности платформы

ТАБЛИЦА 2. Сравнение расчетной плотности пассажиров на платформах с реальной населенностью для различных межпоездных интервалов

Межпоездной интервал, мин	Плотность пассажиров расчетная, чел/м ²	Плотность пассажиров фактическая, чел/м ²
2	1.84	1.95
3	2.20	2.30
5	2.91	2.83
6	3.51	3.42

УДК 62-758.37

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО ПРЕДОХРАНИТЕЛЯ С КОНТРОЛЕМ ПЕРЕГОРАНИЯ ПЛАВКОЙ ВСТАВКИ

А.М. Костроминов, А.А. Костроминов, Д.Л. Павлов

Аннотация

Рассматривается температурное поведение комбинированного плавкого предохранителя, в котором применены две включенные параллельно плавкие вставки: медная и константановая, в зависимости от величины протекающего через них стационарного тока.

Ключевые слова: предохранитель, медная плавкая вставка, константановая плавкая вставка, контроль перегорания.

Введение

По статистическим данным Октябрьской железной дороги, из 10 случаев срабатывания плавких предохранителей в системах СЦБ лишь в одном случае обнаруживалось короткое замыкание в защищаемой электрической цепи, а в остальных 9 случаях после замены предохранителя работоспособность устройств СЦБ восстанавливалась. Следовательно, 90% случаев срабатывания плавких предохранителей являются ложными, но в этих случаях полностью либо частично прекращается функционирование систем СЦБ до момента замены предохранителя. Однако время между моментом срабатыванием предохранителя и моментом его замены часто бывает весьма значительным (до нескольких часов), что вызывает серьезные нарушения в графике движения поездов. Эти обстоятельства обуславливают высокую актуальность проблемы повышения надежности плавких предохранителей в системах СЦБ.

1. Постановка задачи

Ложные срабатывания предохранителей с контролем перегорания плавкой вставки происходят примерно в 5 раз чаще по сравнению с предохранителями без контроля ее перегорания. Причиной является механическое вытягивание нити плавкой вставки подпружиненным контрольным устройством, зацепленным за середину нити.

Чтобы устранить этот недостаток и повысить надежность предохранителя, предлагается в предохранителе установить параллельно включенные две плавкие вставки: медную и константановую. Медная плавкая вставка является рабочей и калибруется под заданный номинал

тока, а константановая плавкая вставка выполняет вспомогательную контрольную функцию и изготавливается из тонкой проволоки, одинаковой для всех номиналов предохранителя.

Задачей работы является оценка температурного поведения медной и константановой комбинированного плавкого предохранителя в зависимости от протекающих через них токов.

2. Математические модели и расчеты

Рассмотрим предохранитель, в котором параллельно рабочей плавкой вставке подключена константановая нить. Принцип работы контроля состоит в том, что константановая нить с относительно большим омическим сопротивлением должна сгорать в том и только в том случае, когда сгорит рабочая нить из меди. При этом на рабочую нить не оказывается механическое воздействие со стороны пружины контрольного устройства, что способствует повышению надежности предохранителя.

Перейдем к математическим моделям.

Обозначим через S_K , S_{Cu} , l_K , l_{Cu} сечения и длины константановой и медной проволок. Можно положить $l_K = l_{Cu}$, так как обе проволоки прикрепляются к одним и тем же контактам.

Рассматриваемый плавкий предохранитель, имеет следующую конфигурацию. Цилиндрические плавкие вставки (проволока круглого сечения) длины l с сечениями S_K , S_{Cu} прикреплены концами к массивным металлическим контактам (масса контактов по крайней мере на порядок превосходит массу проволок). Схематично предохранитель изображен на рисунке 1.

Для получения оценки сверху для температур нагрева проволок будем пренебрегать теплотериями через их поверхности. С учетом этого условия запишем уравнение теплового баланса для элемента плавкой вставки длины Δl (рис.2).

При составлении уравнения учтем, что изменение температуры ΔT элемента Δl , происходит за счет выделяемого в этом элементе тепла и за

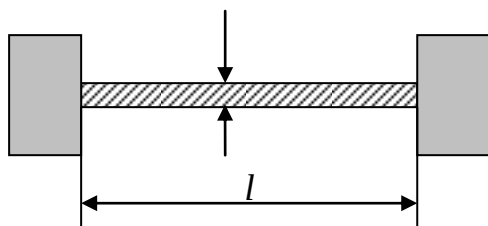


Рис.1. Схема плавкого предохранителя



Рис.2. Элемент плавкой вставки длины Δl

счет тепловых потоков q_-S и q_+S через торцы элемента. В результате получаем следующее уравнение:

$$i^2 \rho \frac{\Delta l}{S} \Delta t = c S \Delta l \lambda \Delta T + (q_+ S - q_- S) \Delta t, \quad (1)$$

где $i(t)$ – импульс тока;

ρ – удельное электрическое сопротивление материала плавкой вставки;

S – площадь поперечного сечения плавкой вставки;

λ – плотность материала плавкой вставки;

c – удельная теплоемкость материала плавкой вставки;

Δt – малый временной интервал.

Примем во внимание, что

$$q_+ = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0+\Delta l}; \quad q_- = -\kappa \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0}, \quad (2)$$

где κ – коэффициент теплопроводности материала плавкой вставки.

Отметим, что

$$q_+ - q_- = -\kappa \left(\frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0+\Delta l} - \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=x_0} \right) \approx -\kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \Delta l. \quad (3)$$

Подставим (3) в (1), сократим на Δl , поделим на Δt и перейдем в полученном равенстве к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$. В результате получим следующее уравнение:

$$\frac{i^2 \rho}{S} = c S \lambda \frac{\partial T}{\partial t} - \kappa S \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}. \quad (4)$$

Начальные и граничные условия для уравнения (4) запишем в следующем виде:

$$T(x, t) \Big|_{t=0} = T_0, \quad (5')$$

$$T(x, t) \Big|_{x=\pm l/2} = T_0, \quad (5'')$$

где T_0 – начальная температура плавкой вставки.

Перейдем далее к безразмерным переменным. Для этого выпишем все параметры модели: $c, S, \lambda, \kappa, \rho_0, i_0, l$. Здесь i_0 – амплитуда импульса тока, а ρ_0 – параметр, входящий в зависимость удельного сопротивления материала плавкой вставки от температуры: $\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$.

Из приведенных выше параметров модели нетрудно составить величины, имеющие размерности длины (l), температуры (T_c), времени (t_c):

$$T_c = \frac{\rho_0 i_0^2}{S^2 \kappa} l^2; \quad t_c = \frac{c \lambda}{\kappa} l^2. \quad (6)$$

Параметры $c, \lambda, \kappa, \rho_0$ определяются материалом плавкой вставки. В таблице 1 приведены вычисленные значения множителей $\frac{\rho_0}{\kappa}$ и $\frac{c \lambda}{\kappa}$ из выражений (6), зависящих только от материала для некоторых металлов, используемых при изготовлении плавких вставок.

ТАБЛИЦА 1. Результат вычислений величин $\frac{\rho_0}{\kappa}$ и $\frac{c \lambda}{\kappa}$

<i>Материал</i>	$\frac{\rho_0}{\kappa}$	$\frac{c \lambda}{\kappa}$
Медь	$4,47 \cdot 10^{-3}$	0,90
Константан	2,33	17,7

Для правильного использования табличных данных нужно при выполнении вычислений по формулам (6) брать i_0 в амперах, S – в мм^2 и l – в см.

Перейдем теперь от переменных x, t, T к безразмерным переменным y, τ, ξ :

$$y = \frac{x}{l}; \quad \tau = \frac{t}{t_c}; \quad \xi = \frac{T - T_0}{T_c}. \quad (7)$$

Тогда уравнение (4) с условиями (5') и (5'') запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial \xi}{\partial \tau} - \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} = \frac{i^2}{i_0^2} (1 + \alpha T_c \xi), \quad (8)$$

$$\xi(y, \tau)|_{\tau=0} = 0, \quad (8')$$

$$\xi(y, \tau)|_{y=\pm 1/2} = 0. \quad (8'')$$

Определим, используя уравнение (8), распределение установившейся температуры по длине плавкой вставки. Для решения этой задачи нужно положить в (9) $\frac{\partial \xi}{\partial \tau} = 0$, убрать начальное условие (8') и оставить граничные условия (8''). Получаем краевую задачу для обыкновенного дифференциального уравнения 2-го порядка:

$$\frac{d^2 \xi}{dy^2} + \frac{i^2}{i_0^2} (1 + \alpha T_c \xi) = 0, \quad (9)$$

$$\xi(y)|_{y=\pm 1/2} = 0. \quad (9')$$

Проще всего эта задача решается в случае стационарного тока в плавкой вставке, когда $i = i_0$. Уравнение (9) при этом запишется в виде

$$\frac{d^2 \xi}{dy^2} + \alpha T_c \xi = -1. \quad (10)$$

Выражение (10) представляет собой линейное дифференциальное уравнение 2-го порядка с постоянными коэффициентами. Решение этого уравнения, удовлетворяющее краевым условиям, имеет вид:

$$\xi(y) = \frac{1}{\alpha T_c} \left(\frac{\cos(\sqrt{\alpha T_c} \cdot y)}{\cos(\sqrt{\alpha T_c}/2)} - 1 \right). \quad (11)$$

Формула (11) отражает решение задачи о распределении установившейся температуры по длине плавкой вставки. Для перехода от безразмерной величины ξ к температуре T нужно выполнить преобразование

$$T(y) = T_0 + \xi \cdot T_c = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\cos(\sqrt{\alpha T_c} \cdot y)}{\cos(\sqrt{\alpha T_c}/2)} - 1 \right). \quad (12)$$

Если $\alpha T_c \ll 1$, то формула (12) упрощается:

$$T(y) = T_0 + \frac{T_c}{2} \left(\frac{1}{4} - y^2 \right). \quad (13)$$

Из формулы (13) следует, что при среднем разогреве плавкой вставки график распределения температуры по длине является параболой.

Особый интерес представляет максимальная температура плавкой вставки ($T_{\max}$). Очевидно, максимум достигается в середине плавкой вставки ($y=0$). Искомая температура в этом случае определяется следующим образом:

$$T_{\max} = T_0 + \xi(0) \cdot T_c = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\cos(\sqrt{\alpha T_c}/2)} - 1 \right). \quad (14)$$

Для определения $T_{\max}$ нужно вычислить величину T_c :

$$T_c = \frac{\rho_0 i_0^2 l^2}{S^2 \kappa} = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{i_0^2 l^2}{S^2} [^{\circ}\text{C}] - \text{для меди}, \quad (15)$$

$$T_c = \frac{\rho_0 i_0^2 l^2}{S^2 \kappa} = 0,29 \cdot \frac{i_0^2 l^2}{S^2} [^{\circ}\text{C}] - \text{для константана}, \quad (15')$$

В формулах (15) и (15') были использованы данные таблице 1.

Для быстрого определения максимальной температуры нагрева плавкой вставки ($T_{\max} - T_0$) воспользуемся формулой (14). График зависимости $T_{\max} - T_0$ от T_c приведен на рис. 3.

Для плавкой вставки из константана $\alpha \approx 0$, поэтому можно использовать для вычисления максимальной температуры формулу (13):

$$T_{\max} = T(0) = T_0 + \frac{T_c}{8} = T_0 + 0,29 \cdot \frac{i_0^2 l^2}{S^2}. \quad (16)$$

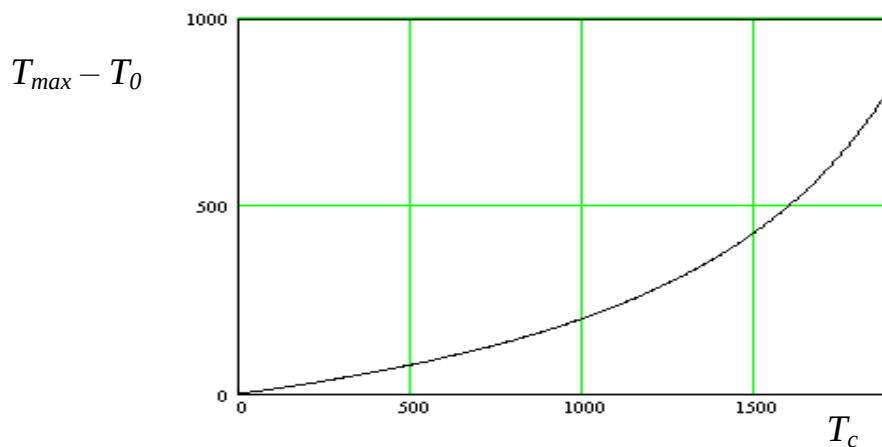


Рис. 3. График зависимости $T_{\max} - T_0$ от T_c

Найдем сопротивление R_{Cu} нагретой медной проволоки. Для вычисления этого сопротивления используем формулу (12) и зависимость

$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha(T - T_0))$ для меди. Сопротивление R_{Cu} определим по формуле

$$\begin{aligned} R_{Cu} &= 2 \int_0^{l/2} \rho_0(1 + \alpha(T - T_0)) \frac{1}{S_{Cu}} dx = \rho_0 \frac{2}{S_{Cu}} \int_0^{l/2} \frac{\cos(\sqrt{\alpha T_c} \cdot x / l)}{\cos(\sqrt{\alpha T_c} / 2)} dx = \\ &= \rho_0 \frac{2l}{S_{Cu}} \int_0^{1/2} \frac{\cos(\sqrt{\alpha T_c} \cdot y)}{\cos(\sqrt{\alpha T_c} / 2)} dy = \rho_0 \frac{\operatorname{tg}(\sqrt{\alpha T_c} / 2)}{\sqrt{\alpha T_c}} \frac{2l}{S_{Cu}} = \rho_{eff} \frac{l}{S_{Cu}}. \end{aligned} \quad (17)$$

В формуле (17) введено обозначение ρ_{eff} . Эта величина представляет собой эквивалентное удельное сопротивление нагретой проволоки и будет далее использована во всех расчетах. На рисунке 4 приведен график функции $\rho_{eff}(T_c) = \rho_0 \frac{\operatorname{tg}(\sqrt{\alpha T_c} / 2)}{\sqrt{\alpha T_c} / 2}$.

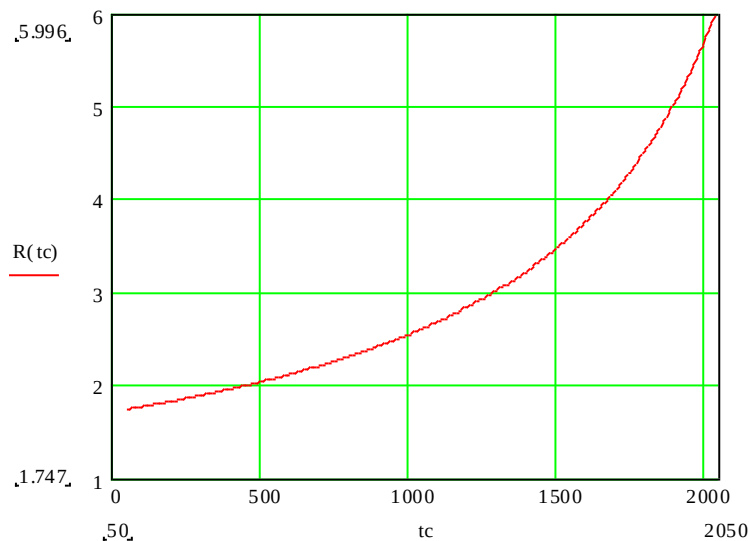


Рис. 4. График функции $\rho_{eff}(T_c)$

Максимальные температуры нагрева медной и константановой проволок вычислим по формулам

$$T_{\max Cu} = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\cos(\sqrt{\alpha T_c} / 2)} - 1 \right), \quad (18)$$

$$T_c = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{i_{Cu}^2 l^2}{S_{Cu}^2}, \quad (18')$$

$$T_{\max K} = T_0 + 0,29 \cdot \frac{i_K^2 l^2}{S_K^2}. \quad (18'')$$

Обозначим через i_K, i_{Cu} токи, текущие через константановую и медную проволоки, соответственно. Тогда

$$i_K = \frac{i_0}{1 + (\rho_K / \rho_{eff})\delta}, \quad i_{Cu} = \frac{i_0 \cdot \delta \cdot (\rho_K / \rho_{eff})}{1 + (\rho_K / \rho_{eff})\delta}, \quad (19)$$

где $\delta = S_{Cu} / S_K$,

i_0 – ток, текущий через предохранитель.

С учетом (19) соотношения (18), (18') и (18'') перепишутся в виде

$$T_{\max Cu} = T_0 + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1}{\cos(\sqrt{\alpha} T_c / 2)} - 1 \right), \quad (20)$$

$$T_c = 4,47 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{(\rho_K / \rho_{eff})^2}{(1 + (\rho_K / \rho_{eff})\delta)^2} \cdot \frac{i_0^2 l^2}{S_K^2}, \quad (20')$$

$$T_{\max K} = T_0 + \frac{0,29}{(1 + (\rho_K / \rho_{eff})\delta)^2} \cdot \frac{i_0^2 l^2}{S_K^2}. \quad (20'')$$

Следует учесть, что выражение (20') представляет собой нелинейное уравнение относительно T_c , поскольку ρ_{eff} – функция переменной T_c .

Решив это уравнение, по формулам (20) и (20'') найдем максимальные температуры нагрева медной и константановой проволок. На рисунке 5 приведены графики зависимостей максимальных температур медной и константановой проволок от i_0 для $\delta = 1$ (для $\delta = 5, 10, 20$ характер зависимостей аналогичен).

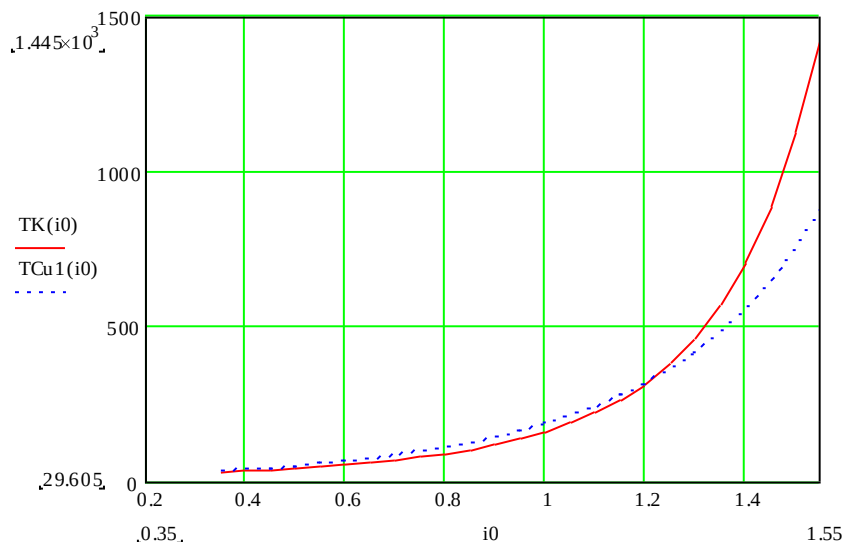


Рис. 5. Графики зависимостей максимальных температур медной и константановой проволок от амплитуды импульса тока

3. Заключение

При одинаковых плотностях тока контрольная плавкая вставка нагревается выше по сравнению с рабочей. Это свойство является благоприятным и означает, что в случае перегорания рабочей вставки обязательно перегорит контрольная, при этом вероятность того, что первой перегорит контрольная вставка, близка к нулю.

Полученный результат весьма важен для принятия решения о массовом внедрении предлагаемого предохранителя на сети железных дорог.

УДК – 656.2

К ПОСТРОЕНИЮ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОАО “РЖД” В УСЛОВИЯХ КОНКУРЕНЦИИ

В.В. Гарбарук, А.Е. Красковский, В.А. Ходаковский

Аннотация

Математическое моделирование такой разветвленной структуры, как ОАО “РЖД” является сложной и актуальной задачей, без которой невозможно обоснованно решать задачи управления и распределения инвестиций, прогноза развития и расширения сфер деятельности компании. Рассмотрены подходы к построению обобщенной модели деятельности компании, функционирующей в рыночных условиях жесткой конкуренции при отсутствии стабильного государственного финансирования

Ключевые слова: ОАО “Российские железные дороги”, моделирование деятельности фирмы, макромодель, эффективность деятельности компании, показатели эффективности деятельности компании по задачам, основные процессы в деятельности компании, перевозочный процесс, процессное моделирование, международные стандарты.

Введение

Роль железнодорожного транспорта в экономике России неуклонно возрастает. Объемы железнодорожных перевозок и доходы от деятельности ОАО “РЖД” достаточно высоки и стабильны, несмотря на общее состояние экономики России. Работа железнодорожного транспорта особенно в последние годы показала актуальность и необходимость совершенствования всех сфер деятельности фирмы от совершенствования общей инфраструктуры, до оптимального распределения ресурсов между хозяйствами дороги и совершенствования важнейших процессов, в том числе процессов грузовых и пассажирских перевозок. По существу, планирование (в широком смысле) перевозок грузов является основой

организации перевозочного процесса и регулирования финансовой деятельности железнодорожного транспорта.

Вместе с тем, жесткая система централизованного планирования в новых условиях деятельности дорог оказалась мало эффективной. Изменились принципы взаимоотношений между отправителями и получателями грузов и сама организация управления железнодорожным транспортом. Изменились принципы финансирования деятельности железных дорог России. Отменено государственное планирование перевозок, а предприятия получили хозяйственную самостоятельность. Указанные изменения зафиксированы в транспортном уставе.

В настоящее время перевозки производятся только по заявкам на перевозки. Информационные потоки в виде заявок постоянно меняются, что существенно затрудняет эффективное планирование перевозок и в дальнейшем приводит к финансовым потерям.

Интенсификации работы ЖД транспорта способствовала своевременно выполненная модернизация инфраструктуры в основных транспортных коридорах страны. В модернизацию инфраструктуры за последние 4 года вложено 316 миллиардов рублей средств железных дорог. Вместе с тем, возрастает ответственность за правильность выбора приоритетного развития сети железных дорог, за выбор инвестиционных решений.

В выступлении (Фадеев Г.М., 2004) президента ОАО "РЖД" Геннадия Фадеева на расширенном заседании коллегии Министерства транспорта РФ, опубликованном 29.09.04 в газете "Гудок" отмечены три группы крупных направлений развития и модернизации инфраструктуры железных дорог.

К первой группе отнесено строительство железнодорожных линий, направленных на решение социально-экономических и демографических проблем отдельных регионов страны. Специфика этой группы состоит в отсутствии коммерческих эффектов от их реализации, так как эффект от этого получает государство, а значит и финансирование должно быть в этой группе бюджетным.

Ко второй группе отнесено строительство инфраструктурных объектов для развития отдельных промышленных регионов. Инфраструктура для таких объектов не относится к структуре общего пользования, поскольку обеспечивает только отдельный ряд предприятий. Поэтому инвестиционные расходы должны нести либо эти регионы, либо эти расходы должны быть включены в сами проекты промышленного развития предприятий или региона в целом.

К третьей группе отнесены мероприятия, связанные с развитием инфраструктуры общего пользования, или ее новых элементов в целях удовлетворения спроса на перевозки со стороны широкого круга

потребителей. Подобные проекты непосредственно относятся к деятельности ОАО “РЖД”.

Принимая решение о развитии компании по каждой группе направлений развития, руководству компании требуется научное обоснование и экономический анализ прогнозируемых действий.

1. Имитационное моделирование деятельности ОАО “РЖД”

1.1. Постановка задачи

Принятие правильного (научно обоснованного) стратегического решения о развитии ОАО “РЖД” и всей сети железнодорожных перевозок невозможно без математического моделирования деятельности фирмы. В свою очередь математическое моделирование такой сложной структуры, какой является ОАО “РЖД”, в котором задействованы до миллиона транспортных единиц, где трудятся сотни тысяч сотрудников, является сложнейшей задачей.

Для решения подобных задач макро моделирования сложных систем существуют хорошо обкатанные методологии и стандарты. К таким стандартам относятся методологии функционального моделирования семейства IDEF. С их помощью можно эффективно отображать и анализировать модели деятельности широкого спектра сложных систем в различных разрезах. При этом широта и глубина обследования процессов в системе определяется самим разработчиком, что позволяет не перегружать создаваемую модель излишними данными. В настоящий момент к семейству IDEF можно отнести следующие стандарты:

- DEF0 – методология функционального моделирования. С помощью наглядного графического языка IDEF0, изучаемая система предстает перед разработчиками и аналитиками в виде набора взаимосвязанных функций (функциональных блоков – в терминах IDEF0). Как правило, моделирование средствами IDEF0 является первым этапом изучения любой системы;

- IDEF1 – методология моделирования информационных потоков внутри системы, позволяющая отображать и анализировать их структуру и взаимосвязи;

- IDEF1X (IDEF1 Extended) – методология построения реляционных структур. IDEF1X относится к типу методологий “Сущность-взаимосвязь” (ER – Entity-Relationship) и, как правило, используется для моделирования реляционных баз данных, имеющих отношение к рассматриваемой системе;

- IDEF2 – методология динамического моделирования развития систем. В связи с весьма серьезными сложностями анализа динамических систем от этого стандарта практически отказались, и его развитие приостановилось на самом начальном этапе. Однако в настоящее время

присутствуют алгоритмы и их компьютерные реализации, позволяющие превращать набор статических диаграмм IDEF0 в динамические модели, построенные на базе «раскрашенных сетей Петри» (CPN – Color Petri Nets);

- IDEF3 – методология документирования процессов, происходящих в системе, которая используется, например, при исследовании технологических процессов на предприятиях. С помощью IDEF3 описываются сценарий и последовательность операций для каждого процесса. IDEF3 имеет прямую взаимосвязь с методологией IDEF0 – каждая функция (функциональный блок) может быть представлена в виде отдельного процесса средствами IDEF3;

- IDEF4 – методология построения объектно-ориентированных систем. Средства IDEF4 позволяют наглядно отображать структуру объектов и заложенные принципы их взаимодействия, тем самым, позволяя анализировать и оптимизировать сложные объектно-ориентированные системы;

1.2. Существующие системы для моделирования

В настоящее время известны и широко используются следующие системы для процессного моделирования сложных систем:

- AllFusion Process Modeler Version 1.4. и входящая в неё система BPwin – оболочка, позволяющая моделировать сложные системы в рамках IDEF0 и IDEF3;

- система имитационного моделирования Arena фирмы Rockwell, позволяющая моделировать процессы в виде блок-схем и иерархических структур, а также интегрировать результаты с CASE средствами BPwin.

- Project Expert Professional – система, позволяющая проводить моделирование всех процессов в компании и анализировать результаты финансовой деятельности.

- AnyLogic – система имитационного моделирования, разработанная на основе современных результатов в области информационных технологий и исследований в теории гибридных систем.

1.3. Выбор основных подпроцессов, входящих в обеспечение грузовых перевозок

Идеология процессного моделирования предполагает разбиение основного моделируемого процесса деятельности фирмы, который в нашем случае может представлять собой процесс грузовых перевозок в ОАО РЖД, на подчиненные процессы к которым могут относиться моделирование:

- потока заявок на грузовые перевозки и их реализации;

- фактического наличия подвижного состава с учетом жизненного цикла эксплуатации;
- распределения подвижного состава по заявкам;
- процесса грузовых перевозок на основе решения задачи оптимизации;
- процессов распределения средств и ресурсов;
- процесса формирования предложений по регулировке подвижного состава;
- процессов управления перевозками.

Первый, третий, четвертый и пятый из указанных процессов могут быть смоделированы только на основе данных, полученных из статистической обработки потока заявок в предыдущие периоды. При этом должны быть учтены не только вопросы сезонности некоторых видов перевозок, но и изменчивость спроса на перевозки в конкретные периоды.

Второй и шестой и седьмой процессы учитывают работу конкретных служб железной дороги, и поэтому моделирование указанных процессов должно строиться на основе статистического анализа эффективности работ в соответствующих службах.

2. Основные характеристики математических моделей

Модель конкуренции – теоретико-игровая рыночная модель (бескоалиционная антагонистическая игра в смешанных стратегиях);

Модель управления – экспертная система на основе базы знаний;

Модель выработки решения – интеллектуальный алгоритм статистического выбора решений;

Модель оценивания показателя эффективности деятельности компании – аналитический метод расчета обобщенного показателя;

Модель перевозочного процесса **включает в себя:**

Модель обеспечения перевозок – модель системы массового обслуживания с ожиданием и отказами, сетевое планирование;

Модель реализации плана перевозок – сетевое планирование и теория расписаний;

Модель потока предложений – временные ряды с заданными параметрами;

Модель потребителя – система массового обслуживания с отказами

Модель потока заказов – простейший поток;

Модель альтернативных перевозок – векторно-матричные модели;

Модель лица принимающего решение (ЛПР) – система искусственного интеллекта по выбору решений в условиях неопределенности и нечеткой логики.

3. Заключение

Имитационное моделирование деятельности компании позволяет обосновать принимаемые руководством решения путем проведения исследований на специальной компьютерной модели с целью описания будущих результатов. Очевидно, что замена реального эксперимента имитационным моделированием позволяет существенно сократить затраты на исследование. Кроме того, в некоторых ситуациях эксперименты на реальных системах могут быть чрезвычайно опасны.

Используя исследования на математических моделях, а не метод русского “тыка” (метод проб и ошибок), руководство компании имеет возможность принимать научно обоснованные решения, которые действительно приведут к лучшим результатам в ее деятельности.

4. Литература

Фадеев Г.М. Ориентиры развития транспорта. – М.: Ежедневная транспортная газета «Гудок», 29 сентября 2004.

Реконструкция тяговых средств

УДК 629.423:621.3.025

**АСИНХРОННЫЙ ТЯГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ДЛЯ ПРИГОРОДНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ПОСТОЯННОГО ТОКА**

А.С. Корнев, А.В. Ковтун, Н.В. Лысов, В.О. Иващенко,
А.Я. Якушев, О.В. Колодкин

Аннотация

Приведена информация о технических и энергетических характеристиках опытного электропоезда ЭТ2А и результатах его испытаний.

Ключевые слова: асинхронный тяговый электродвигатель; рекуперация; бесконтактное регулирование; тягово-энергетические характеристики

Введение

В настоящее время развитие железнодорожного транспорта нацелено на создание надежного и экономичного электроподвижного состава нового поколения. Многолетние теоретические и экспериментальные исследования, проводимые в России и за рубежом, открывают возможность применения на электрическом подвижном составе асинхронных тяговых двигателей (АТД).

1. Структура асинхронного тягового привода опытного электропоезда

Опытный электропоезд ЭТ2А, выпущенный Торжокским вагоностроительным заводом в 1999 г, предназначен для перевозки пассажиров пригородного и местного сообщений. Это единственный в России действующий опытный электропоезд постоянного тока с АТД, реализованный на отечественной полупроводниковой базе. Существенными достоинствами электропоезда являются его меньшая стоимость, за счет максимального использования серийных компонентов, и возможность формировать состав как из вагонов с АТД, так и серийных вагонов. Система питания АТД (рис.1) выполнена на базе автономных инверторов тока Inv1, Inv2. В качестве входных преобразователей использованы импульсные тиристорные прерыватели Ch1, Ch2, обеспечивающие поддержание заданного входного тока автономных инверторов. Тормозные регуляторы VCh1, VCh2 обеспечивают коммутацию тока на тормозные резисторы R_{B1} , R_{B2} в случае отсутствия потребителя энергии. Все полупроводниковые преобразователи

расположены в подвагонных ящиках и имеют принудительное воздушное охлаждение.

Электрическая схема и электрооборудование электропоезда ЭТ2А обеспечивает:

- плавный пуск электропоезда посредством регулирования частоты и напряжения АТД с поддержанием постоянства момента при скоростях движения 0...60 км/ч и постоянства мощности при скоростях движения 60...130 км/ч;
- возможность изменения уровня тока инверторов в режиме тяги и электрического торможения;
- переход из режима тяги в режим электрического торможения и обратно, а также изменение направления движения без применения контактной аппаратуры;
- рекуперативное торможение до скорости 15 км/ч с автоматическим переходом в режим реостатного торможения в случае потери потребителя электроэнергии и обратно при его появлении;
- защиту от боксования в режиме тяги и электрического торможения средствами микропроцессорной системы управления.

2. Результаты испытаний опытного электропоезда

После предварительных испытаний на Октябрьской железной дороге, в течение которых электропоезд прошел более 150 тыс.км, в 2002 г. были проведены приемочные испытания на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ. Основные технические характеристики электропоезда для двух вариантов формирования поезда приведены в таблице 1. Эти опытные данные получены на перегоне длиной 3 км при технической скорости 69,5 км/ч.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики электропоезда ЭТ2А

<i>Схема формирования поезда</i>	2Г+5М+3П	2Г+4М+4П
<i>Масса тары, т</i>		
– головного вагона	43,9	43,9
– моторного вагона	61,1	61,1
– прицепного вагона	40,5	40,5
– поезда	514,8	494,2
Число пассажиров при населенности 150% от числа сидячих мест	1452	1446
Тара брутто, т	616,4	595,4
Удельная мощность, кВт/т	12,35	10,21
Ускорение до 60 км/ч, м/с ²	0,82	0,64
Длина пути разгона, м	630	1100

<i>Схема формирования поезда</i>	2Г+5М+3П	2Г+4М+4П
Максимальная скорость разгона, км/ч	91	101
Время разгона, с	40	64
Расход электроэнергии на разгон, кВт·ч	75,9	96,1
Замедление с 80 км/ч, м/с ²	0,74	0,62
Скорость начала торможения, км/ч	78	92,4
Тормозной путь, м	342	548
Время торможения, с	24	41
Возврат электроэнергии в сеть, кВт·ч	23,5	25,2
Общий расход электроэнергии, кВт·ч	56,4	59,3
Удельный расход электроэнергии:		
Вт·ч/т·км	30,52	33,18
Вт·ч/пасс·км	12,96	13,66

Электропоезд ЭТ2А отличается от других серийных и опытных образцов повышенным ускорением при пуске и малым удельным расходом электроэнергии. Экономия электроэнергии достигается за счет более интенсивного разгона в режиме тяги.

Пусковые и тормозные характеристики электропоезда приведены на рис.2, а зависимости к.п.д. тягового электропривода – на рис.3.

Испытания выявили ряд замечаний по работе тягового привода электропоезда. Наиболее важными из них являются:

- перегрев сглаживающих реакторов и отдельных тиристорных инверторов;
- низкая эффективность системы защиты от боксования и юза;
- превышение допустимых норм по электромагнитной совместимости в режимах тяги и электродинамического торможения.

Для устранения указанных замечаний был проведен дополнительный цикл работ:

- обеспечение равномерного распределения потока охлаждающего воздуха по сечению воздушного канала силовых преобразователей;
- увеличение параметров входного фильтра с $L_F = 12 \text{ мГн}$, $C_{F1} = C_{F2} = 1,8 \text{ мФ}$ до $L_F = 24 \text{ мГн}$, $C_{F1} = C_{F2} = 13,6 \text{ мФ}$;
- корректировка программы управления процессом боксования: при возникновении боксования осуществляется автоматическое снижение уставки тока, а при дальнейшем боксовании колесных пар происходит выключение вагона из тяги без срабатывания быстродействующего выключателя;
- реализация плавного изменения тока инверторов в переходных режимах, что позволило уменьшить опасное влияние на устройства сигнализации и блокировки.

После выполнения этих работ в начале 2004 г были проведены контрольные испытания на Экспериментальном кольце ВНИИЖТ. Испытания показали, что нагрев полупроводниковых приборов не превышает допустимых значений. Переменная составляющая сетевого тока частоты 25 Гц устранена как в режиме тяги, так и в режиме электродинамического торможения. Переменная составляющая частоты 50 Гц наблюдается только в режиме электродинамического торможения, однако ее амплитуда не превышает допустимой величины 1,3 А.

Для проведения дальнейших эксплуатационных испытаний планируется создание нового электропоезда, на котором будут предусмотрены установка активного фильтра для подавления электромагнитных помех, а также объединение в единую сеть систем управления тяговыми преобразователями моторных вагонов.

УДК 621.331:621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В УСТРОЙСТВЕ ФИЛЬТРАЦИИ И КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

А.Т. Бурков, А.Н. Марикин, А.П. Самонин, В.В. Серонос

Аннотация

Одной из важнейших задач при электрификации железнодорожного транспорта является решение комплекса вопросов, связанных с повышением качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог переменного тока. Рассмотрены результаты математического моделирования электромагнитных процессов в фильтр-компенсирующем устройстве (ФКУ) тяговой подстанции переменного тока, позволяющем повысить качество электроэнергии в системах тягового электроснабжения переменного тока.

Ключевые слова: система тягового электроснабжения переменного тока, реактивная мощность, гармонический состав, компенсация, фильтрация.

Введение

Проблема повышения качества электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог переменного тока в условиях реформирования становится особенно актуальной. Применение ФКУ на тяговых подстанциях является одним из способов, позволяющих существенно улучшить показатели качества электроэнергии. С целью оценки эффективности ФКУ последних разработок производства

«НИИЭФА-Энерго» целесообразно выполнить исследование электромагнитных процессов на математической модели для различных режимов работы.

1. Влияние ФКУ на коэффициент мощности тяговой подстанции и коэффициент искажения кривой потребляемого тока

Схема замещения ФКУ производства «НИИЭФА-Энерго» приведена на рис. 1.

В результате расчетов на математической модели получены зависимости коэффициента мощности от нагрузки фидеров без применения ФКУ и с наличием ФКУ для одинаковых токов фидеров (рис. 2) при включении ФКУ в отстающую фазу.

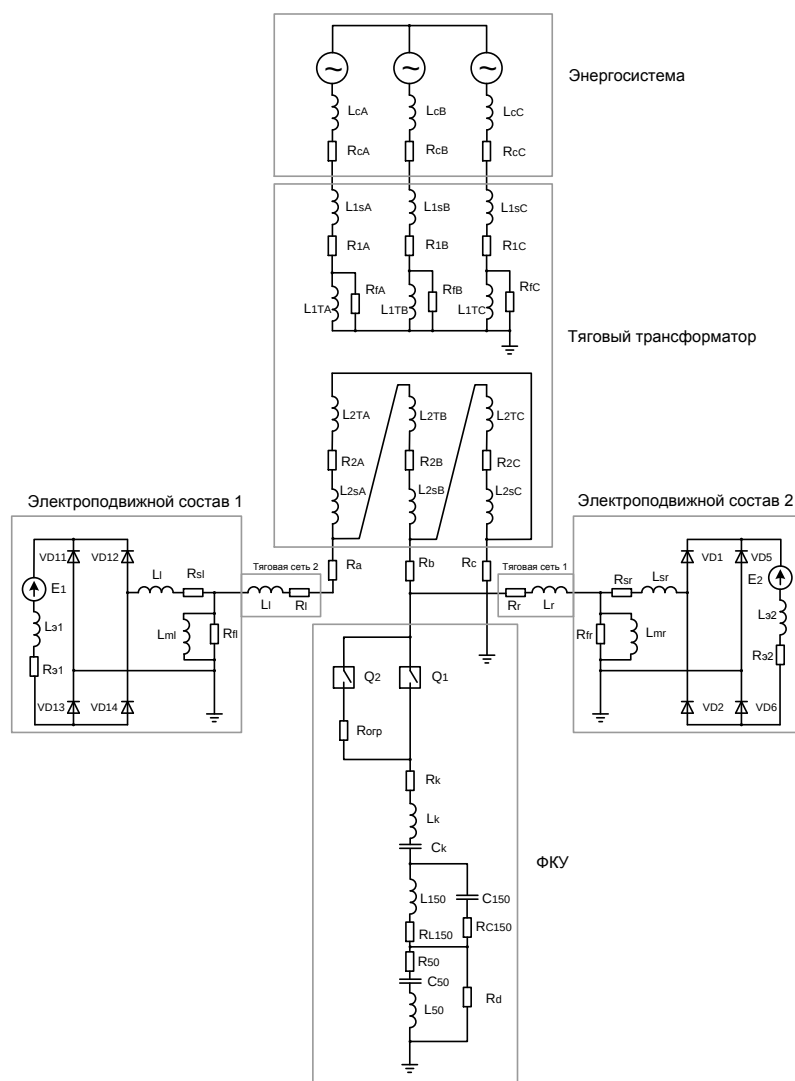


Рис.1. Схема замещения фильтр-компенсирующего устройства в системе тягового электроснабжения переменного тока.

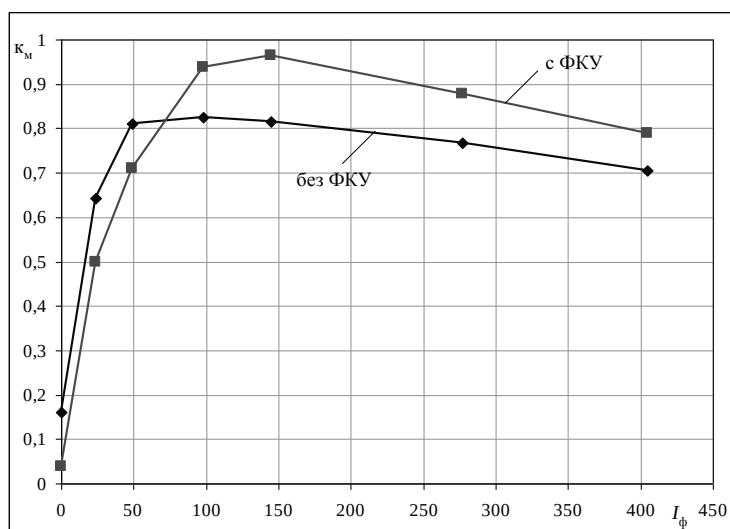


Рис. 2. Зависимости коэффициента мощности тяговой подстанции от нагрузки фидеров

Анализ рис. 2 позволяет сделать следующие выводы: а) применение ФКУ повышает коэффициент мощности тяговой подстанции в среднем 12 – 18%, б) при токах фидеров меньше 70А происходит перекомпенсация и коэффициент мощности резко снижается.

Коэффициент мощности при неодинаковой нагрузке фидеров оказывается несколько меньше, чем при равной нагрузке. Так при токе правого фидера 280 А (на левом – холостой ход) коэффициент мощности снижается (по отношению к случаю равной нагрузке фидеров в 280 А) с 0,878 до 0,737. Однако и в этом случае ФКУ показывает свою эффективность, так как коэффициент мощности с применением ФКУ поднимается с 0,619 до 0,737. Еще больше коэффициент мощности увеличивается при загрузке правого фидера («отстающая» фаза) с 0,6 до 0,74.

Реактивная мощность, потребляемая ФКУ при отсутствии нагрузки на фидерах, составляет свыше 3 МВА.

Использование ФКУ позволяет уменьшить фазовый угол сдвига основной гармоники тока, а также повысить коэффициент искажения формы потребляемого тока, что демонстрирует рис. 3. При равномерной загрузке фидеров ($I_{\text{фл}} = I_{\text{фп}} = 145$ А) фазовый угол сдвига первой гармоники потребляемого тока уменьшился с 45 до 7 эл. гр. и одновременно с этим повысился коэффициент искажения формы тока с 0,979 до 0,986.

В результате исследования влияния отдельных узлов ФКУ (фильтр-пробка (L_{150} , C_{150}) и контур (L_{50} , C_{50} , R_d)) на повышение коэффициента искажения формы тока и коэффициента мощности тяговой подстанции можно сделать следующий вывод: применение этих узлов позволяет в среднем поднять коэффициент искажения формы тока на 2 – 3% и

одновременно снизить фазовый угол сдвига первой гармоники. При этом коэффициент мощности возрастает на 3 – 4%.

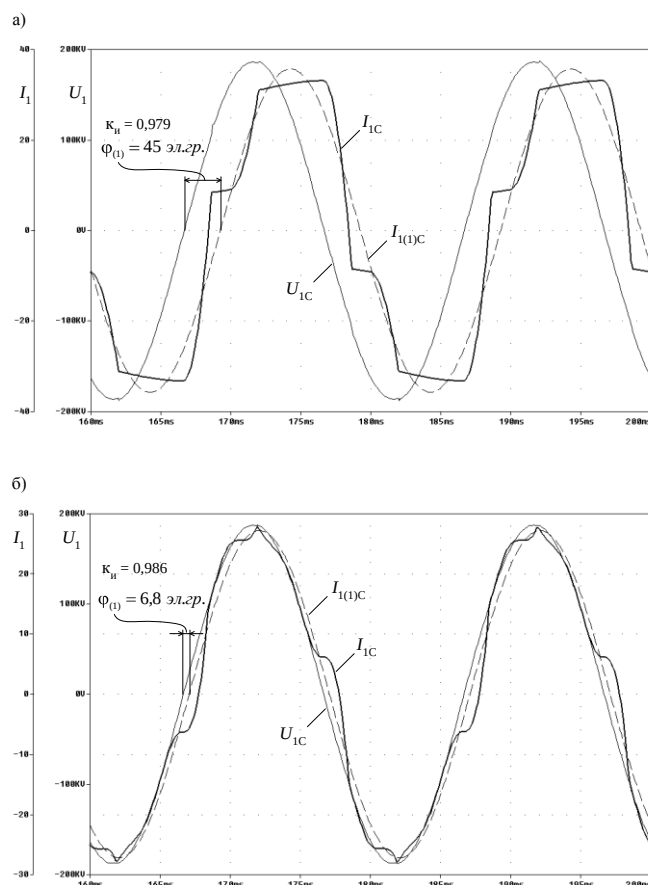


Рис. 3. Временные диаграммы напряжения и токов первичной обмотки трансформатора тяговой подстанции:
а – без ФКУ; б – с использованием ФКУ

2. Исследование амплитудно-частотной характеристики ФКУ

Амплитудно-частотная характеристика фильтр-компенсирующего устройства и отдельных его узлов приведена на рис. 4.

Анализ рис.4 показывает, что уменьшение входного сопротивления ФКУ на частоте 150 и 250 Гц обеспечивают фильтрацию третьей и пятой гармоники тягового тока, а следовательно повышение коэффициента искажения потребляемого тока и увеличение коэффициента мощности.

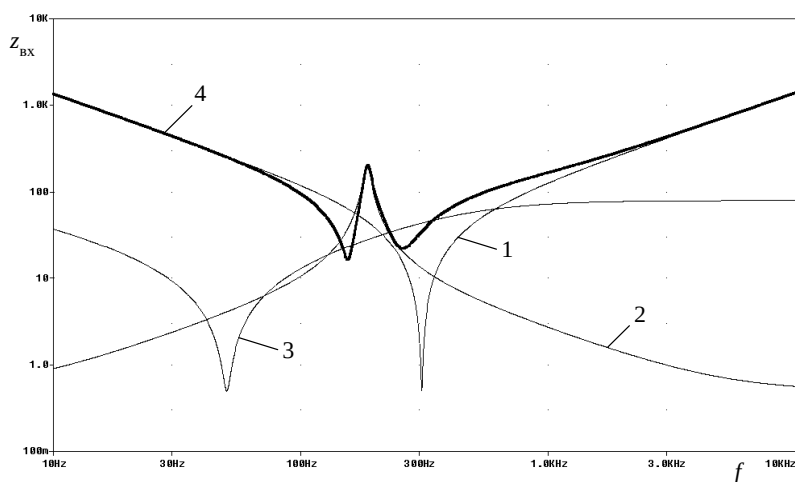


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика входного сопротивления фильтр-компенсирующего устройства: 1- АЧХ основной части ФКУ (L_K, C_K); 2- АЧХ фильтр-пробки (L_{150}, C_{150}); 3- АЧХ LC-контура на 50 Гц (L_{50}, C_{50}, R_d); 4- АЧХ всего ФКУ

3. Коммутационные характеристики ФКУ

Включение ФКУ сопровождается небольшим увеличением тока.

Значительные перенапряжения, которые могут достигать 80 кВ, возникают в момент отключения ФКУ (рис. 5). Длительность перенапряжений достигает десятков микросекунд. Возможны повторные пробои межконтактного промежутка выключателя, при которых кратность перенапряжений может значительно возрасти.

4. Заключение

Результаты моделирования электромагнитных процессов в системе тягового электроснабжения переменного тока показывают, что применение ФКУ на тяговых подстанциях позволяет улучшить качество потребляемой электроэнергии за счет повышения коэффициента мощности тяговой подстанций на 12 – 18 % и коэффициента искажения формы тока на 7 %; улучшения распределения токов по фазам трансформатора и питающей энергосистемы (отношение наибольшего тока фазы к наименьшему снижается с 2 – 2,2 до 1,7 – 1,8); повышения напряжения на фидерах тяговых подстанций на 1 – 3 %.

Для надежной работы ФКУ необходимо принятие решений по защите элементов ФКУ от коммутационных перенапряжений.

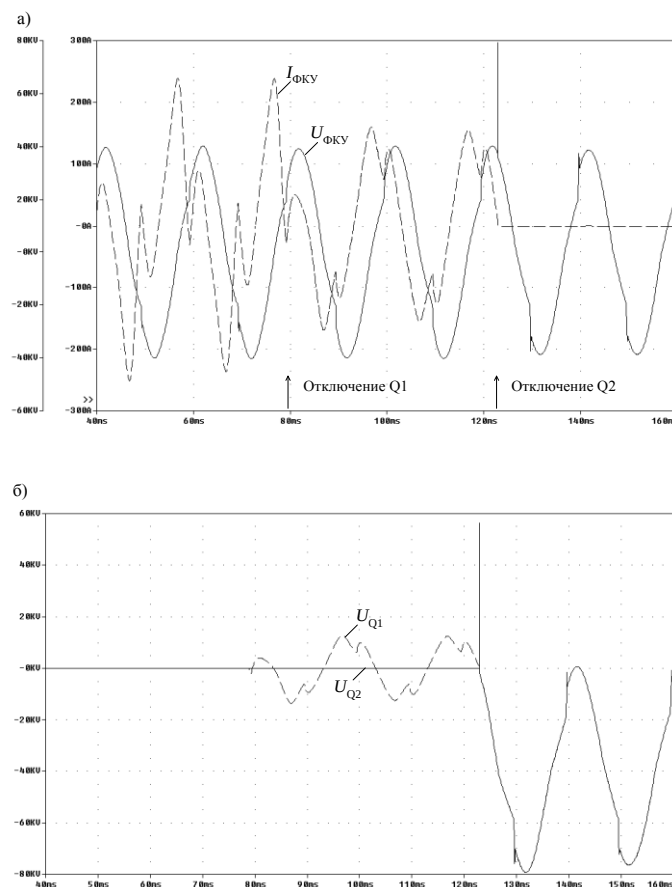


Рис. 5. Временные диаграммы процесса отключения ФКУ: *а* – напряжение и ток ФКУ; *б* – напряжения на контактах вакуумных выключателей

УДК 621.382.2

КОМПАКТНЫЙ ОХЛАДИТЕЛЬ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

А.Б. Буянов, И.Г. Киселев, С.И. Степанов

Аннотация

Повышение единичной мощности преобразователей асинхронного тягового электропривода требует создания эффективных и компактных устройств охлаждения силовых полупроводниковых приборов и модулей. Предложена конструкция компактного испарительно-воздушного охладителя, обеспечивающая сбережение материальных и энергетических ресурсов. Приведены результаты расчетно-

экспериментального исследования характеристик нового охладителя для силового полупроводникового блока преобразователя с теплоотводом за счет набегающего воздушного потока.

Ключевые слова: преобразователь, силовой полупроводниковый блок, прибор, модуль, охладитель, двухфазный термосифон, тепловое сопротивление.

Введение

На железнодорожном транспорте к массе и габаритам силовых полупроводниковых блоков (СПБ) преобразователей для тягового асинхронного электропривода предъявляют особо жесткие требования, что ограничивает применение традиционных устройств жидкостного или воздушного охлаждения силовых полупроводниковых приборов (СПП) и модулей. Одним из направлений оптимизации конструкций СПБ по массогабаритным показателям является применение испарительно-воздушных устройств охлаждения СПП и модулей, с использованием принципа «двухфазного термосифона» (ДТС) (Тепман И.А., 1983).

1. Компоновка силового полупроводникового блока

Для встречно-параллельной схемы включения СПП (рис.1) в преобразователях тяговых асинхронных двигателей предлагается конструкция ДТС в виде охлаждаемой токоведущей шины.

Компоновка СПБ представлена на рис. 2. Охладитель рассчитан на одновременный односторонний теплоотвод от четырех СПП или модулей. Конструкционным материалом этого группового охладителя служит медь, удовлетворяющая требованиям высокой электро-теплопроводности и химической нейтральности в отношении элементов СПБ, промежуточного теплоносителя и окружающей среды. В качестве промежуточного теплоносителя применена дистиллированная вода, превосходящая по теплофизическим и экологическим свойствам другие жидкости, используемые в аналогичных двухфазных термосифонах. Конструкции испарителя 1 (см. рис.2) и конденсатора 2 выбирались расчетно-экспериментальным методом с использованием методики расчета теплового состояния СПП с охладителем (Степанов С.И., Буянов А.Б., 1988).

Внутренняя полость испарителя 1 выполнена в виде перекрестных сообщающихся каналов соединенных по периметру общим коллектором между собой и с внутренней полостью трубчатого конденсатора 2. Для обеспечения прочностных характеристик конструкции испарителя все каналы выполнены цилиндрическими.

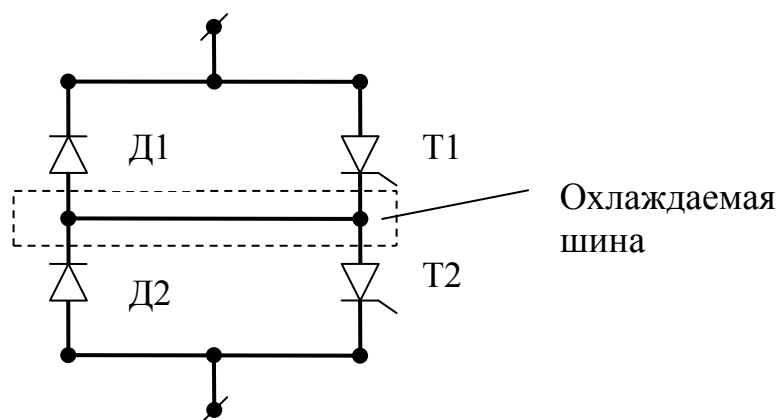


Рис. 1. Встречно-параллельная схема включения СПП

Где: Д1, Д2 – обратные диоды; Т1, Т2 – главные тиристоры.

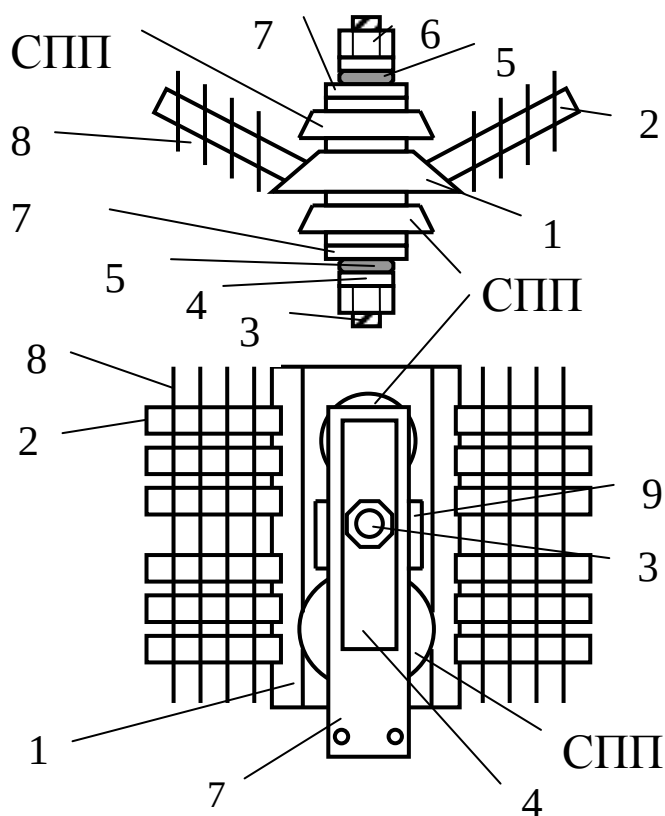


Рис. 2. Компоновка СПП с охладителем: 1 – испаритель ДТС (охлаждаемая шина); 2 – трубчатый конденсатор ДТС; 3 – центральная стяжная шпилька; 4 – траверсы; 5 – стандартный электроизолятор; 6 – гайки стяжного устройства; 7 – токоведущая шина; 8 – пластинчатое оребрение конденсатора; 9 – прямоугольное отверстие в корпусе испарителя для установки стяжной шпильки.

Пластинчатое оребрение трубок конденсатора 2 придает конструкции охладителя требуемую вибропрочность. Расстояние между соседними ребрами определено из расчета максимальной теплопередачи при естественной конвекции охлаждающего воздуха и при самовентиляции преобразователя во время движения электровоза.

Прижим СПП или модулей к испарителю, минимизирующий контактное тепловое сопротивление, обеспечивается с помощью центральной шпильки 3, двух траверс 4 и четырех прижимных электроизоляторов 5. Сила прижима приборов к испарителю определяется моментом затяжки гайки 6 и расстоянием от оси стяжной шпильки 3 до оси электроизолятора 5.

2. Характеристики компактного охладителя

Остаточное давление внутри охладителя, после заполнения его внутренней полости промежуточным теплоносителем и герметизации корпуса, составляет до 100 кПа. Оптимум величины относительного заполнения внутреннего объема охладителя промежуточным теплоносителем по теплопередающей способности составляет 50% (Рис. 3).



Рис. 3. Зависимость теплового сопротивления «контактная поверхность – охлаждающая среда» от относительного заполнения внутреннего объема охладителя промежуточным теплоносителем (Ω , %)

При исследовании теплового режима СПБ моделировались распределения нагрузки между диодной и тиристорной ветвями в соотношениях 100% и 0%, и наоборот, а также одновременный разогрев всех четырех приборов при распределении тепловыделений между диодами и тиристорами, 17% и 83%, соответственно.

В режиме естественной конвекции охлаждающего воздуха с температурой 20°C при выключенных тиристорах предельная нагрузка тепловых потерь двух диодов составляет 0,8 кВт, а для тириستоров, при выключенных диодах, – 0,65 кВт. Обобщенные данные исследования теплового сопротивления «контактная поверхность – охлаждающая среда» в зависимости от скорости и температуры охлаждающего воздуха в канале представлены на рис. 4. Как видно из графика (см. рис. 4) при вынужденной конвекции охлаждающего воздуха со скоростью в канале 3÷5 м/с величина теплового сопротивления R_{th-cf} снижается в 1,5÷2 раза в сравнении с режимом естественной конвекции. Исследованный диапазон скорости охлаждающего воздуха обеспечивается набегаящим воздушным потоком при движении подвижного состава (Киселев И.Г. и др., 1993). При этом имеет место разность температур между контактными поверхностями испарителя под тиристорами и под диодами, составляющая до 50 ÷ 60°C, что позволяет, с одной стороны, скомпенсировать разницу предельно допустимых температур СПП – диодов и тиристоров, а с другой стороны, стабилизировать их тепловое состояние в режимах тяги и рекуперативного торможения асинхронного тягового электропривода.

Исследование температурного поля трубок конденсатора, крайних по расположению на испарителе, находящихся в худших условиях с точки зрения гидравлического сопротивления парожидкостного тракта, показало, что их неизотермичность по длине может достигать до 20°C, в тех случаях, когда основная тепловая нагрузка приходится на противоположную часть испарителя. При этом неизотермичность трубок, ближайших к той части испарителя, где подводится теплота, составляет всего 3÷5°C.

3. Заключение

В целом конструкция охладителя типа ДТС исключает возможность резких колебаний тепловых состояний СПП в блоке, при их попеременном включении под электрическую нагрузку, тем самым повышая надежность работы преобразовательной установки и увеличивая срок ее службы.

Масса силового диодно-тиристорного блока, содержащего четыре СПП, один охладитель типа ДТС, прижимное устройство и две гибкие токоведущие шины составляет до 10 кг, а габариты 200×380×240 мм. В сравнении с серийными охладителями, например ОА-033, новая конструкция охладителя снижает массу силового полупроводникового блока в 2,4 раза, а объем в 1,3 раза.

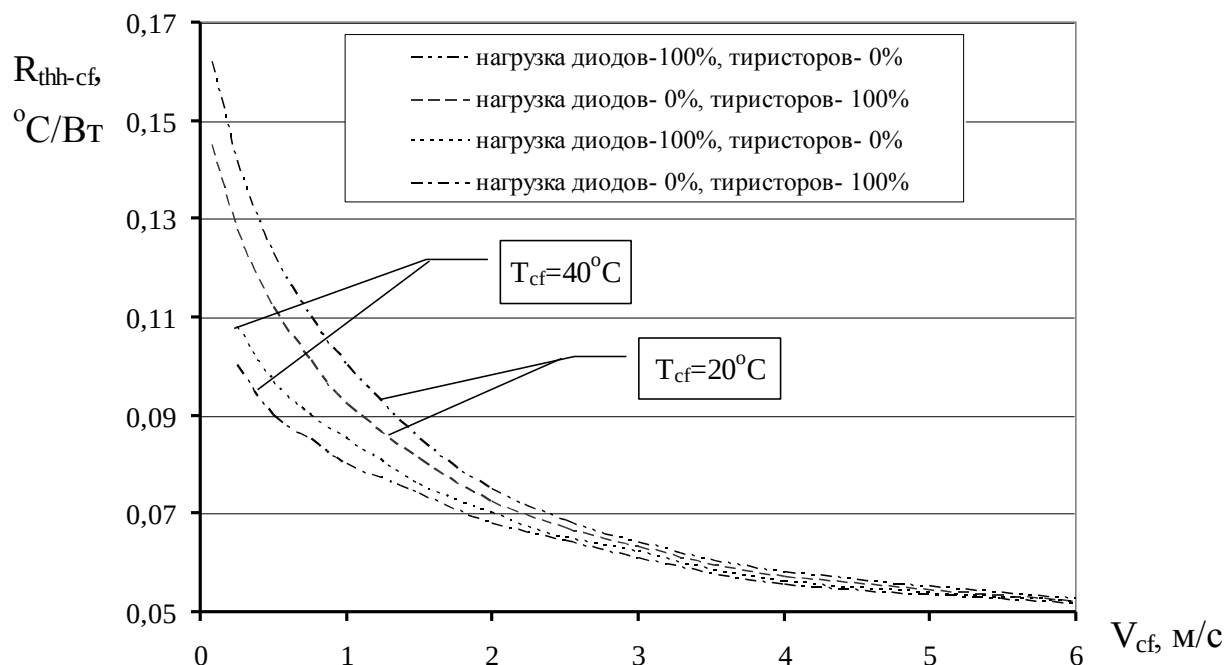


Рис. 4. Зависимость теплового сопротивления «контактная поверхность – охлаждающая среда» от скорости и температуры охлаждающего воздуха при $\Omega = 50\%$

Где: V_{cf} , T_{cf} – скорость и температура охлаждающего воздуха в канале, (м/с) и ($^{\circ}\text{C}$), соответственно (ГОСТ 25293 – 82, 1982).

4. Литература

- Тепман И.А., Оптимизация теплоотвода от силовых полупроводниковых приборов – путь повышения технического уровня и экономии материалов при производстве преобразователей. – Электротехническая пром. Сер. Преобразовательная техника, 1983, вып.7 /153/, с.14-18.
- Киселев И.Г., Ефимов П.В., Буянов А.Б., Степанов С.И., Сыркин Б.Л., Ершов Н.Е., Тепловые режимы силового электрооборудования опытного трехвагонного поезда с асинхронным приводом. Сборник научных трудов ПГУПС. Теплообмен в энергетических установках подвижного состава железных дорог и метрополитенов. СПб, 1993, с. 51-62.
- ГОСТ 25293 – 82. Охладители воздушных систем охлаждения силовых полупроводниковых приборов. Общие технические условия. – М., Издательство стандартов, Май, 1982.

УДК 629.01: 621.313

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ

А.И. Хожайнов, В.В. Никитин, Г.Е. Середа

Аннотация

Рассматривается современное состояние, достигнутые результаты и перспективы применения сверхпроводниковой техники в транспортных энергетических установках.

Ключевые слова: сверхпроводниковые устройства, транспортные энергетические установки, магнитное поле, электромагнитная совместимость.

Введение

В 1911 году голландский физик Г.Каммерлинг-Оннес открыл явление сверхпроводимости, обнаружив, что при температуре жидкого гелия (4,2К) ртуть переходит в особое (сверхпроводящее) состояние, характеризующееся полным отсутствием сопротивления электрическому току (нобелевская премия 1913 г.). В последующие годы появились сотни металлических сплавов и соединений, обладающих сверхпроводимостью при весьма низких температурах. Часть из них на основе ниобия нашла широкое применение при создании опытных сверхпроводниковых электротехнических устройств, работающих на постоянном токе. Важным достижением в области технической сверхпроводимости явилось создание сверхпроводников для работы на переменном токе. Такие проводники выдерживают изменение магнитного поля со скоростью до 400 Тл/с и транспортного тока до 25 кА/с (Глебов И.А. и др., 1985) без заметного ухудшения критических параметров (Франция, фирма «Альстом-Атлантик»). В 1987 г. А. Мюллером и Д. Беднорцем (нобелевская премия 1987 г.) была открыта металло-оксидная керамика, обладающая сверхпроводящими свойствами при температуре 90 К, что позволяет в качестве криогенной жидкости использовать жидкий азот (77К). Такие сверхпроводники получили название высокотемпературных. Использование жидкого азота в качестве криогенной жидкости позволяет упростить конструкцию криостата, в котором расположена сверхпроводящая обмотка, повысить надежность работы устройств, увеличить безопасность их обслуживания и на порядок снизить эксплуатационные расходы.

1. Направления использования технической сверхпроводимости в транспортных энергетических установках

Важнейшими требованиями, определяющими дальнейшее развитие всех видов транспорта, являются повышение экономичности транспортных энергетических установок (ТЭУ), надежности их работы при жестких требованиях по охране окружающей среды. Стратегическим направлением совершенствования ТЭУ и повышения их экономической эффективности является применение сверхпроводящих магнитных систем (СПМС).

СПМС могут использоваться в ТЭУ в качестве бортовых электромагнитов левитации и тяги в системах высокоскоростного наземного транспорта, систем возбуждения мощных электрических машин, обмоток индуктивных накопителей энергии, а также систем возбуждения магнитогидродинамических движителей судов.

Опытные транспортные установки с применением СПМС начали создаваться в 1960-х годах. К ним в первую очередь следует отнести высокоскоростной наземный транспорт (ВСНТ) на электродинамическом подвесе (ФРГ, Япония).

Применение сверхпроводников в системах возбуждения мощных электрических машин позволяет увеличить их предельную мощность, уменьшить массу и габариты и поднять КПД электрических машин (Глебов И.А. и др., 1980; под ред. Н.Н. Шереметьевского, 1985). В этой связи перспективным признано применение сверхпроводниковых электрических машин (СПЭМ) в составе тяговых передач наземных колесных транспортных средств (локомотивов, мощных электромобилей) и в системах электродвижения судов. Опытные морские суда со сверхпроводниковыми электрическими машинами были созданы в США и Великобритании в 1970-1980-х годах.

Создание принципиально новых систем электродвижения судов – магнитогидродинамических движителей возможно только с применением сверхпроводящих магнитов. Данные системы позволяют при приемлемой скорости движения судна существенно уменьшить массу и габариты энергетической установки. Такой принцип движения реализован в Японии на экспериментальном судне «Ямато» с магнитогидродинамическим движителем каналового типа.

Специального внимания заслуживает применение сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии (СПИН), главными достоинствами которых являются требуемое время хранения запасенной энергии и практически неограниченное количество зарядно-разрядных циклов, что позволяет использовать их в составе ТЭУ для повышения энергетической эффективности. В первую очередь это относится к ТЭУ транспортных средств,двигающихся по пересеченной местности или с частыми пусками и остановками.

К настоящему времени в иностранной и отечественной литературе опубликовано большое количество работ, посвященных оценке использования сверхпроводникового оборудования в ТЭУ. Во многих технически развитых странах мира создано несколько десятков опытных образцов СПЭМ различных типов, в том числе с использованием высокотемпературных сверхпроводников.

2. Применение сверхпроводниковых электрических машин и индуктивных накопителей энергии в ТЭУ

С 1980 года на кафедре «Электротехника» ПГУПС (ЛИИЖТ) проводятся теоретические и экспериментальные исследования по использованию СПМС в транспортных системах. Исследования ведутся в двух направлениях: по применению сверхпроводящих магнитов для левитации и тяги ВСНТ с электродинамическим подвесом и по применению СПМС для наземных колесных видов транспорта.

По первому направлению разработана теория электродинамической левитации и специальные установки с подвесом данного типа, выполнены также отдельные эксперименты (Кочетков В.М. и др., 1981).

Теоретические исследования по второму направлению показали, что применительно к перспективному тепловозу с энергетической установкой мощностью 6000 кВт тяговая электрическая передача со СПЭМ имеет более высокий КПД, чем аналогичные передачи с традиционными электрическими машинами постоянного тока.

Одним из путей дальнейшего повышения энергетической эффективности тяговых передач автономных транспортных объектов является применение сверхпроводниковых индуктивных накопителей энергии (СПИН), обеспечивающих накопление электроэнергии (заряд), генерируемой тяговыми сверхпроводниковыми двигателями при торможении транспортных объектов и ее отдачу (разряд) совместно со сверхпроводниковым генератором электродвигателям в режиме тяги (Хожаинов А.И. и др., 1996). Основным режимом, обеспечивающим энергосбережение для магистрального автономного локомотива, является режим движения по участку пути переменного профиля со скоростью $V = \text{const}$. Выражения, описывающие процесс преобразования потенциальной энергии транспортного объекта при движении по спуску в энергию магнитного поля СПИН имеют вид (I_0 , Φ_0 – начальные значения тока СПИН и магнитного потока двигателя):

$$i_H = \sqrt{I_0^2 - M_1 T_E} \exp\left(-\frac{2t}{T_E}\right) + M_1 T_E ;$$

$$\Phi = \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{1}{\Phi_0} \right)^2 - M_2 T_E \right] \exp\left(-\frac{2t}{T_E} \right) + M_2 T_E} \right\}^{-1},$$

$$\text{где } M_1 = (A + BV + F_{CO})V \eta_p; \quad M_2 = \frac{C_1 \tilde{C}_2 V}{L(A + BV + F_{CO})}.$$

$$T_E = \frac{L}{R}; \quad C_1 = \frac{\varepsilon C_e}{\pi D_K}; \quad \tilde{C}_2 = \frac{2\varepsilon C_M}{D_K \eta_p};$$

A, B – постоянные коэффициенты линейной аппроксимации зависимости силы сопротивления движению от скорости;

F_{CO} – суммарная сила сопротивления движению, не зависящая от скорости;

L, R – индуктивность и сопротивление цепи заряда накопителя;

ε – Передаточное отношение тягового редуктора;

C_M, C_e – конструктивные постоянные тягового двигателя;

D_K – диаметр ведущего колеса;

η_p – к.п.д. тягового редуктора.

Основываясь на приведенных формулах, установлено, что применительно к перспективному автономному локомотиву мощностью 6000 кВт со сверхпроводниковым оборудованием, обеспечивающему движение поезда массой 3000 т по участку протяженностью 100 км с III типом профиля пути применение СПИН позволит сэкономить до 12% топлива. Из известных вариантов конструктивного исполнения СПИН предпочтение должно быть отдано тороидальной конструкции для исключения вредного влияния внешних магнитных полей на окружающую среду.

3. Проблема электромагнитной совместимости сверхпроводникового и традиционного оборудования в ТЭУ

СПМС принципиально позволяют решить ряд ключевых проблем транспортной энергетики, однако обладают определенной спецификой – наличием сильных внешних магнитных полей (ВМП), постоянных или медленно изменяющихся. В связи с тем, что проблема взаимодействия ВМП СПМС с прочим оборудованием является чрезвычайно важной для транспортных объектов, было сформулировано научное направление по исследованию проблем электромагнитной совместимости тягового сверхпроводникового оборудования со вспомогательным

электрооборудованием традиционного исполнения, размещенным в ограниченном пространстве транспортного объекта.

На этапе теоретических исследований была построена модель электромагнитного взаимодействия СПМС и традиционной электрической машины с ферромагнитопроводом и малым воздушным зазором. Задача сводится к определению радиальной компоненты результирующего магнитного поля в воздушном зазоре, обусловленного суммарным воздействием поля возбуждения и внешнего магнитного поля СПМС. В линейной двумерной постановке данная задача решается путем интегрирования уравнения Лапласа для магнитного потенциала, которое дает следующее выражение для нормальной компоненты напряженности результирующего поля в воздушном зазоре (Хожаинов А.И. и др., 2003):

$$H_r = \frac{1}{r} \sum_{m=1}^{\infty} m \left\{ \left(\left(\frac{r}{b} \right)^m K_{1m} - r^m A_m + r^{-m} C_m \right) \sin m\theta + \left(- \left(\frac{r}{b} \right)^m K_{2m} - r^m D_m + r^{-m} E_m \right) \cos m\theta \right\},$$

где K_{1m}, K_{2m} – функции источника собственного поля электрической машины;

A_m, C_m, D_m, E_m – постоянные величины, являющиеся функциями всех источников магнитного поля (собственного и внешнего).

Установлено, что статор электрической машины в значительной степени обладает экранирующими свойствами и граница зоны нечувствительности электрической машины к ВМП является достаточно ярко выраженной.

Для учета нелинейных свойств ферромагнитопроводов электрических машин, их конечных продольных размеров, а также геометрических параметров реальных источников поля созданы трехмерные численные нелинейные математические модели (Никитин В.В., 2003 г.).

Теоретические и экспериментальные исследования влияния ВМП СПМС на электромагнитные аппараты показали, что влияние ВМП может проявляться в ложном срабатывании аппарата при обесточенной втягивающей катушке, однако зону нечувствительности к внешнему полю в данном случае можно существенно расширить, подбирая оптимальную ориентацию магнитной системы ЭМА по отношению к вектору ВМП.

4. Заключение

Обозначенные вопросы и выполненные исследования (Хожаинов А.И. и др. Цикл статей) не исчерпывают широкого круга проблем, связанных с

использованием сверхпроводимости на транспорте. Среди важных проблем, требующих решения, следует назвать: необходимость разработки конструкций СПЭМ с пониженным уровнем ВМП, оптимизацию сверхпроводящих катушек по массе и габаритам, разработку СПИН с возможностью регулирования энергоёмкости в зависимости от условий движения и ряд других.

5. Литература

- Глебов И.А., Шахтарин В.Н., Антонов Ю.Ф. Проблема ввода тока в сверхпроводниковые устройства. Наука, 1985.
- Глебов И.А., Лаверик Ч., Шахтарин В.Н. Электрофизические проблемы использования сверхпроводимости. Наука, 1980.
- Криогенные электрические машины. Под ред. Шереметьевского Н.Н. Энергоатомиздат, 1985.
- Кочетков В.М., Ким К.И., Трещев И.И. Теория электродинамической левитации. Основные результаты и дальнейшие задачи. Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. 1981, № 1.
- Хожайнов А.И., Никитин В.В. Автономная тяговая электрическая передача со сверхпроводниковыми электрическими машинами и индуктивным накопителем энергии. Электричество, 1996, № 10.
- Хожайнов А.И., Никитин В.В. Электромагнитная совместимость сверхпроводниковых и традиционных электрических машин. Электричество, 2003, № 5.
- Никитин В.В. Проблема электромагнитной совместимости сверхпроводникового и традиционного оборудования на транспорте. V международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Сборник научных докладов. Санкт-Петербург, 2003.
- Хожайнов А.И. и др. Цикл статей по применению сверхпроводимости на транспорте. Железнодорожный транспорт, 1987, № 7; 1992, № 6; 1996, № 5; 1998, № 5; 1999, № 7; 2003, № 7.

УДК 621.331:621.311

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЯГОВЫХ ЦЕПЕЙ

Е.Ф. Жигалко, А.Н. Бестужева

Аннотация

Рассматриваются алгоритмы расчёта параметров электроснабжения участка электрической железной дороги, учитывающие новые схмотехнические решения, вычислительные ресурсы и направления применения результатов. Моделирование квазистационарных режимов электроснабжения участка с тяговыми и

рекуперирующими электровозами проводится с целью подготовки обобщенных зависимостей для анализа неучтенного потребления и потерь электроэнергии и для расширения пределов автоматического управления процессами в системе.

Ключевые слова: система электроснабжения, имитационное моделирование, ориентированный граф, уравнения Кирхгофа, пакет Mathematica

Введение

Рационализация графика движения на одном участке рекуперирующего и потребляющего электровозов, может опираться на расчет режима электроснабжения в сети “в реальном времени”. Алгоритмы такого расчёта нужны также при программировании и применении процессоров в автоматической системе управления движением. Это оправдывает интерес к совершенствованию существующих алгоритмов.

Расчёт параметров квазистационарной электрической цепи не является сложной задачей. Известна теория, на основе законов Кирхгофа и классические методы решения, такие, как метод узловых потенциалов. И всё же, существует потребность обновления оптимального алгоритма, вследствие модернизации моделируемых систем и вычислительных ресурсов.

При использовании классического подхода программные системы MATCAD и MATLAB применимы как средство расчёта (Новгородцев А., 2004, Асенчик О.Д. и др., 2003). Ниже показано, какие дополнительные выгоды при моделировании электрических цепей можно получить, обращаясь к специфичным ресурсам математических пакетов Mathematica и MATLAB (Дьяконов В., 2001).

1. Постановка задачи

Тяговая сеть может быть в математической модели интерпретирована как система с сосредоточенными параметрами, то есть, множество электрически связанных узлов, в которых сосредоточены функции снабжения и потребления электрической энергии. При этом она гомоморфна некоторому графу.

Граф $G(V, E)$ – неоднородное множество, состоящее из множества вершин $V = \{v_i\}$, $i = 1, 2, \dots, s$ и множества “рёбер” – пар $e_i = (v_j, v_k)$, $j, k \in \{1, 2, \dots, s\}$, $E = \{e_i\}$, $i = 1, 2, \dots, p$.

Граф является удобным для применений математическим понятием с развитой теорией возможных структур. Вершины графа изображают конкретные устройства снабжения и потребления электрической энергии, в то время как ребра (дуги) олицетворяют проводники – контактный провод, рельсы или, если есть, фидерный провод. Структуру графа представляют не только списком элементов, но также матрицей смежности – квадратной

таблицей $s \times s$ значений характеристической функции смежности вершин, или матрицей инцидентностей $s \times p$, строки которой соответствуют вершинам, столбцы рёбрам, а элементами служат значения характеристической функции инцидентности вершины и ребра. Для извлечения возможной выгоды из упорядоченного представления матрицами топологических свойств цепи, электрические её свойства в уравнениях Кирхгофа также представляют векторами и матрицами (Зевеке Г.В. и др., 1975; Kim K.K., 2002).

Дугам приписываются соответствующие им значения величин сопротивления, проводимости, э.д.с. и узловые токи: $\mathbf{R}$ – диагональная матрица сопротивлений размерности $p \times p$, $\mathbf{E}$ – вектор заданных э.д.с., $\mathbf{J}$ – вектор узловых токов (эти вектора имеют размерность $p \times 1$). Пусть требуется определить Φ – вектор потенциалов в узлах цепи.

Задача сводится к решению уравнений Кирхгофа для Φ , которые представляют для заданной электрической схемы систему из s уравнений, и в матричной форме выглядят следующим образом:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \cdot \Phi = \mathbf{A} \cdot \mathbf{J} - \mathbf{A} \cdot \mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{E}.$$

Матрица этой системы всегда вырожденная. Это объяснимо с позиции вычисления потенциалов в узлах, они вычисляются в разностях, с точностью до значения в каком либо узле. В конкретной схеме о m элементах известно, что их потенциалы равны (нулю), в графе их может представлять один узел ($\varphi_1 = 0$).

Символьное решение в пакете Mathematica, с которым возможно решение задач, связанных с графами, эффективно при числе узлов до $p_c = 10$. Существенно снизить вычислительный объем задачи при $p > p_c$ можно, представляя часть параметров в символьном виде, а остальные – в численном. Этот ход перспективен, поскольку позволяет получить в аналитической форме функциональные связи между важнейшими параметрами системы, что много ценнее обобщения в постпроцессоре данных численного эксперимента.

2. Простейшие цепи

Наиболее наглядны результаты, полученные для простых цепей. Схема электрической цепи для случая, в котором на перегоне длиной L между двумя тяговыми подстанциями (ТП1 и ТП2) движется электровоз, приведена на рис. 1 (на схемах использованы следующие обозначения: E_i – напряжение холостого хода, а ρ_i – внутреннее сопротивление i -й тяговой подстанции; $R_i = \gamma_r l_i$ – текущее сопротивление i -го отрезка рельсовой цепи, а $r_i = \gamma_k l_i$ – контактной; J_i – ток электровоза).

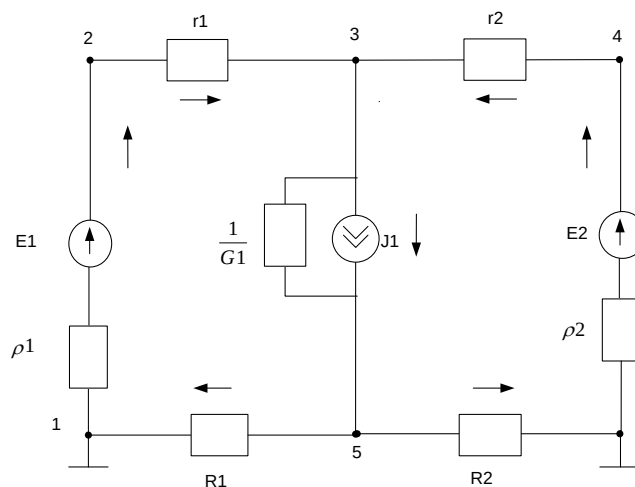
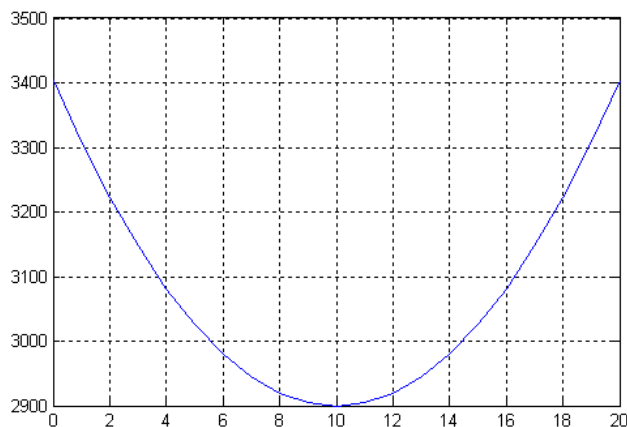


Рис. 1. Схема для двух ТП и одного электровоза

Рассмотрим тестовые результаты моделирования процесса при условии, что ток, потребляемый электровозом J , постоянен и $E1=E2$. Для J^1 , доли тока, потребляемой от ТП1, в зависимости от расстояния до неё x , получается следующая формула:

$$J^1 = \frac{J \rho_2 + \gamma_k + \gamma_r}{\rho_1 + \rho_2 + \gamma_k + \gamma_r} \frac{L - x}{L}$$

Рассчитанное падение напряжения на электровозе в функции от x , показано на рис. 2 ($J = 1000\text{А}$, $L = 20\text{ км}$, $E1 = E2 = 3500\text{ В}$, $\rho I = 0.1\text{ Ом}$, $\gamma_k = 0.1\text{ Ом/км}$, $\gamma_r = 0.01\text{ Ом/км}$).

Рис. 2. Напряжения на электровозе в функции от x , расстояния до первой ТП

3. Одновременное движение электровозов в тяговом и рекуперирующем режимах

При расчёте задач с рекуперацией рассматриваются более сложные электрические цепи (рис. 3). Такая задача характеризуется большим числом координат. В простейшем случае, это будут расстояния от первой ТП1 до тягового электровоза (x) и рекуперирующего электровоза (x_r).

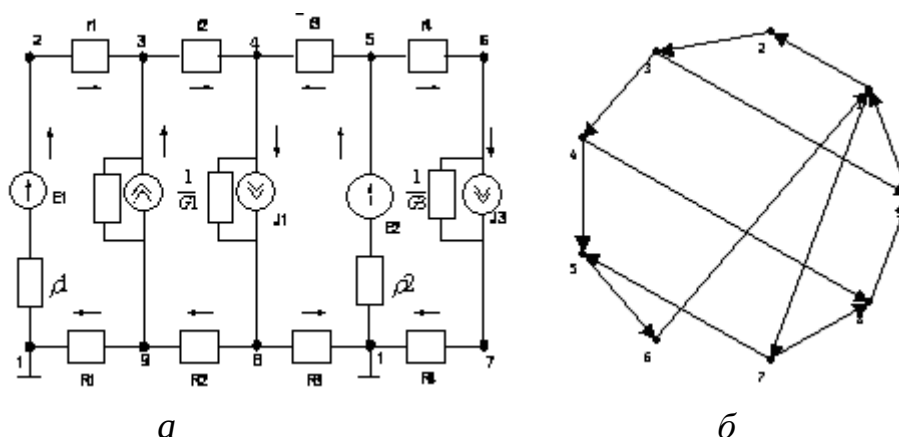


Рис.3. Цепь, включающая две ТП и три электровоза, *а* – схема цепи, *б* – ориентированный граф для схемы

Полезной для анализа функционирования системы электроснабжения при одновременном движении одного электровоза в режиме тяги ТЭ и другого, в режиме рекуперации РЭ, считают модель, в которой ток J^r , подаваемый в сеть рекуперирующим электровозом - постоянен (Павлов Л.Н., 2001).

Если $x_r < x$, а параметры цепи такие же, как в предыдущем примере, то для доли тока, потребляемой от ТП1, получается следующая формула (в сегменте, в котором $J^1, J^2 > 0$, соответствующие соотношения могут быть получены и для других сегментов):

$$J^1 = \frac{J \cdot 0.1 + 0.11 \cdot L - x - J_r \cdot 0.1 + 0.11 \cdot L - x_r}{0.2 + 0.11L}$$

Следующие графики отображают более обобщённые результаты расчётов параметров тяговых цепей. При их рассмотрении следует учитывать, что электрические свойства элементов цепи представлены в численной модели приближённо и результаты несут отпечаток упрощений. Величины токов, напряжений и расстояний отнесены к номинальным значениям J , U и L , соответственно. В примерах, $J=1500$ А.

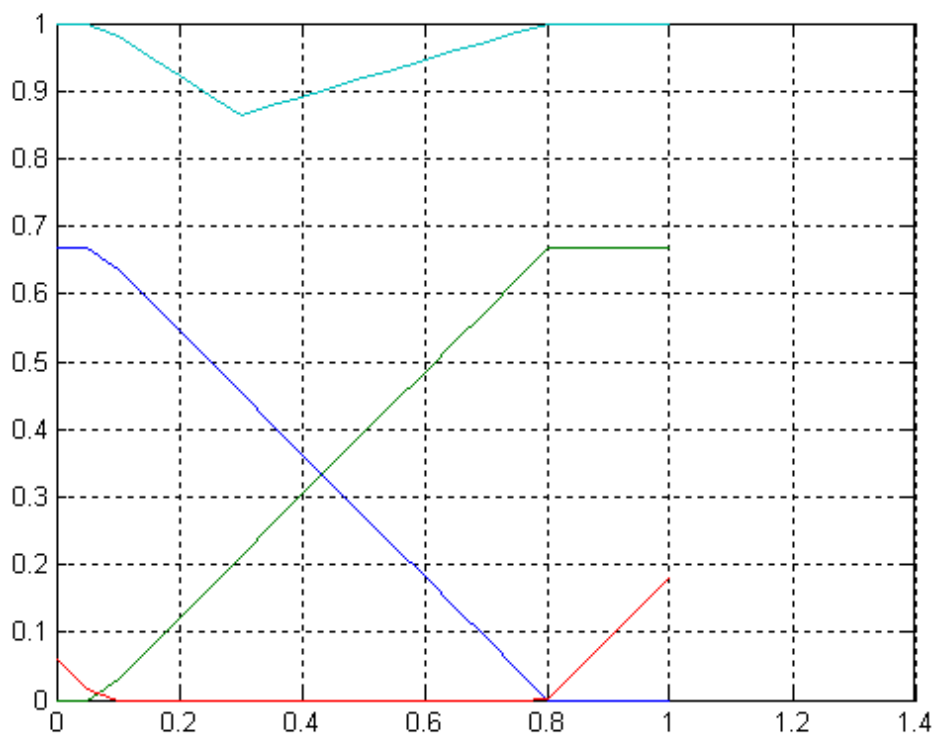


Рис. 4. Параметры электроснабжения в сети с тяговым и рекуперирующим электровозами: $x_r = 0.3$, 1 – напряжение на РЭ; 2 – ток левой ТП; 3 – ток правой ТП; 4 – сбрасываемый ток рекуперации

На рис.5, правее изолинии 0 подстанция ТП1 – “заперта”, полоса корпоративного действия обеих подстанций находится между уровнями 0 и 0.666, левее которого “заперта” ТП2. В модели, ТП является генератором напряжения E_1 , РЭ – генератором тока, поэтому тяговая подстанция запирается, как только напряжение на РЭ, находящемся между нею и ТЭ становится выше E_1 .

4. Выводы

Тестирование, расчёты эталонных задач, анализ результатов позволяют считать, что разработанные алгоритмы и программы на их основе позволяют проводить расчётное моделирование тяговых цепей с электровозами в режиме тяги и рекуперации. Возможно количественное определение эффектов утилизации рекуперированной энергии, “запирания” тяговой подстанции и сброса тока рекуперации.

5. Литература

- Новгородцев А. Расчёт электрических цепей в MATLAB. – М.: Питер, 2004-10-17
 Асенчик О.Д., Стародубцев Е.Г., Токочаев В.И. Проектирование визуальных приложений для модернизирования электрических сетей с использованием пакетов VisSim и Simulink. Exponenta. pro 3/2003.

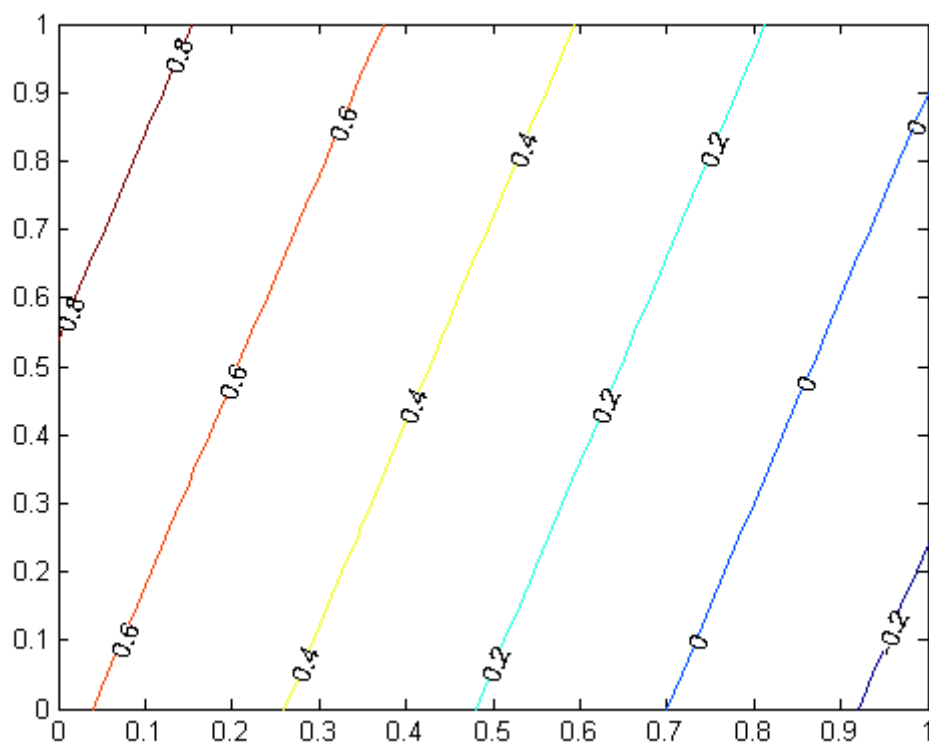


Рис. 5. Ток ТП1 в сети с тяговым и рекуперирующим электровозами в функции положения ТЭ (x/L , гориз. ось) и РЭ (x_r/L , верт. ось)

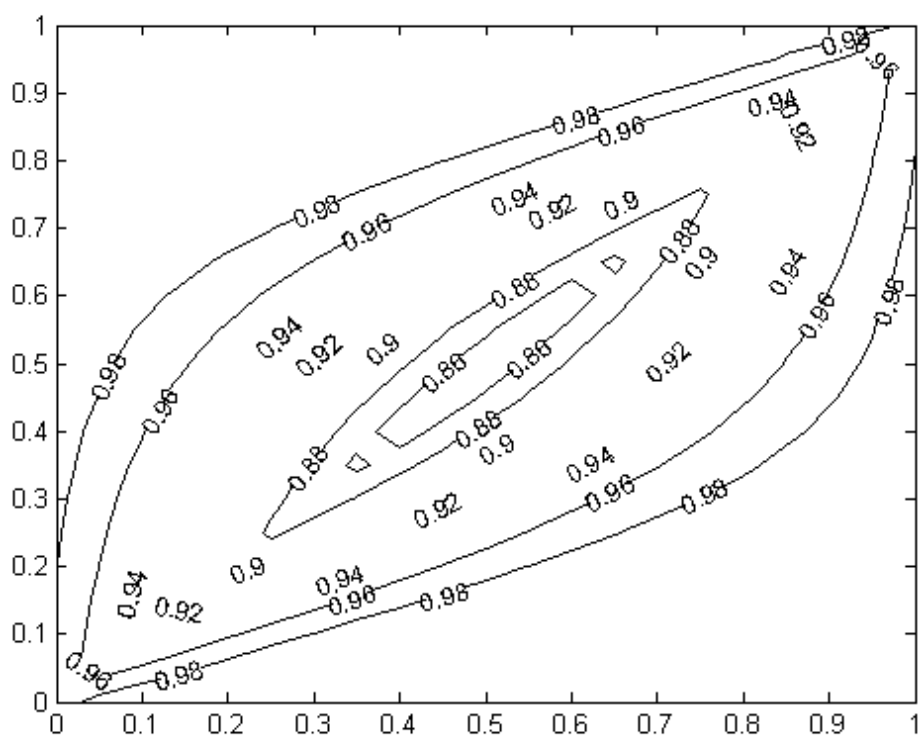


Рис. 6. Напряжение на рекуперирующем электровозе РЭ в сети с ТЭ и РЭ, в функции их положения (x/L , гориз. ось и x_r/L , верт. ось)

Дьяконов В. Mathematica 4: учебный курс. – СПб: Питер, 2001. – 656 с.

Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. – М.: Энергия, 1975.

Kim K.K. Linear electrical circuits in steady regimes/ Pb.: 2002.

Павлов Л.Н. Исследование электроэнергетических процессов при взаимодействии ЭПС и тяговой сети. Вестник ПГУПС МПС России. – СПб, 2001, № 1, – с. 91-96.

Путевые работы

УДК 528.34:629.783+625.11

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ПУТЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ПО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

В.А. Коугия

Аннотация

В статье изложена теория алгоритмов для вычисления координат и высот путем совместного уравнивания путеизмерительных и спутниковых данных, собранных аппаратурой, установленной на путеизмерительном вагоне. Предлагаемые алгоритмы обеспечивают вычисление по простым рекуррентным формулам строгих эффективных оценок координат и высот на основе совместной обработки всей собранной навигационной информации.

1. Постановка задачи

Для контроля геометрических параметров железнодорожного пути служат путеизмерительные вагоны и тележки. Оснащение их спутниковой аппаратурой позволяет получить точные планы и профили за счет точности определения координат. На работы по созданию измерительных комплексов, сочетающих путеизмерительную и спутниковую технику, указывается в публикациях (Боронихин А.М., 2001; Васекин А.И., 1999; Власов В.М., 2002; Матвеев С.И., 2002; Соловьев Ю.А., 2003; Frail J.M., 2000). Разработка математического аппарата, обеспечивающего строгую совместную обработку путеизмерительной и спутниковой информации в настоящее время является актуальной задачей.

Исходными данными для съемки являются координаты и высоты точек привязки путеизмерительного вагона к реперам геодезической сети. Будем называть эти точки опорными.

Спутниковыми измерениями дискретно определяются пространственные геоцентрические координаты. По пространственным координатам, пользуясь известными формулами, вычисляют плоские прямоугольные координаты x, y точек в некоторой проекции и их геодезические высоты H_g . Полагая известными высоты ζ квазигеоида над поверхностью применяемого земного эллипсоида и пренебрегая малыми величинами, перейдем к нормальным высотам $H - H = H_g - \zeta$. В дальнейшем результатами спутниковых определений будем считать координаты x, y и нормальные высоты H .

Результатами измерений, выполненных путеизмерителем, будем считать значения дирекционных углов направления движения, углы наклона и пройденные расстояния.

В результате обработки измерений должны быть вычислены эффективные оценки координат и высот всех точек.

Применяемый в навигации для решения близких задач фильтр Калмана позволяет определять координаты в режиме “on line”, но обладает и недостатком. Он не позволяет учесть результаты измерений, выполненных после оцениваемого момента времени. Нужен алгоритм, свободный от этого недостатка.

2. Математическая модель исходных данных

Обозначим x_i , y_i , H_i координаты и высоты опорных пунктов и точек спутниковых определений, где $i = 1, 2, \dots, n$ их порядковые номера. Напишем вектор координат точки i и ковариационную матрицу его ошибок:

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ H_i \end{bmatrix},$$

$$K_i = \begin{bmatrix} m_x^2 & K_{xy} & K_{xH} \\ K_{xy} & m_y^2 & K_{yH} \\ K_{xH} & K_{yH} & m_H^2 \end{bmatrix}.$$

Заметим, что для опорных пунктов, координаты и высоты которых считаются безошибочными, все элементы матрицы K_i равны нулю. При этом если у опорного пункта известны только плановые координаты x , y , то его высоте H_i присваивается приближенное значение, а дисперсии m_H^2 – большое значение (ничтожный вес). Если известна только высота, то приближенные значения присваиваются координатам x , y и большие значения – дисперсиям m_x^2 и m_y^2 .

Для спутниковых определений вектор координат X_i и матрица K_i являются результатом обработки выполненных в точке i измерений. При хорошей геометрии спутниковых созвездий недиагональные элементы K_i можно считать равными нулю и $m_x^2 \approx m_y^2$.

Измеряемые путеизмерителем элементы обозначим: q – дирекционный угол направления движения, v – угол наклона и s – пройденное расстояние. Приращения координат между точками i и $(i + 1)$ будут равны

$$\Delta x_i = \int_{s_i}^{s_{i+1}} s \cos v \cos q \cdot ds,$$

$$\begin{aligned}\Delta y_i &= \int_{s_i}^{s_{i+1}} s \cos v \sin q \cdot ds, \\ \Delta H_i &= \int_{s_i}^{s_{i+1}} s \sin v \cdot ds.\end{aligned}\quad (1)$$

Полагая что осевая линия проекции проходит близко к месту работ, в формулах (1) пренебрегли искажениями проекции. Напишем вектор измеренных приращений координат

$$\Delta X_i = \begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta H_i \end{pmatrix}.$$

Погрешности измерения s , q и v будем считать независимыми, а их стандарты обозначим m_s , m_q и m_v . Пренебрегая кривизной траектории на отрезке между точками i и $(i + 1)$, и дифференцируя ΔX_i , по всем переменным, запишем

$$d \begin{pmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta H_i \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q \cos v & -s \sin q \cos v & -s \cos q \sin v \\ \sin q \cos v & s \cos q \cos v & -s \sin q \sin v \\ \sin v & 0 & s \cos v \end{bmatrix} \begin{pmatrix} ds \\ dq \\ dv \end{pmatrix}.$$

Ковариационную матрицу K_{Π_i} погрешностей приращений координат на отрезке определим по формуле

$$K_{\Pi_i} = \Pi \begin{pmatrix} m_s^2 & 0 & 0 \\ 0 & m_q^2 & 0 \\ 0 & 0 & m_v^2 \end{pmatrix} \Pi^T,$$

где $\Pi = \begin{bmatrix} \cos q \cos v & -s \sin q \cos v & -s \cos q \sin v \\ \sin q \cos v & s \cos q \cos v & -s \sin q \sin v \\ \sin v & 0 & s \cos v \end{bmatrix}$ – матрица переноса ошибок.

3. Совместное уравнивание выполненных измерений

По результатам выполненных измерений можно составить следующую систему уравнений:
по результатам спутниковых измерений

$$\bar{X}_i - X_i = V_{li}, \quad (2)$$

по результатам путеизмерения

$$\bar{X}_{i+1} - \bar{X}_i - \Delta X_i = V_{2i}, \quad (3)$$

здесь $\bar{X}_i$ – уравнинное и X_i – приближенное значения вектора координат.

Решение методом наименьших квадратов (VYR) системы уравнений (2) – (3) с учетом ковариационных матриц K_i и K_{Π_i} приводит к определению уравнинных значений координат $\bar{X}_i$. Однако при большом числе измерений такое решение связано с образованием большой системы нормальных уравнений, имеющей разные размеры в разных случаях, что усложняет алгоритм. Решение значительно упрощается, если использовать предложения статьи (Коугия В.А., 1983).

4. Вычисление координат и оценок точности в режиме “Online”

Пусть для точки $i-1$ с использованием всей собранной ранее информации вычислен вектор координат $\hat{X}_{i-1}$ и матрица $\hat{K}_{i-1}$. В начальной точке X_1 и K_1 – это вектор координат и ковариационная матрица исходного опорного пункта или результат выполненных в начальной точке спутниковых измерений. Измерив приращения координат до следующей точки со спутниковыми измерениями, найдем приближенный вектор ее координат $X_c = \hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1}$, и ковариационную матрицу $\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}$. Из спутниковых измерений для той же точки имеем вектор X_i с ковариационной матрицей K_i . Приходим к следующей системе уравнений.

$$\begin{aligned} \hat{X}_i - X_c &= V_1, \\ \hat{X}_i - X_i &= V_2, \end{aligned}$$

где $\hat{X}_i$ – вектор координат, вычисленный с использованием всей полученной в точке i и ранее информации, а V_1 и V_2 – векторы согласующих поправок.

Напишем систему уравнений поправок

$$\begin{aligned} \delta X_i &= V_1, \\ \delta X_i - (X_i - X_c) &= V_2, \end{aligned}$$

где δX_i – вектор поправок к приближенному вектору X_c .

Ковариационная матрица системы уравнений равна

$$K = \begin{Bmatrix} \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} & 0 \\ 0 & K_i \end{Bmatrix}.$$

МНК-решение полученной системы уравнений с учетом матрицы K приводит к рекуррентным формулам:

$$\hat{X}_i = \hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1} + [(\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1} + K_i^{-1}]^{-1} K_i^{-1} (X_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1}), \quad (4)$$

$$\hat{K}_i = [(\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1} + K_i^{-1}]^{-1}. \quad (5)$$

где $\hat{X}_i$ и $\hat{K}_i$ – вектор координат и ковариационная матрица для точки i .

Алгоритм, описываемый формулами (4) и (5) соответствует фильтру Калмана. Конечно, координаты, вычисляемые по формуле (4) нельзя считать окончательно уравненными, так как здесь используется только информация, полученная до момента измерений в данной точке, и не использована полученная позже. В полной мере уравненные значения $\hat{X}_i$ и $\hat{K}_i$, вычисленные с использованием всей информации, будут получены только для последней точки.

5. Уравнивание результатов измерений, полученных из прямого и обратного хода

Вычислим координаты и оценки точности для каждой точки со спутниковыми измерениями, используя весь объем измерений. Для этого сначала по формулам (4) и (5) вычислим координаты и оценки точности для всех точек в порядке их номеров. Затем по тем же формулам вновь вычислим координаты и оценки точности в обратном порядке, начиная от последней опорной точки. Полученные результаты прямого и обратного ходов уравнием совместно.

Обозначим по-прежнему вектор координат и ковариационную матрицу, полученные для точки i из прямого хода, $\hat{X}_i$ и $\hat{K}_i$. Те же оценки из обратного хода обозначим $\check{X}_i$ и $\check{K}_i$. Уравненные значения обозначим $\bar{X}_i$ и $\bar{K}_i$.

Составим систему уравнений, связывающих векторы координат $\hat{X}_{i-1}$ и $\check{X}_i$

$$\begin{aligned} \bar{X}_i - \hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1} &= V_1, \\ \bar{X}_i - \check{X}_i &= V_2, \end{aligned}$$

и весовую матрицу

$$P = \begin{Bmatrix} \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} & 0 \\ 0 & \check{K}_i^{-1} \end{Bmatrix}.$$

МНК-решение составленной системы уравнений приводит к формулам:

$$\bar{K}_i = \left[\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right]^{-1}, \quad (6)$$

$$\bar{X}_i = \bar{K}_i \left[\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right] (\hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1}) + \bar{K}_i^{-1} \check{X}_i. \quad (7)$$

Используя те же значения $\hat{X}_{i-1}$ и $\check{X}_i$, составим иную систему уравнений поправок, в которой определяемыми параметрами являются составляющие вектора $\bar{X}_{i-1}$:

$$\begin{aligned} \bar{X}_{i-1} - \hat{X}_{i-1} &= V_1, \\ \bar{X}_{i-1} - \hat{K}_{i-1} - \Delta X_{i-1} &= V_2 \end{aligned}$$

и весовую матрицу

$$P = \begin{Bmatrix} \hat{K}_{i-1}^{-1} & 0 \\ 0 & \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \end{Bmatrix}.$$

Из этой системы уравнений получаем формулы:

$$\bar{K}_{i-1} = \left[\hat{K}_{i-1}^{-1} + \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right]^{-1}, \quad (8)$$

$$\bar{X}_{i-1} = \bar{K}_{i-1} \left[\hat{K}_{i-1}^{-1} \hat{X}_{i-1} + \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right] \hat{K}_{i-1} - \Delta X_{i-1}. \quad (9)$$

Используя формулы (6) и (7) или (8) и (9), можно выполнить строгое уравнивание всей совокупности выполненных измерений. При этом рекуррентный характер формул приводит к алгоритму, чрезвычайно экономному в отношении объема оперативной памяти, позволяющему последовательно обрабатывать файлы измерений любой длины. Но такой алгоритм требует трехкратного вычисления координат и ковариационных матриц, первое – в прямом порядке по формулам (4) и (5), второе – в обратном порядке по тем же формулам и третье – по формулам (6) и (7) или (8) и (9).

6. Уравнивание результатов измерений без вычислений обратного хода

Рассмотрим возможность сокращения алгоритма за счет исключения процедуры предварительного вычисления координат $\check{X}_i$ и матриц $\bar{K}_i$ из обратного хода. Исключим из уравнений (7) и (9) вектор $\check{X}_i$, для чего сначала их преобразуем. В правой части уравнения (7) прибавим и отнимем $\hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1}$ и после несложных преобразований получим

$$\bar{X}_i = \hat{X}_{i-1} + \Delta X_{i-1} + \bar{K}_i \bar{K}_i^{-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1} \right) \quad (10)$$

В правой части уравнения (8) прибавим и отнимем $\hat{X}_{i-1}$ и после преобразований получим

$$\bar{X}_{i-1} = \hat{X}_{i-1} + \bar{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i + K_{\Pi_{i-1}} \right) \bar{\mathbb{K}}_i^{-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1} \right) \quad (11)$$

Подставим в уравнение (11) выражение для $\bar{\mathbb{K}}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1}$, полученное из (10), и найдем

$$\bar{X}_{i-1} = \hat{X}_{i-1} + \bar{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i + K_{\Pi_{i-1}} \right) \bar{K}_i \bar{K}_i^{-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1} \right).$$

Избавимся в полученной формуле от $\bar{K}_i$. Для этого преобразуем входящее в нее выражение $\bar{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i + K_{\Pi_{i-1}} \right) \bar{K}_i \bar{K}_i^{-1}$. Подставим в него выражения для $\bar{K}_i$ из (6) и для $\bar{K}_{i-1}$ из (8) и воспользуемся тождеством вида

$$\left(\bar{\mathbb{K}}_1^{-1} + K_2^{-1} \right) K_2^{-1} = K_1 \left(\bar{\mathbb{K}}_1 + K_2 \right),$$

где K_1 и K_2 матрицы симметрические неособенные. Опуская промежуточные выкладки, найдем

$$\bar{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_i + K_{\Pi_{i-1}} \right) \bar{K}_i \bar{K}_i^{-1} = \hat{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right)$$

и окончательно

$$\bar{X}_{i-1} = \hat{X}_{i-1} + \hat{K}_{i-1} \left(\bar{\mathbb{K}}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right) \left(\bar{\mathbb{K}}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1} \right). \quad (12)$$

Полученная формула освобождает от необходимости предварительного вычисления координат в обратном порядке. Имея значения $\hat{X}_i$ и $\hat{K}_i$ из прямого хода, непосредственно по формуле (12) найдем окончательно уравненные координаты точек. Очередность рекуррентных вычислений – в направлении обратного хода.

Для вывода формулы оценки точности, не использующей данных обратного хода, приведем выражения (6) и (8) к следующему виду

$$\begin{aligned} \left[\bar{K}_i^{-1} - \left(\bar{\mathbb{K}}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \right) \right]^{-1} &= \bar{K}_i \\ \left(\bar{\mathbb{K}}_{i-1}^{-1} - \hat{K}_{i-1}^{-1} \right) - K_{\Pi_{i-1}} &= \bar{K}_i \end{aligned}$$

В силу равенства правых частей равны и левые

$$[\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}]^{-1} = [\bar{K}_{i-1}^{-1} - \hat{K}_{i-1}^{-1}] - K_{\Pi_{i-1}},$$

откуда находим:

$$\bar{K}_{i-1}^{-1} = \hat{K}_{i-1}^{-1} + \{[\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}]^{-1} + K_{\Pi_{i-1}}\}^{-1}.$$

Получили выражение, не содержащее данных, связанных с обратным ходом. Преобразуем его с целью упрощения и уменьшения числа обращений матриц. Умножим обе стороны равенства на выражение $[\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}]^{-1} + K_{\Pi_{i-1}}$. В ходе преобразований будем учитывать перестановочность входящих в произведения матриц, вытекающая из их симметричности. Получим

$$\bar{K}_{i-1}^{-1} [\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}]^{-1} + \bar{K}_{i-1}^{-1} K_{\Pi_{i-1}} = \hat{K}_{i-1}^{-1} [\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}]^{-1} + \hat{K}_{i-1}^{-1} K_{\Pi_{i-1}} + E.$$

Умножим обе части полученного выражения справа на $[\bar{K}_i^{-1} - \bar{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}}](\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})\bar{K}_i\hat{K}_{i-1}$ и после преобразований запишем:

$$\bar{K}_{i-1}^{-1} \hat{K}_{i-1} (\bar{K}_i \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}} K_{\Pi_{i-1}}) = \hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})(\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})$$

И далее –

$$\bar{K}_{i-1} = (\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1} \hat{K}_{i-1} [\bar{K}_i \hat{K}_{i-1} (\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1} + K_{\Pi_{i-1}}].$$

Введем вспомогательное обозначение $Q = \hat{K}_{i-1}(\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1}$ и напишем окончательные формулы

$$\bar{X}_{i-1} = \hat{X}_{i-1} + Q \cdot [\bar{X}_i - \hat{X}_{i-1} - \Delta X_{i-1}] \quad (13)$$

$$\bar{K}_{i-1} = Q \cdot \hat{K}_{i-1} [Q \cdot \bar{K}_i + K_{\Pi_{i-1}}]. \quad (14)$$

где

$$Q = \hat{K}_{i-1}(\hat{K}_{i-1} + K_{\Pi_{i-1}})^{-1}.$$

7. Заключение

Совместная обработка результатов спутниковых и путевых измерений выполненных по рекуррентным формулам выполняется по следующим алгоритмам.

Алгоритм “Online”. Файлы зарегистрированных результатов измерений обрабатываются в том порядке, как они поступили на устройства памяти. Обработка выполняется по формулам (4) и (5). В

результате обработки для каждой точки i получают вектор ее координат $\hat{X}_i$ и ковариационную матрицу $\hat{K}_i$, вычисленные с использованием всей предшествующей информации. Алгоритм может применяться для решения навигационной задачи, то есть обработки результатов измерений в реальной шкале времени.

Алгоритм "*A posteriori*". Включает два этапа вычислений. На первом этапе, используя алгоритм "*Online*", вычисляют векторы $\hat{X}_i$ и матрицы $\hat{K}_i$. На втором этапе результаты первого этапа обрабатывают в обратном порядке по формулам (13) и (14). В результате обработки для каждой точки i получают вектор уравненных координат $\bar{X}_i$ и ковариационную матрицу $\bar{K}_i$, вычисленные с использованием всей, как предшествующей, так и последующей, информации. Алгоритм предназначен для апостериорной обработки результатов измерений и достижения строгого решения задачи.

Алгоритм "*A posteriori*" может применяться и при решении навигационной задачи в реальной шкале времени. По формулам (13) и (14) по мере выполнения новых спутниковых измерений можно уточнять координаты нескольких ближайших предшествующих точек. Получаемые таким образом текущие координаты (хотя и с незначительной задержкой во времени) будут точнее, чем координаты, определенные только по предшествующим данным.

Отметим еще, что вычисление координат точек, расположенных между точками спутниковых определений, если это потребуется, следует выполнять после завершения описанных в предыдущих пунктах уравнительных вычислений. При этом координаты каждой такой точки могут быть вычислены, например, сложением уравненных координат предыдущей точки со спутниковыми измерениями с приращениями координат, вычисленными по формулам, аналогичным формулам (1).

8. Литература

- Боронихин А.М. и др. Исследование интегрированной системы навигации на рельсовом пути. Сб. «Интегрированные инерциально-спутниковые системы», ГНЦ ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 2001.
- Васекин А.И. и др. Опыт внедрения аппаратуры спутниковых навигационных систем в технологии управления железнодорожным транспортом. Тезисы региональной научно-практической конференции, МПС РФ, Новосибирск, 24-26 июня 1999
- Власов В.М. Автоматизированная спутниковая радионавигационная система на наземном транспорте // Мир связи – Connect, #4, 1999.
- Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте. Под ред. С.И. Матвеева. – М. 2002.
- Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2003. – 326 с.
- Fraille J.M. SATURN An innovating Concept for GNSS-based Localisation of Railway Vehicles, GNSS-2000 Conference Proc., Edinburgh, 2000.

Коугия В.А. Рекуррентные способы уравнивания измерений на галсе. Геодезия и картография, №3, 1983, с. 30-33.

УДК 621.873/.875(031)

АДАПТИВНАЯ ВЫНОСНАЯ ОПОРА ДЛЯ КРАНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ХОДУ

О.А. Бардышев, Д.Е. Попов, Я.С. Ватулин, В.А. Попов

Аннотация

В статье приводятся результаты исследования взаимодействия элементов опорного контура железнодорожного крана, оснащенного адаптивными выносными опорами. Предлагается кинематическая схема адаптивной опоры, оборудованной гидроприводом поступательного действия. Приводятся результаты численного эксперимента.

Ключевые слова: адаптивная выносная опора, несущая металлоконструкция, опорный контур, земляное полотно, железнодорожный кран.

Введение

Одной из особенностей работы железнодорожных кранов является работа в условиях опирания на ограниченное пространство рабочей площадки верхнего строения пути и профиля земляного полотна.

Действующие на кран вертикальные и горизонтальные (ветер, инерция, качение груза) силы создают вертикальные и горизонтальные опорные давления, величина которых определяет основные параметры напряженно-деформируемого состояния элементов опорного контура.

Величина опорных давлений определяется для рабочего и нерабочего состояния крана при различных углах поворота стрелы, создающих наименее выгодные расчетные условия. При рабочем состоянии предполагается нагружение максимальным весом груза на максимальном вылете стрелы, а в нерабочем – при поднятой стреле и максимальной силе ветра. Суммарное вертикальное давление на все опоры крана равно его полному весу, однако распределение нагрузки между опорами зависит от положения центра тяжести, которое изменяется при вращении поворотной части и положения противовеса. Кроме того, горизонтальные силы создают дополнительный опрокидывающий момент, который разгружает одни опоры крана и пригружает другие. Распределение нагрузок между опорами зависит также от состояния грунта рабочей площадки и упругих

свойств искусственных сооружений, устраиваемых на наклонных участках земляного полотна железнодорожного пути.

1. Определение основных параметров адаптивной опоры

Технология подготовки опорной площадки железнодорожных кранов при работе с выносными опорами предполагает выработку части балластной призмы, рабочей зоны земляного полотна и устройство многоярусной шпальной выкладки с целью создания условий опирания грузоподъемной машины с учетом угла естественного откоса грунта.

Для обеспечения наилучшего режима взаимодействия исполнительного органа выносной опоры и откоса земляного полотна предлагается адаптивная опора, которая позволяет решить задачу с минимальным повреждением бровки земляного полотна.

Конструктивное устройство адаптивной опоры представляет собой шарнирно-сочлененный четырехзвенный механизм с гидроприводом поступательного действия (Рис.1). Опорная плита 7 связана с неповоротной рамой крана 1 посредством опорной стойки 4. Наличие в узле соединения опорной плиты 7 и стойки 4 цилиндрического шарнира позволяет свободно поворачиваться вокруг точки соединения, занимая различные угловые положения относительно рамы крана 1. Тем самым, осуществляя функцию адаптации выносной опоры при работе машины в условия профиля земляного полотна железнодорожного пути. Одним из требований (ТУ 24.04.270-83) к подвижному составу является вписывание в регламентируемый габарит. Принимая во внимание наличие достаточно малого объема для размещения устройств выносной опоры в транспортном положении, элемент 7 опорная плита выполнена телескопической.

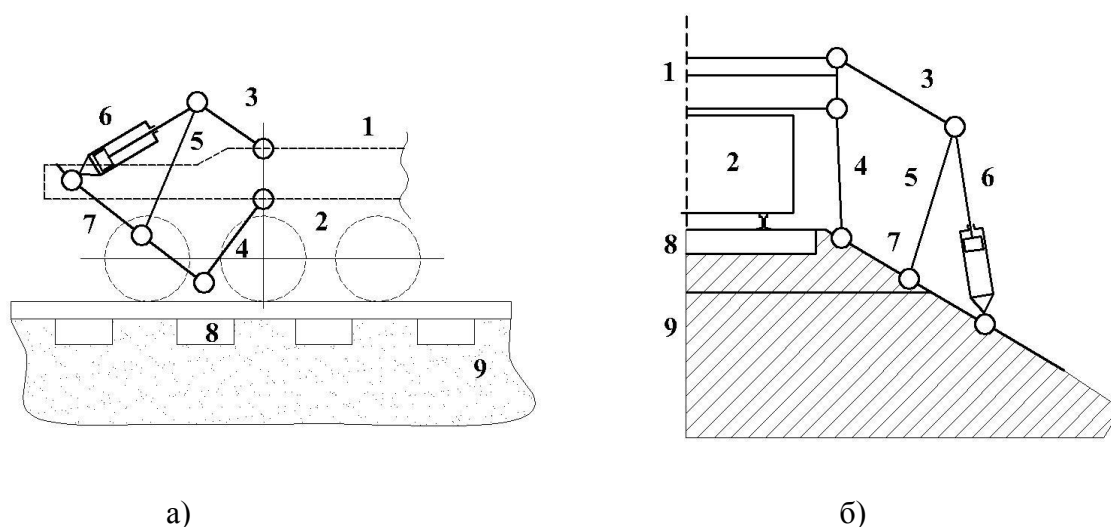


Рис. 1. Кинематическая схема предлагаемой опоры.

а) транспортное положение; б) рабочее положение (1 – неповоротная рама крана; 2 – тележка крана; 3 – верхняя стойка; 4 – опорная стойка;

5 – средняя стойка; 6 – гидроцилиндр; 7 – опорная телескопическая плита;
8 – шпала; 9 – земляное полотно.)

Для приведения опоры в транспортное положение (или рабочее) используется шарнирно-сочлененный четырехзвенный механизм, который позволяет реализовать раскрытие опоры на углах, превышающих длину рабочего хода гидроцилиндра 6.

Для определения конструктивных параметров выносной опоры, необходимо установить режим нагружения опорного контура крана в целом.

Расчетная схема опорного контура приведена на рис.2. Жесткая ходовая рама в отношении распределения нагрузки между опорами весьма чувствительна к неровностям рабочей площадки и другим факторам, нарушающим расположение всех опорных точек в одной плоскости. Эти обстоятельства могут в конечном итоге свести жесткую четырех опорную раму, – к трех опорной, с повышенными давлениями на оставшиеся опоры. Отрыв от рабочей площадки одной из опор, особенно часто происходит в условиях, когда опорные поверхности имеют разные коэффициенты податливости, что приводит к неравномерности внедрения аутригеров в поверхность опирания. При вращении поворотной части кранового оборудования, происходит перемещение проекции центра масс системы, с трансформацией схемы опирания и образованием нового, трех опорного ядра опирания в районе ранее не контактировавшей опоры. В результате качения крановой установки вокруг оси, проходящей через диагонально-расположенные опоры, и происходит резкое взаимодействие опорной плиты с откосом земляного полотна. Таким образом, значение кратковременных перегрузок может значительно превышать номинальную величину. С целью учета этого фактора проведем расчет опорного контура в режиме трансформации ядра опирания.

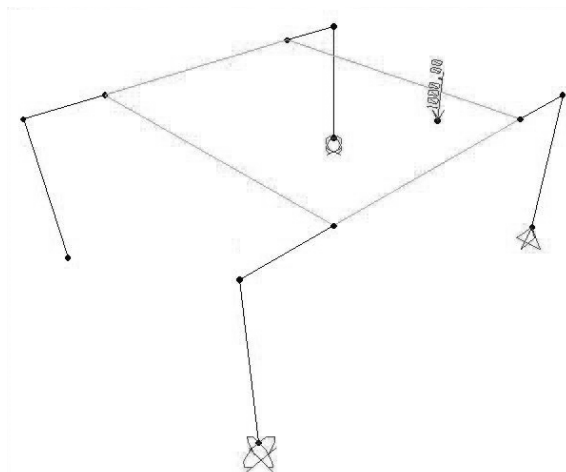


Рис.2. Схема приложения сил

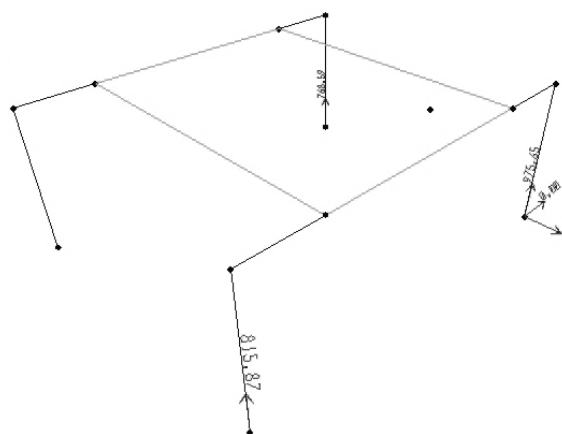


Рис.3 Результат расчета наиболее нагруженного случая

Расчетная схема неповоротной части крановой установки (рис.2.) представляет собой пространственную, статически неопределимую шарнирно-сочлененную конструкцию. Расчеты произведены в программной интегрированной среде конечно-элементного, структурного анализа SAP2000.

В результате проведения численного эксперимента (рис.3.) установлено, что наиболее нагруженным элементом является узел сопряжения выносной опоры и рамы. Полученные реакции опор используются в качестве начальных условий для определения напряженно-деформированного состояния элементов выносной опоры.

2. Расчет основных элементов адаптивной опоры

Расчетная схема (рис.4.) представляет собой плоскую шарнирно-сочлененную раму с жесткой заделкой одного из элементов. Результаты расчета представлены на рис.5.

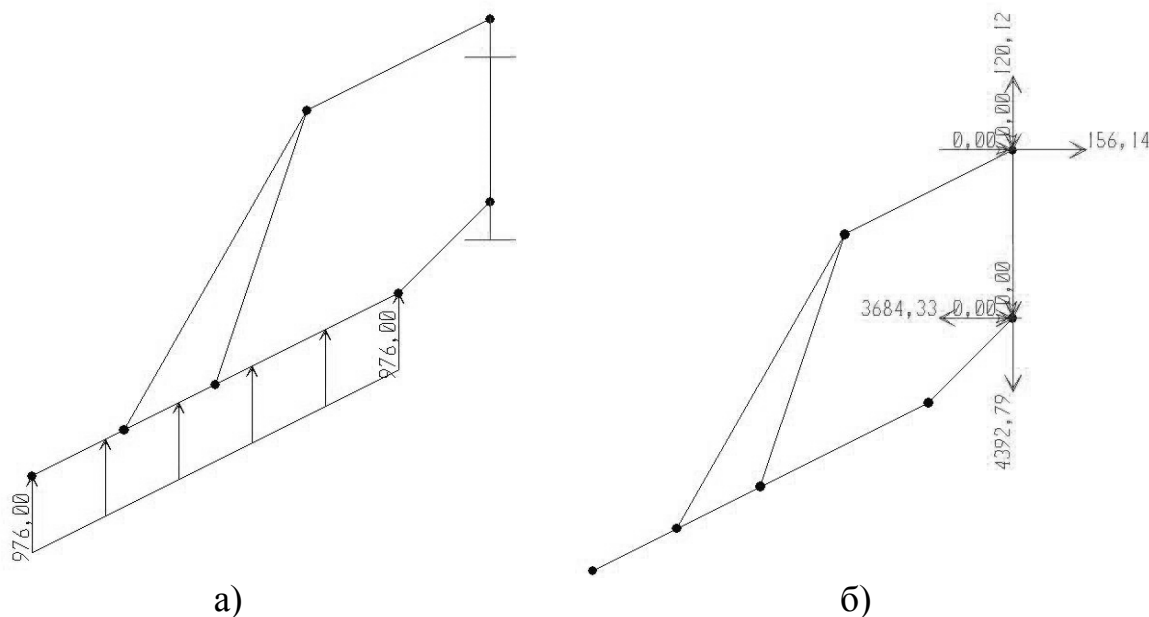


Рис.4. Схема приложения сил

Результаты исследования показывают, что наиболее нагруженными являются элементы 4 и 7. Для ряда расчетных случаев работы крана на круто наклонных участках откосов для осуществления лучшей адаптации опоры требуется установка подобного подстроечного гидропривода для элемента 4. Учитывая факт неравномерности податливости призмы земляного полотна по длине опоры распределение контактного усилия будет носить такой же неравномерный характер распределения. Для определения конструктивных параметров данных элементов требуется проведение дополнительных исследований.

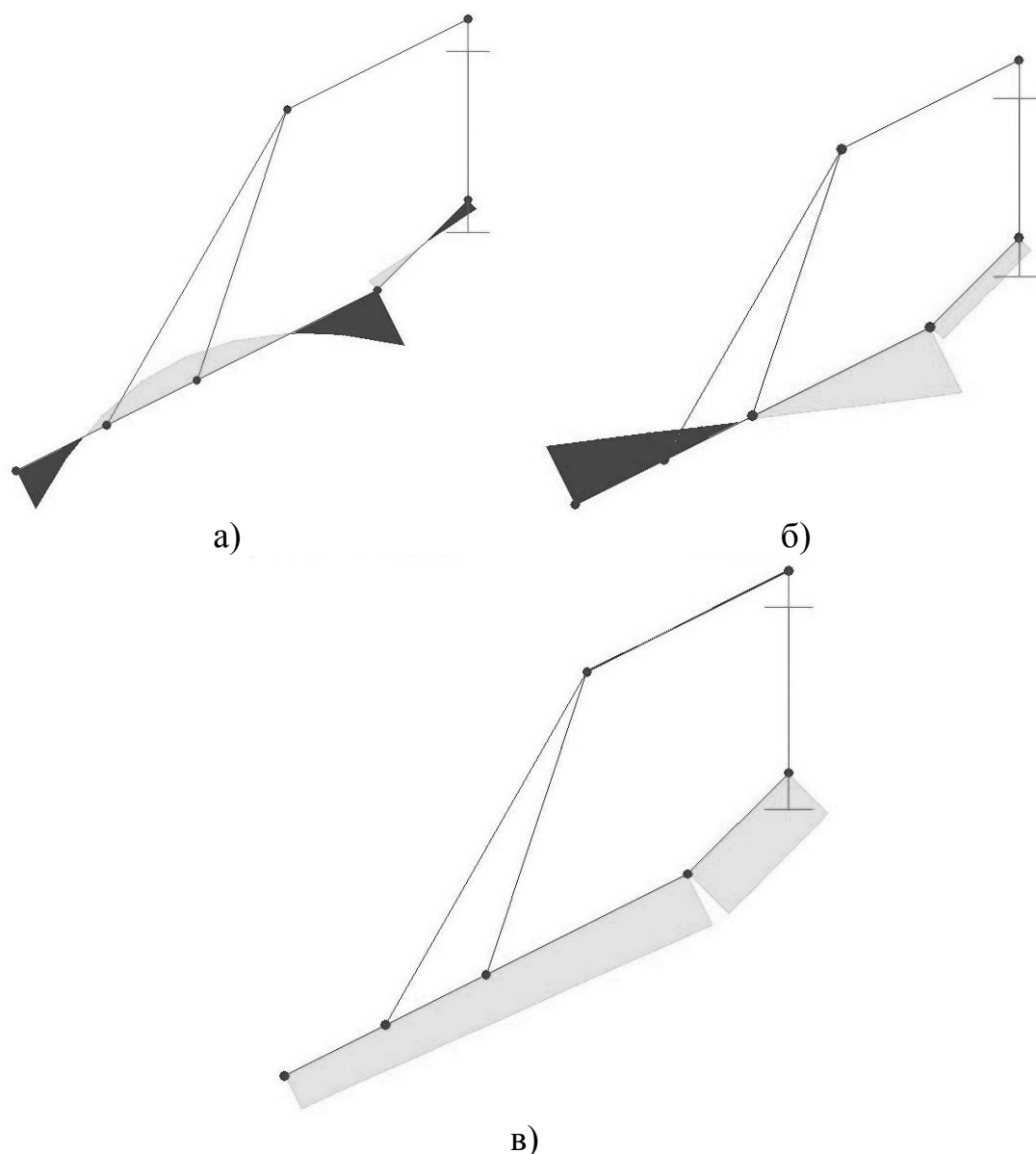


Рис.5. Эпюры нагружения основных несущих элементов адаптивной опоры: а) эпюра изгибающих моментов б) эпюра поперечных сил в) эпюра осевых усилий

3. Заключение

В результате проведенного численного эксперимента установлены основные конструктивные параметры несущих элементов адаптирующейся выносной опоры железнодорожных кранов с учетом особенностей их работы на откосе земляного полотна железнодорожного пути.

Одним из направлений совершенствования конструкции устройства является определение основных параметров элементов системы приспособляемости к форме профиля опорной поверхности земляного полотна железнодорожного пути.

4. Литература

- Александров М.П., Гохберг М.М., Ковин А.А. и др. Справочник по кранам. Т.1-2. Машиностроение. 1988.
- Панкратов С.А. Конструкция и основы расчета главных узлов экскаваторов и кранов. Машгиз. 1962.
- ТУ 24.04.270-83 “Краны на железнодорожном ходу”.

УДК 621.86.001.24

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ БАШЕННЫХ КРАНОВ БК-1000

В.Л. Уралов, Я.С. Ватулин, С.К. Коровин,
А.П. Попов, В.А. Попов

Аннотация

В статье приводится методика определения остаточного ресурса металлоконструкции башенных кранов БК-1000. Остаточный ресурс машины определяется по лимитирующим узлам, выявленным на этапе обследования металлоконструкции. Результаты тензометрических исследований, полученных в ходе нагружения контролируемых узлов полным технологическим циклом работы машины используются для определения остаточного ресурса с учетом наличия существующих (неустраненных) повреждений (трещин, или любых иных концентраторов напряжений).

Ключевые слова: остаточный ресурс, несущая металлоконструкция, лимитирующий элемент.

Введение

В специфических условиях современного промышленного производства, когда у владельцев отсутствуют финансовые возможности для обновления парка подъемных сооружений, их модернизации и замены изношенных узлов (80% грузоподъемных кранов и подъемников выработали нормативный срок службы), низкой квалификации обслуживающего персонала, весьма актуальной становится проблема обеспечения безопасности эксплуатации подъемных сооружений.

В порядке реализации принятых законодательных актов и постановлений Правительства (Закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (Федеральный закон, 1997), постановление Правительства РФ № 241 от 28.03.01 “О мерах по обеспечению промышленной безопасности производственных объектов”, указание Госгортехнадзора России № 03-35/23 от 04.02.2002.)

Госгортехнадзором России организовано массовое экспертное обследование подъемных сооружений, отработавших нормативный срок службы, с целью определения возможности дальнейшей эксплуатации.

В процессе эксплуатации состояние несущей конструкции машины значительно изменяется (увеличиваются зазоры в сочленениях, появляется остаточный прогиб несущих элементов, образуются трещины и пр.) в связи с чем, изменяется и режим нагружения конструкций машины в целом. Поэтому использование проектной расчетной методики для определения нагруженности элементов в этих условиях становится некорректным.

В условиях перераспределения нагрузок в металлоконструкции, вызванное, например, потерей несущей способности какого-либо узла, лимитирующим элементом может оказаться практически любой элемент металлоконструкции. Поэтому следует принимать во внимание не только режим нагружения машины, ее условия эксплуатации, но и в каждом конкретном случае вновь определять тот конкретный элемент металлоконструкции, который является лимитирующим для данной машины и в данных условиях эксплуатации.

Металлоконструкция башенного крана БК-1000 представляет собой комбинацию элементов регулярной формы – ферменные секции стрелы и башни, оголовков, противовесная консоль и элементов, имеющих закрытый профиль – портал, опоры портала и узлы их соединения с ходовыми тележками.

Наибольшие по величине (и их амплитуде) напряжения, возникают в элементах, расположенных ниже опорно-поворотного устройства (ОПУ) – портал и его опоры, узел соединения опоры портала с ходовой тележкой и рама тележки. Поэтому в качестве расчетного элемента рекомендуется принимать узел соединения опоры портала с ходовой тележкой, конструкция которого показана на рис. 1.

По истечению продления срока службы после 4-го повторного обследования или при наличии значительных коррозионных и усталостных повреждений металлоконструкции оценку остаточного ресурса рекомендуется производить экспериментально-расчетным методом.

1. Расчетно-экспериментальный метод определения остаточного ресурса металлоконструкции кранов

Расчетно-экспериментальный метод базируется на определении напряжений и их амплитуд в опасных сечениях элементов металлоконструкции расчетным или экспериментальным (натурная тензометрия) методом с проведением анализа их влияния на усталостную долговечность с течением времени.

Расчетный метод определения напряжений и их амплитуд в опасных сечениях расчетных элементов базируется на положениях (РД 22-166-86, Краны башенные), при этом обязательным условием является наличие

конструкторской документации, содержащей данные об основных параметрах крана (геометрические размеры элементов, их веса, данные о рабочих скоростях механизмов и др.). Расчетные усилия и амплитуды напряжений в опасных элементах определяются при нормативной нагрузке от веса груза в соответствии с распределением нагрузок по циклам работы крана по справке о характере работ крана по приложению (РД 10-112-3-976, Методические указания) и номеров сочетания нагрузок РД 22-166-86, Краны башенные).

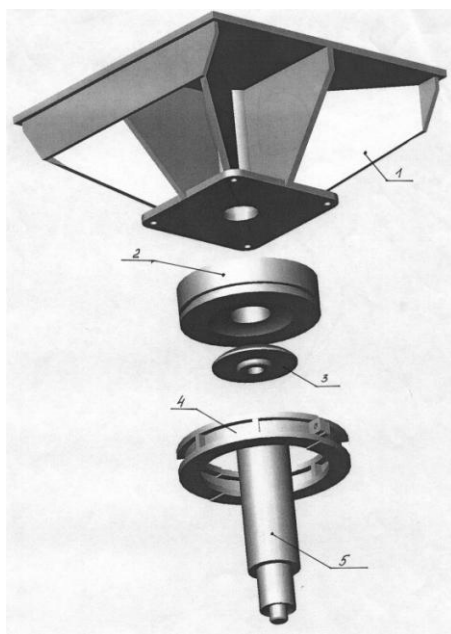


Рис 1. Конструкция узла соединения опоры портала с тележкой (1 – башмак; 2 – стакан; 3 – полусфера; 4 – полуобоймы; 5 – шкворень).

Экспериментальный метод определения напряжений используется при полном или частичном отсутствии конструкторской документации, препятствующей проведению расчетов по (РД 10-112-3-976, Методические указания), и базируется на средствах натурной тензометрии. Силы, моменты и напряжения в поперечных сечениях элементов определяют с применением тензорезисторов, расположенных на наиболее удаленных от оси элемента волокнах, где деформация, вызываемая рассматриваемым изгибающим моментом, имеет наибольшее значение. Оценку местоположения тензорезисторов на поверхности деталей выполняют с помощью пакетов прикладных программ, реализующих метод конечных элементов.

2. Определение остаточного ресурса по «лимитирующим» элементам

Остаточный ресурс машины определяется по лимитирующим узлам, выявленным на этапе обследования металлоконструкции. Результаты тензометрических исследований, полученных в ходе нагружения

контролируемых узлов полным технологическим циклом работы машины (подъем груза, перемещение, опускание) используются для определения остаточного ресурса с учетом наличия существующих (неустраненных) повреждений (трещин, или любых иных концентраторов напряжений).

Фактическое напряжение в зоне концентрации у дна трещины $\sigma_{\max}$ значительно больше равномерно распределенного по сечению σ_u . Отношение $\sigma_{\max}/\sigma_u$ характеризует степень концентрации напряжений (теоретический коэффициент напряжений « α_σ »).

Сопротивление усталости деталей зависит еще и от скорости убывания напряжений по мере углубления внутрь металла. Эта скорость может быть охарактеризована тангенсом угла наклона касательной к эпюре распределения напряжений у поверхности, который равен производной $d\sigma/dx$, где x – расстояние от поверхности до некоторой точки поперечного сечения, взятое по радиусу – G (кгс/мм²/мм) – градиент напряжений.

Величина увеличивается с ростом $\sigma_{\max}$, а также с уменьшением радиуса закругления в зоне концентрации, диаметра d или ширины пластинки b . В расчетах используется относительный градиент $\bar{G}$ (1/мм) первого главного напряжения (вдоль оси бруса)

$$\bar{G} = \frac{G}{\sigma_{\max}}. \quad (1)$$

Значения α_σ и $\bar{G}$ для ряда деталей с концентрацией напряжений определяются с помощью теоретических решений Нейбера (Брауде В.И. и др., 1986).

Фактическое снижение пределов выносливости вследствие влияния концентрации напряжений оценивается эффективными коэффициентами концентрации K_σ , под которым понимается отношение предела выносливости образцов без концентрации σ_{-1k} , имеющих такие же абсолютные размеры сечений,

$$K_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1k}}. \quad (2)$$

Влияние концентрации напряжений, размеров и формы поперечного сечения, вида нагружения на величину предела выносливости описывается статистической теорией подобия усталостного разрушения.

$$\frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma}} = \frac{\alpha_{\sigma}}{F(\varepsilon_{\infty}, \frac{L}{G}, \nu_{\sigma})} \quad (3)$$

где, ε_{∞} - предельное значение, к которому стремиться ε_{σ} при $d \rightarrow \infty$ (снижение пределов выносливости с ростом абсолютных размеров образца);

L – периметр сечения рабочего детали, прилегающая к зоне повышенной напряженности для детали с канавками и галтелями (Брауде В.И. и др., 1986).

Постоянная ν_{σ} материала, характеризующая чувствительность материала к концентрации напряжений и размерам сечений (Брауде В.И. и др., 1986).

Предел выносливости натурной детали определяется по формуле

$$\sigma_{-1Д} = \frac{\sigma_{-1}}{a_{\sigma}} F\left(\varepsilon_{\infty}, \frac{L}{G}, \nu_{\sigma}\right) \quad (4)$$

где, $\varepsilon_{\infty} = 0.5$ коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения;

$F\left(\varepsilon_{\infty}, \frac{L}{G}, \nu_{\sigma}\right)$ – значение функции определяемое по графику (Брауде В.И. и др., 1986).

Зная ресурс элемента, выраженный числом блоков нагружения, можно определить предельный ресурс (до изъятия из эксплуатации) элемента $T_{ост}$, выраженный в годах

$$T_{ост} = \frac{\left(\frac{\lambda - l_{\sigma}}{C_p * \sum N_{\sigma}}\right)}{C_{po}}, \quad (5)$$

где: λ – наработка элемента до отказа (разрушения), циклов;

l_{σ} – наработка элемента за срок службы крана, циклов;

C_p – количество дней работы крана в году по справке о работе;

C_{po} – предполагаемое количество дней работы крана в году после оценки остаточного ресурса;

$\sum N_{\sigma}$ – суммарное число циклов повторения амплитуд всех уровней в блоке нагружения.

3. Заключение

Методика реализована в виде временных методических указаний по оценке остаточного ресурса башенных кранов марки БК-1000 ВМУ-

ОРБК.1000-7812009592-2003 (утверждена в ПГУПС МПС РФ от 05.08.2003г.) и программного обеспечения EXEL с табличным интерфейсом ввода-вывода информации.

4. Литература

Федеральный закон № 116-ФЗ от 20.06.1997 г. “О промышленной безопасности опасных производственных объектов”.

РД 10-112-З-976. “Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 3. Башенные, стреловые несамостоятельные и мачтовые краны, краны-лесопогрузчики.”

РД 22-166-86. “Краны башенные строительные. Нормы расчета”.

Брауде В.И., Семенов Л.И. Надежность подъемно-транспортных машин. Л.: Машиностроение, 1986. – 182 с.

Мосты и тоннели

УДК 624. 21

**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ОПОР МОСТОВ СКОРОСТНЫХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ**

В.Н. Смирнов

Аннотация

При устройстве на мостах с ездой на балласте бесстыкового пути в рельсах, опорах и других элементах мостового сооружения возникают дополнительные усилия, не учитываемые нормами. В статье излагается методика расчета этих усилий.

Ключевые слова: мост, опора, бесстыковой путь, скоростная магистраль

Введение

На скоростных железнодорожных магистралях устраивается бесстыковой путь. Работа моста при бесстыковом пути (на поперечинах и на балластном мостовом полотне) существенно отличается от работы искусственного сооружения в случае обычного звеньевого мостового полотна. Это объясняется тем, что мост объединяется бесстыковым рельсовым путем в единую систему «мост – бесстыковой путь» (МБП), в которой все элементы взаимосвязаны и их работа требует отдельного анализа.

1.Определение напряженно-деформированного состояния элементов системы МБП

Задача продольного взаимодействия моста и бесстыкового пути решается в предположении, что в пределах мостового сооружения силы взаимодействия рельсов и пролетных строений с ездой на балластном или безбалластном мостовом полотне определяется относительными смещениями подошвы рельса и подрельсового основания.

Указанные смещения обусловлены температурными деформациями пролетного строения и деформациями моста от действия временной поездной нагрузки.

Решение задачи по определению напряженно-деформированного состояния элементов системы осуществляется численным методом.

Расчетом определяются:

- относительные смещения рельсов и подрельсового основания на мосту и подходах;
- продольные усилия в сечениях рельсов бесстыкового пути;
- горизонтальные реакции опор моста;
- усилия в элементах пролетных строений.

Расчетная схема представляет собой стержневую модель с элементами двух типов: обычные упругие стержневые конечные элементы (КЭ), моделирующие рельсы, пролетные строения, опоры, и КЭ в виде квазистержней, моделирующих связи между рельсами и подрельсовым основанием. Принято, что квазистержни характеризуются нелинейным характером работы, описываемым диаграммой Прандтля с тангенсом угла наклона начального участка которой k_s (кН/м²) и предельным значением сдвигающей погонной силы, приходящейся на единицу длины r_s (кН/м). Принимается также, что при сжатии в вертикальном направлении балласт деформируется упруго с погонным сопротивлением сжатию k_d на единицу длины сооружения.

Система имеет конечное число степеней свободы. Каждый узел расчетной схемы имеет в общем случае три степени свободы. Для протяженных сооружений для сокращения затрат машинного времени может быть использована одномерная расчетная схема. В этом случае число степеней свободы сокращается до одной в узле и объем матрицы разрешающих уравнений уменьшается в 9 раз.

Поскольку в расчетную схему включен ряд нелинейных элементов, то математическая модель, соответствующая расчетной схеме, выражается в виде совокупности нелинейных алгебраических уравнений, решение которых может быть получено, например, методом Ньютона, эффективным при решении задач с сильно выраженной нелинейностью.

Решается система уравнений метода конечных элементов относительно перемещений Δ_i

$$R\Delta = p, \quad (1)$$

где Δ – столбец искомых перемещений;

p – столбец заданной нагрузки;

R – матрица жесткостей.

Каждый элемент матрицы жесткостей представляет собой единичную реакцию, зависящую от напряженно-деформированного состояния системы.

Квазистержни, моделирующие работу балластного слоя на сдвиг, имеют характеристики

$$r(\Delta) = K_s \Delta \text{ при } \Delta \leq r_s / K_s \text{ и } r(\Delta) = r_s \text{sign} \Delta \text{ при } \Delta > r_s / K_s,$$

где $K_s = k_s b$ (b – полусумма расстояний между данным узлом и двумя соседними);

Δ – разница смещений концевых сечений смежных квазистержней;

r_s – предельное значение погонной сдвигающей силы в узле.

Решение системы уравнений (1) выполняется методом последовательных приближений. Итерационный процесс заканчивается, когда разность результатов расчета на данном и предыдущем этапах не будет превышать заданной величины точности.

2. Работа опоры в составе системы МБП

Найденные в соответствии с приведенной выше методикой продольные усилия в рельсах бесстыкового пути на мосту и подходах не должны превышать предельно допустимых, полученных из условия прочности рельсов в зимний период и устойчивости бесстыкового пути в летних условиях.

Бесстыковой путь, объединяя сооружение в единую систему, вносит существенные коррективы в работу ее элементов, в частности опор, что не учитывается действующими нормами на проектирование мостов (СниП 2.05.03-84*).

Величины горизонтальных опорных реакций R_0 можно определить по выражению

$$R_{0,i} = \gamma_{f,T} (N_{P,i} - N_{P,i+1}) \eta + \gamma_{f,\tau} (1 + \mu) \tau^n L_i \eta, \quad (2)$$

где $\gamma_{f,\delta}, \gamma_{f,\tau}$ – коэффициент надежности соответственно по температурной и тормозной нагрузке;

$N_{P,i}, N_{P,i+1}$ – продольные усилия в рельсах бесстыкового пути соответственно над опорами i и $i+1$ пролета « $i - i+1$ »;

L_i – длина i – го пролета;

τ^n – нормативная погонная поездная нагрузка от торможения или силы тяги подвижного состава;

η – коэффициент сочетания временных нагрузок, соответствующий сочетанию, принятому при определении продольных усилий в рельсах бесстыкового пути;

$1 + \mu$ – динамический коэффициент.

Как показывают расчеты, горизонтальные нагрузки на опоры моста с бесстыковым путем существенно зависят не только от величины тормозных сил, что характерно для мостов со звеньевым путем, но и от таких факторов, как воздействие температуры, местоположение опоры в составе сооружения, длина моста, характер связей между рельсовым путем и подрельсовым основанием.

3. Заключение

При проектировании опор мостов на скоростных железнодорожных магистралях необходим учет взаимодействия элементов системы «мост – бесстыковой путь».

4. Литература

СНиП 2-05-03-84* Мосты и трубы / Минстрой России: – М.:ГП ЦПП, 1996. – 214 с.

УДК 624.25.8+624.25.10

РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ НА ДОРОГАХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

В.Н. Смирнов, О.В. Гарамов

Аннотация

Основные положения методики учета технического состояния искусственных сооружений на автодорогах не удовлетворяет специалистов-мостовиков. Приведены предложения, которые сокращают трудозатраты на обследование мостов и обуславливают информационное обеспечение при мониторинге искусственных сооружений на автодорогах общего пользования.

Ключевые слова: мониторинг мостов; система учета; паспорт на мост; книга искусственного сооружения; учетная карточка; отчет; техническая документация.

Введение

Мониторинг мостов, понимаемый как система наблюдений за искусственными сооружениями с оценкой их состояния и прогнозом функционирования, предполагает высокую степень информационной обеспеченности служб эксплуатации мостового парка. Мониторинг, позволяющий эксплуатационникам иметь полную, достоверную и свежую информацию о состоянии мостов, дает возможность осуществлять эффективный менеджмент в области эксплуатации мостового хозяйства.

Фактически существующая в регионах система учета технического состояния искусственных сооружений на автодорогах как источник информации не удовлетворяет специалистов-мостовиков всех уровней.

Как известно, по каждому объекту предполагается наличие довольно большого источников информации, среди которых:

- паспорт на мост;
- книга искусственного сооружения;
- учетная карточка;
- отчеты по результатам обследований моста;
- исполнительная техническая документация по мосту.

К сожалению, эта документация часто имеется в разрозненном виде, ее хранение, анализ и учет ведется неудовлетворительно. По сути, отсутствует единая комплексная система с обратными связями между отдельными структурами эксплуатационных служб, призванная обеспечить полноту, достоверность и периодическое обновление информации о состоянии объекта.

1. Постановка задачи

В 80-х годах прошлого века была создана информационно-поисковая система «Мост», имеющая целью формирование автоматизированного банка данных по мостовым сооружениям России. Система имела несомненные достоинства, но ее недостатки (недостаточная полнота и обновляемость информации, отсутствие возможности дистанционной обработки данных, недостаточная квалификация работников на местах) не способствовали ее успешному внедрению.

В 1991 году Федеральным дорожным департаментом Минтранса России были утверждены методика проведения диагностики мостов (как основной составляющей мониторинга) и форма паспорта на искусственное сооружение.

Паспорт на сооружение содержит информацию о мосте для занесения ее в банк данных ПЭВМ по мостам. Он включает 6 типов форм, описывающих параметры сооружения и дающих информацию о его техническом состоянии. В зависимости от неисправностей моста техническое состояние сооружения оценивается по трехбалльной системе. На основании формы 6 «Состояние сооружения» устанавливается возможность эксплуатации моста при действующих нагрузках, делается заключение о необходимости установки определенных дорожных знаков (ограничение массы транспортных единиц, нагрузка на ось, расстояние между автомобилями, скорость движения и др.). Содержание паспорта определено «Инструкцией по диагностике мостовых сооружений на автомобильных дорогах» (Инструкция по диагностике, 1996). Периодичность составления (уточнения) паспорта принята не реже, чем 1 раз в 10 лет (Требования, 1996), т.е. при нормальной эксплуатации моста требуется 5 – 6 раз составлять (уточнять) паспорт сооружения. Составление паспорта при обычно имеющем место недостатке информации о мосте – задача достаточно трудоемкая, потому представляется целесообразным для уменьшения трудовых и денежных

затрат на обследование внесение предложений по порядку составления паспорта.

А. Формы 1 – 4 паспорта заполняются при приемке моста в эксплуатацию проектной организацией, поскольку они содержат в основном данные проекта. В это же время формы 5 – 6 заполняются организацией, проводящей обследование.

Б. При проводимых в дальнейшем (например, через 10,20 и более лет) диагностических обследованиях моста (задача каждого из которых - выявление состояния моста с оценкой его грузоподъемности, разработкой рекомендаций по эксплуатации и ремонту), информация в формы 1 – 4 паспорта вносится в столбец, соответствующий году обследования (для чего таблица формы должна иметь указанные столбцы). Предыдущая информация должна быть сохранена, поскольку представляет исторический и технический интерес. Обследующая организация, сэкономив время и средства на поиск необходимых для отчета материалов, заполняет форму 5 («Ведомость дефектов») и форму 6 («Состояние сооружения»), а также составляет пояснительную записку по данному обследованию с обоснованием оценки состояния сооружения.

Предлагаемый порядок существенно сокращает трудозатраты обследователей, давая возможность выполнить больший объем работ за одинаковое время.

2. Процедуры решения задачи

Процедуры решения задачи могут быть следующие.

1. По картотеке Регионального Информационного Центра при отделе мостов Дорожного Комитета региона (РИЦ) (Смирнов В.Н. и др.) устанавливаются объекты, подлежащие обследованию в соответствии с установленной периодичностью (для обычных объектов раз в 10 лет) при учете фактического состояния, выявленного при текущих и периодических осмотрах мостов.
2. Отдел мостов заключает договор с обследовательской организацией на обследование моста (или мостов маршрута) с составлением (уточнением) паспорта (паспортов).
3. РИЦ выдает обследователям в качестве исходной информации сведения о подлежащем обследованию мосте в виде паспорта сооружения в электронном виде (где содержатся данные предыдущих обследований). Имеющиеся паспорта на бумажных носителях подлежат оцифровке (приведению к электронному виду).
4. Обследовательская организация выполняет диагностическое обследование объекта, уточняя (при необходимости) формы 1 – 4 с занесением данных в соответствующий году обследования столбец. Заполняются формы 5 и 6 и готовится пояснительная записка с

определением грузоподъемности сооружения и рекомендациями по устранению дефектов и дальнейшей эксплуатации.

5. Результаты работы обследователей передаются в электронном и бумажном виде в отдел мостов, который передает материалы в РИЦ, где они архивируются в банке данных и выдаются по запросам заинтересованных организаций.

Учетная карточка на мост составляется на основании паспорта силами ДРСУ и хранится в картотеке организации.

Книга искусственного сооружения заполняется и хранится в ДРСУ, где в нее вносятся записи о результатах текущих и периодических осмотров. Там же хранятся акты с результатами комиссионных проверок вышестоящими организациями.

3. Заключение

Приведенные предложения сокращают трудозатраты на обследования мостов и обуславливают информационное обеспечение при мониторинге искусственных сооружений на автодорогах общего пользования.

4. Литература

Инструкция по диагностике мостовых сооружений на автомобильных дорогах. М.: Транспорт, 1996.

Требования к техническому отчету по обследованию и испытаниям мостового сооружения на автодороге. Минтранс РФ, М.:1996, 8с.

Смирнов В.Н., Гарамов О.В. К вопросу о совершенствовании мониторинга автодорожных мостов на региональном уровне

УДК 693:691

УСКОРЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ В ХРУПКИХ МАТЕРИАЛАХ

П.Г. Комохов, Ю.А. Беленцов

Аннотация

Приведены критерии оценки кинетики развития трещин в хрупких материалах, в т.ч. кирпичной кладке. Рассмотрен метод оценки развития трещин и влияние структуры материалов на их трещиностойкость.

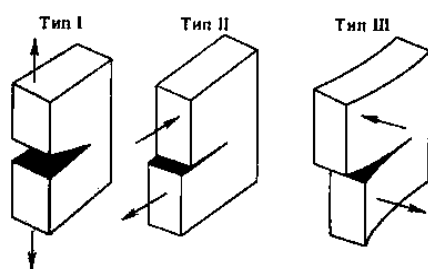


Рис 1. Типы трещин:

- а) трещина отрыва;
- б) трещина среза или сдвига;
- г) трещина скручивания

Ключевые слова: трещиностойкость, трещины, кирпичная кладка, кластеризация трещин

Введение

Современное развитие строительной науки позволило создать высокопрочные

и эффективные материалы. При этом возникает естественное желание избежать хрупкого и внезапного разрушения, для чего нужно использовать расчеты с учетом протяженных зон пластических

деформаций и развивающихся трещин. При этом определяющим будет реальная структура материалов, в которой присутствуют внутренние дефекты: дислокации, микротрещины, поры и пустоты и т.д. (Комохов П.Г. и др., 1992). Для решения встающего перед инженерами и конструкторами задач обеспечения надежности, долговечности и трещиностойкости накоплен большой объем теоретических и экспериментальных исследований (Плювинаж Г., 1993). Но практическое их применение затруднено в силу сложности процессов, протекающих в конструкциях и материалах при воздействии статического и знакопеременного нагружения или внешних эксплуатационных факторов (химической и биологической агрессии, многоциклового замораживания и оттаивания), а так же громоздкости математического аппарата, необходимого для расчетов. Поэтому необходимо разрабатывать упрощенные и приближенные методы оценки динамики развития трещин в материалах, особенно актуально это для бетона и кирпичной кладки, в некоторых случаях подверженных внезапному разрушению.

1. Метод оценки трещинообразования

По мере накопления и развития внутренних микродефектов и микротрещин они объединяются, образуя магистральные трещины в опасных сечениях под действием растягивающих, сдвигающих или скручивающих напряжений. Это обуславливает развитие трех основных видов трещин, как установил Брок (Брок Д., 1980) (см. рис.1).

Для строительных конструкций наиболее часто встречаются и соответственно наиболее опасны трещины отрыва. Исходя из учета фактора постепенного перехода между состояниями упругого и пластического деформирования, приводящих к разрушению, можно предложить два принципиальных подхода. Первый, глобальный, который не рассматривает подробно процесс разрушения; второй опирается на

процессы, происходящие при разрушении материалов, с учетом его структуры и геометрических размеров, наличия внутренних дефектов, вида нагрузки и т.д. К настоящему моменту разработано большое количество различных критериев механики разрушения с использованием напряжений и деформаций, энергетических и геометрических критериев характеризующих степень опасности трещин.

Уточнение методов расчета привело к возможности учета таких факторов, как эксплуатационные нагрузки, которые достаточно велики, что бы породить трещины и заставить их развиваться. Поэтому проектировщик должен предусматривать возможность разрушения и возможно точно предсказать скорость развития трещин и остаточную прочность конструкций. Существенным недостатком теоретических и экспериментальных исследований в оценке трещиностойкости материалов является степень абстрагирования абстрагирование от фактической структуры материалов без учета внутренних дефектов, что приводит к решению задачи развития трещин только в конструктивно ослабленном сечении образца, например выточкой или искусственной трещиной, как это принято при определении коэффициента интенсивности напряжений.

Это количественно характеризует картину разрушения, но недостаточно полно отражает качественную сторону. Необходимо учитывать, что до момента образования магистральных трещин зарождение и развитие трещин идет по всему объему образца не важно, каким образом трещина зарождается, поскольку в любом материале, присутствуют неоднородности структуры, а они могут являться местами зарождения трещин. Возможно, что не только ослабление структуры (микротрещины, дислокации, поры и пустоты), но и более плотные и прочные включения, которые будут концентраторами напряжений и источником зарождения трещин (такие как, зерна прочного заполнителя в матричной структуре материала, элементы кристаллического сростка цементного камня и т.д.). Подобный механизм формирования неоднородности структуры будет существенно влиять на трещиностойкость материала и динамику развития трещин в конструкциях из этих материалов. Их кинетика развития и места расположения в структуре малопредсказуемы и хаотичны. Они влияют на напряженно-деформируемое состояние при сжатии и растяжении, изгибе, срезе, скручивании. Опасные зоны могут быть протяженны и очень трудно предсказать место образования трещин. Исходя из вышесказанного, необходимо рассматривать механизм трещинообразования не в плоском случае перпендикулярном направлении основным напряжениям а при объемном процессе разрушения. И только после развития и объединения микротрещин трещин, кластеризацию и их переход в магистральную трещину и достижение критических параметров происходит лавинообразное развитие, что ведет к разрушению материалов и

конструкций, в соответствии с работами Куксенко В.С., о чем свидетельствует фотография стадий развития трещин в цементном камне (рис 2).



Рис 2. Кластеризация трещин в материале цементного камня

Для упрощенной оценки скорости развития и увеличения в размерах развивающихся трещин можно предположить следующее представив, что влияние трещины проявляется не через коэффициент интенсивности напряжений при вершине трещины, а через равномерное увеличение напряжений по всей оставшейся площади с учетом изменения геометрических размеров. С одной стороны это заставляет отойти от реальной картины развития трещины, с другой – существенно формализует расчетную модель по сравнению с расчетными моделями, используемыми в существующих теориях механики разрушения.

Рассмотрим процесс образования и развития трещин в материале при растяжении образца и продвижении трещины на заданную величина равную $2a$, а затем на величину $2\Delta a$, как представлено на рис. 3.

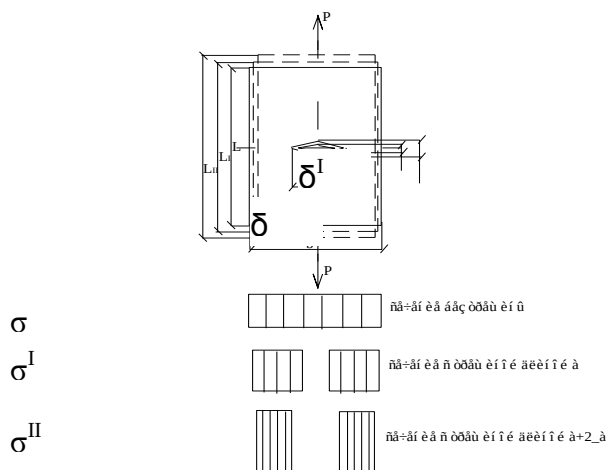


Рис. 3. Расчетная модель для оценки трещиностойкости

Необходимо учитывать, что если мы не видим трещину или не можем обнаружить ее инструментальными методами, это не значит, что трещины в образце отсутствуют. Для оценки динамики трещинообразования при растяжении и сжатии материалов можно использовать величину изменения модуля деформаций под воздействием различных факторов, в т.ч. при приложении механической нагрузки. Процесс изменения модуля деформаций можно связать с изменениями структуры и накоплением внутренних дефектов, их развитием и объединением и переходом в магистральные трещины разрушения. Косвенно это подтверждается

изменением скорости прохождения ультразвука или акустической эмиссии, при изменении модуля деформаций, а значит нарушения сплошности материалов (Гансен Т., 1960) Значит, оценив изменение модуля деформаций можно предсказать длину и ширину раскрытия трещин:

$$a = h(1 - \frac{E^i}{E}) \quad (1)$$

с учетом изменения поперечных размеров, оценив коэффициент поперечных деформаций.

$$a = h \left[(1 - \varepsilon_{\text{прод}} \mu) - \frac{E^i}{E(1 - \varepsilon_{\text{прод}} \mu)} \right] \quad (2)$$

Что же касается поперечных деформаций, их изменит величину трещинообразования не более 10%, поэтому возможно пренебречь их значениями в расчетах.

Для того, чтобы определить, будет ли продвигаться трещина или остановится необходимо найти граничное условие, когда внешняя энергия подведенная к материалу конструкции, будет равна сумме упругой энергии тела с трещиной и энергии, затраченной на формирование трещин длиной «а», как в хрупком теле по Гриффитсу. В этом случае внешняя энергия равна приложенной к конструкции силе на полную ее деформацию с учетом образующихся трещин. Становится понятным затухание или продвижение трещин, не исключая ее лавинообразное продвижение. Возможно установить показатель ширины раскрытия трещин по формуле (3), что позволит перейти к оценке надежности конструкций и материалов с учетом развивающихся трещин (рис 4)

$$\delta = \frac{\sigma l}{E_0} \left[\frac{ha}{h-2a} \left(1 + \frac{a}{h-2a} \right) \right] \quad (3)$$

При сжатии хрупких материалов трещина будет образовываться и развиваться в направлении растягивающих поперечных напряжений. Это обуславливает характер разрушения бетона и кирпичной кладки, разделяющейся вертикальными трещинами на отдельные столбы высоких призматических образцах и в отсутствии трения по опорным граням при их сжатии и встречающихся усеченных пирамид при образцах кубиках с трением по опорным граням. Подход, описанный выше, позволяет оценить трещинообразование при сжатии образцов, рассмотрев влияние поперечных растягивающих напряжений. Вид разрушающегося кирпичного образца при сжатии представлена на рис. 4.

Для подтверждения высказанной теории была проведена экспериментальная проверка предложенной методики при оценке кинетики развития трещин при механическом нагружении.

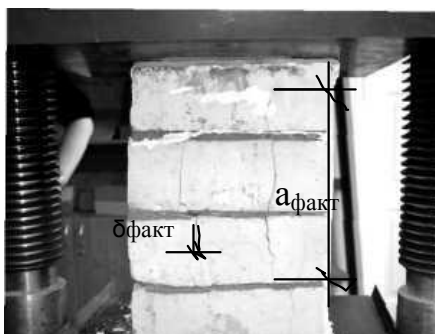


Рис. 4. Фрагмент развития трещин и разрушения кирпичного образца

Образцы изготавливались из силикатного кирпича марки 125 на цементно-песчаном растворе марки 125. Состав раствора Ц:П = 1:3, В/Ц = 0,7. Предел прочности образца составила $58,6 \text{ кгс/см}^2$. Модуль деформаций в начальный момент нагружения был $E_0 = 15000 \text{ кгс/см}^2$. При расчетных напряжениях 24 кгс/см^2 значение составит $E_p = 8680 \text{ кгс/см}^2$, при напряжениях, близких к разрушающим значение $E = 5900 \text{ кгс/см}^2$.

Расчетная длина трещин образца при напряжениях, близких к разрушающим $a_{\text{расч}}$ составит, $a_{\text{расч}} = h(1 - \frac{E^i}{E}) = 0,57h$.

По фотографии на рис 4. мы можем установить, что фактическая длина трещин будет $a_{\text{факт}} = 0,69h$.

Отклонение составит 17 %, что можно объяснить неточностью измерения деформаций. Правоммерно сделать вывод, что для кирпичной кладки с учетом ее дефектности предложенная методика дает нормальные практические результаты.

Ширина раскрытия трещины составит $\delta_{\text{расч}}$,

$$\delta_{\text{расч}} = \frac{\sigma}{E_0} \left[\frac{ha}{h-2a} \left(1 + \frac{a}{h-2a} \right) \right] = 0,329 \text{ см.}$$

Фактическая величина раскрытия трещины по фото графии на рис 5 составит 0,25см. Отклонение составит 24 % от расчетной.

3. Заключение

Таким образом, предложенный метод оценки развития трещин в материале позволяет внести ясность в оценку картины трещинообразования в хрупких материалах, в т.ч. и для кирпичной кладки. Положительным моментом данного подхода является отсутствие необходимости формировать искусственно зону разрушения (поскольку это не соответствует действительности), а есть возможность использовать усредненную интегральную характеристику трещиностойкости.

4. Литература

- Комохов П.Г., Грызлов В.С. Структурная механика и теплофизика легкого бетона. – Вологда.: Вологодский научный центр, 1992.
- Плювинаж Г. Механики упруго-пластического разрушения. – М.: Мир, 1993.
- Броек Д. Основы механики разрушения. – М.: ВШ, 1980.
- Гансен Т. Ползучесть и релаксация напряжений в бетоне. – М.: Госстройиздат, 1960.

УДК 624.04

УЧЕТ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОНА И КОРРОЗИИ АРМАТУРЫ ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ

С.В. Елизаров, А.В. Бенин

Аннотация

Рассматривается вариант конечноэлементной модели железобетона как системы, для составных частей которой физические условия записываются независимо и в дополнения к ним вводятся условия взаимодействия частей системы на их контакте. Принципиальной особенностью данной КЭ-модели является использование нелинейной связи между напряжениями и деформациями в железобетоне с учетом особенностей его работы после образования трещин. Функциональная зависимость, описывающая эту связь, изменяется, например, по мере развития коррозии арматуры. Именно коррозия арматуры является основной причиной происходящего во времени ухудшения качества железобетонных конструкций. Особую остроту эта проблема приобретает для сооружений, находящихся в сейсмически опасных районах.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; коррозия арматуры; ползучесть; сейсмостойкость

Введение

В настоящее время проблема создания и исследования механических моделей железобетона, адекватно отражающих такие характерные свойства материала, как нелинейность, трещинообразование, неоднородность, приобретенная анизотропия, ползучесть и термоползучесть, усадка, сцепление арматуры с бетоном, несомненно является актуальной. Но нередко при численной реализации тех или иных механических моделей железобетона, железобетон рассматривается как единый (хотя и двухкомпонентный) материал. В рамках такого подхода в физические соотношения для материала включаются одновременно свойства обеих компонент – арматуры и бетона. Естественно, что при этом свойства арматуры осредняются по объему материала («размазываются»), а фактическая дискретность расположения арматуры игнорируется. Альтернативный подход заключается в рассмотрении железобетона как системы, для составных частей которой физические условия записываются независимо и в дополнения к ним вводятся условия взаимодействия частей системы на их контакте. В этом случае удастся учесть все особенности конкретного армирования, проследить историю нагружения и разрушения каждого из арматурных стержней. Именно такой вариант конечноэлементной модели обсуждается ниже.

1. Варианты описания сил сцепления

Экспериментальные и теоретические исследования сил сцепления между арматурой и бетоном проводились начиная с 20-х годов прошлого столетия. Предлагались различные варианты зависимости касательных напряжений сцепления от величины проскальзывания арматуры относительно бетона: линейный закон, степенной закон, закон идеальных упругопластических деформаций. По результатам большой серии опытов М. М. Холмянским (Холмянский М.М., 1981) был предложен так называемый «нормальный закон»:

$$\tau = B \cdot \ln \left(\frac{1}{1 + \alpha \cdot s} \right) \left(\frac{1}{1 + \alpha \cdot s} \right),$$

где τ – касательное напряжение сцепления; s – смещение арматуры относительно бетона; B, α – параметры закона сцепления.

Максимального значения касательное напряжение достигает при величине смещения $s = (e - 1)/\alpha$; при этом само напряжение равно $\tau_{\max} = B/e$. Параметры B, α зависят от величины кубиковой прочности бетона, от типа и диаметра арматуры.

Аналогичные исследования выполнялись и зарубежными учеными. Результаты этих исследований нашли отражение в действующих нормах расчета и проектирования, таких как DIN 1045-1, Eurocode 2, CEB-FIP Model Code 90. В частности, в Model Code 90 для тяжелых бетонов сцепление определяется следующими аналитическими выражениями:

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{\max} \left(\frac{s}{s_1} \right)^{\alpha}, & \text{при } 0 \leq s < s_1; \\ \tau &= \tau_{\max}, & \text{при } s_1 \leq s < s_2; \\ \tau &= \tau_{\max} + \left(\tau_f - \tau_{\max} \right) \left(\frac{s - s_2}{s_1 - s_2} \right), & \text{при } s_2 \leq s < s_3; \\ \tau &= \tau_f, & \text{при } s \geq s_3. \end{aligned}$$

Сравнивая два указанных закона сцепления, можно отметить, что «нормальный закон» М. М. Холмянского имеет определенные отличия, а именно «нормальный закон» определяется единым математическим выражением во всем диапазоне изменения взаимных смещений бетона и арматуры; этот закон учитывает влияние диаметра арматуры на величину сил сцепления; в соответствии с «нормальным законом» силы сцепления стремятся к нулю при неограниченном росте смещений, что больше соответствует физическому смыслу задачи.

2. Учет коррозии арматуры

Коррозия арматуры является основной причиной происходящего во времени ухудшения качества железобетонных конструкций. Поэтому

является актуальной проблема своевременного выявления необходимости проведения ремонта или усиления таких сооружений. Особую остроту эта проблема приобретает для сооружений, находящихся в сейсмически опасных районах, так как коррозия арматуры приводит к изменению жесткостных характеристик конструкции, а это может увеличить сейсмические силы инерции при одновременном понижении несущей способности отдельных элементов или повысить деформативность конструкции до недопустимо высоких значений.

Принципиальная особенность рассматриваемой задачи состоит в необходимости использования нелинейной связи между напряжениями и деформациями в железобетоне с учетом особенностей его работы после образования трещин. Естественно, что функциональная зависимость, описывающая эту связь, изменяется по мере развития коррозии арматуры.

Влияние коррозии приводит к снижению максимальных напряжений сцепления. При этом графики $\tau - s$ получаются из графиков, построенных без учета коррозии, либо путем пропорционального уменьшения абсцисс и ординат (Torlen A., Horrignoe G., 1998), либо при помощи параллельного сдвига (в сторону начала координат) ниспадающей ветви графика (Castellani A., Coronelli D., 1999).

Численные параметры, характеризующие графики сил сцепления, связаны, в первую очередь, с глубиной проникновения коррозии в тело стержня $x(t)$, мм, которая может быть подсчитана путем умножения скорости коррозии на время эксплуатации сооружения. Фактический (остаточный) диаметр арматурного стержня d_R , который должен быть учтен при выполнении расчетов, равен $d_R = d_0 - \alpha x(t)$, где d_0 – начальный (номинальный) диаметр. Коэффициент α может быть принят равным 2 при коррозии, равномерной по периметру поперечного сечения стержня и по его длине. В случае же точечной (питтинговой) коррозии значения коэффициента α находятся в диапазоне 4...8 (Horrignoe G., 2003).

3. Пример расчета поперечной стены крупнопанельного здания

Исследуется сейсмостойкость пятиэтажного крупнопанельного здания. В качестве конкретного объекта расчета выбрана поперечная стена шириной 12 м, представляющая по своей расчетной схеме набор пластин толщиной 16 см. Плиты перекрытий связаны с горизонтальными поверхностями стеновых панелей при помощи гибких связей, работающих преимущественно на сдвиг (два ряда стержней Ø20 А-III с шагом 0,40 м). Материал стены – бетон класса В30.

Расчетная схема включает прямоугольные конечные элементы стены, верхние и нижние связи сдвига (элементы типа пружин), а также балочные элементы, моделирующие верхнее и нижнее перекрытия. Начальное значение сдвиговой жесткости одной пружины равно 45 МН/м. При

подсчете площади и момента инерции балочных элементов учитывалось включение плит перекрытий в работу стены на условной ширине 1,0 м. Нижняя стеновая панель считалась опертой на упругое основание с коэффициентом постели 50 МН/м^3 . Начальные значения модулей упругости железобетона вдоль направлений, параллельных арматурным стержням, определяются как $E_x = E_{b0}(1 + n_0\mu_x)$ и $E_y = E_{b0}(1 + n_0\mu_y)$. В данном случае стеновая панель армирована двумя рядами стержней Ø10 А-III с шагом 0,30 м в вертикальном и горизонтальном направлениях. Соответствующие начальные значения коэффициентов армирования равны $\mu_x = \mu_y = 0,00326$.

В процессе последовательных приближений учитывается зависимость механических характеристик бетона с его напряженным состоянием, задаваемая диаграммой связи между напряжениями и деформациями. Характерные точки этой диаграммы: ее вершина с координатами (R, ϵ_R) и точка обрыва диаграммы $(\sigma_{ult}, \epsilon_{ult})$, где R – временное сопротивление бетона на сжатие или растяжение, а напряжение в конечной точке σ_{ult} может приниматься (Карпенко Н.И., 1996) равным $(0,7 \dots 0,8) \cdot R$. Модули E_x, E_y пересчитываются с учетом снижения жесткости бетона. Секундные модули бетона $E_{bx,sec}$ и $E_{by,sec}$ определяются в соответствии с диаграммой деформирования. При переходе через вершину диаграммы начинается процесс трещинообразования, и в качестве осей ортотропии следует принимать направления вдоль трещины и по нормали к ней (то есть по направлению главной растягивающей деформации ϵ_1). В этом случае для характеристики жесткости материала по направлению указанной нормали используется формула (Гениев Г.А. и др., 1947):

$$E_\phi = E_s \mu_\phi / \psi_a$$

$$\text{где } \mu_\phi = \mu_x \cos^4 \phi + \mu_y \sin^4 \phi.$$

Здесь: множитель μ_ϕ отражает степень влияния арматуры, параллельной осям x и y , на жесткость по нормали к трещине; ϕ – угол наклона нормали к оси x .

Наконец, если деформация (как растягивающая, так и сжимающая) достигает значения ϵ_{ult} , то бетон полностью выключается из работы, силы сцепления перестают действовать в пределах рассматриваемого элемента и его сопротивление определяется только арматурой, а именно $E_\phi = E_s \mu_\phi$.

Для начального периода работы здания (до начала процесса корроирования) первый период колебаний оказался равным $T_1 = 0,3298 \text{ с}$. При соответствующей этому периоду сейсмической нагрузке горизонтальное перемещение верхнего перекрытия здания составило 31,9 мм при допустимом значении, равном $1/500$ высоты здания, то есть, в данном случае, 32 мм. В результате расчетов установлено, что

сжимающие напряжения далеки от предельных значений (временное сопротивление сжатию равно 23,8 МПа), но в ригеле достигают предела растягивающие напряжения (временное сопротивление растяжению – 2,05 МПа). Поэтому в ригеле активно включается в работу арматура, напряжения в которой превышают 250 МПа.

При выполнении расчетов с учетом длительных процессов скорость коррозии принята равной 0,2 мм/год для арматуры и 0,3 мм/год для связей сдвига. Учтена и ползучесть бетона путем умножения начального модуля на коэффициент $(1 + E_{b0}C_b\xi_{дл}\xi_h)^{-1}$, здесь: C_b – предельная мера ползучести; $\xi_{дл}$, ξ_h – коэффициенты, зависящие от характера нагрузки и толщины панели.

Через 10 лет после начала развития длительных процессов диаметр арматурных стержней должен уменьшиться до 6 мм, а диаметр стержней, выполняющих роль связей сдвига, – до 14 мм. Жесткость пружин, моделирующих связи сдвига, становится равной 31,5 МН/м; уменьшаются и значения коэффициентов армирования ($\mu_x = \mu_y = 0,00118$). Первый период колебаний ослабленной конструкции увеличивается почти на 30% ($T_1 = 0,4269$ с).

Если землетрясение произойдет после 10 лет эксплуатации здания, то снижение сейсмических нагрузок приведет к более благоприятному для прочности конструкции распределению напряжений. Например, максимальное значение главных сжимающих напряжений упадет до 10 МПа, а напряжения в арматуре уменьшатся почти в 1,5 раза. В то же время снижение жесткости конструкции приводит к увеличению перемещений. В частности, перекрытие верхнего этажа смещается по горизонтали на 36 мм, что на 12,5% превышает допустимую величину.

4. Заключение

В качестве вывода можно отметить, что для успешного прогнозирования состояния конструкции необходим одновременный учет факторов, проявляющихся во времени, таких как нелинейность, ползучесть, накопление повреждений (в частности, коррозия арматуры и другие дефекты). Но при этом следует иметь в виду, что усложнение расчета, его универсализация имеют практический смысл только при использовании достоверных гипотез и надежных численных значений параметров, описывающих работу материала.

5. Литература

- Холмянский М.М. Контакт арматуры с бетоном. – М.: Стройиздат, 1981. – 184 с.
Torlen A., Horrignoe G. Modeling of bond between reinforcement and concrete for deteriorated and repaired beams (in Norwegian). NORUT Technology, Narvik, Norway, 1998, Report No. NTAS A98034.

- Castellani A., Coronelli D. Beams with corroded reinforcement: Evaluation of the effects of cross-section losses and bond deterioration by finite element analysis. Structural Faults and Repair-99, London, UK, July 1999.
- Horrigmoe G. Assessment of the performance and safety of deteriorated concrete structures. Concrete Solutions: Conference Proceedings and Papers 1st International Conference on Concrete Repair, St-Malo, France, 15 – 17 July 2003. – Published by GR Technologie Ltd, London, UK, 2003. – Vol.1. – PP. 209–223.
- Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 416 с.
- Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1947. – 316 с.

УДК 624.21.094

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ УГЛОВ ПОВОРОТА ОПОРНЫХ СЕЧЕНИЙ БАЛОЧНЫХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ОТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ И АВТОМОБИЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Г.И. Богданов, А.А. Жинкин

Аннотация

Высота современных опорных частей в отличие от классических стальных зависит от угла поворота, который они могут обеспечить. Однако этот параметр не учитывается при разработке опорных частей. В статье определены величины предельных ожидаемых углов поворота опорного сечения для балочных разрезных пролетных строений под железнодорожную, автомобильную и пешеходную нагрузки. Также приведены некоторые дополнительные зависимости для прогибов и углов поворота.

Ключевые слова: опорная часть; угол поворота опорного сечения; автодорожная нагрузка; железнодорожная нагрузка

Введение

Угол поворота опорного сечения непосредственно связан с деформациями пролетного строения. При расчете деформации ограничиваются либо непосредственно величиной максимального прогиба, либо косвенно по условию прочности. Максимальный прогиб зависит от пролета и определяется как: $v_{\max} = L/k$, где k – константа. При этом максимальный угол поворота опорного сечения не зависит от длины пролета, свойств материала и характеристик сечения, а только от схемы загрузки. При ограничении прочности угол поворота опорного сечения

напротив зависит от всех указанных параметров, что позволяет варьировать его в широких пределах. Рационально спроектированное пролетное строение одинаково отвечает условиям прочности и жесткости. Присутствие запасов прочности при максимальном прогибе означает недоиспользование прочностных свойств материала, а запасы по прогибам при исчерпании прочности является следствием нерационального распределения материала в сечении пролетного строения. В любом случае опорный поворот не может быть больше, чем определенный по условию ограничения деформаций.

Учитывая вышесказанное, определим максимальный угол поворота опорного сечения, который может быть получен по условию ограничения прогиба. Для решения этой задачи используем линии влияния угла поворота опорного сечения и максимального прогиба.

1. Линии влияния максимального прогиба и поворота опорного сечения

Следует отметить определенную трудность в построении линии влияния для максимального прогиба, поскольку место его возникновения не фиксировано по длине балки. Для этого предлагается использовать линию влияния прогиба в середине пролета. Для балки длиной L с изгибной жесткостью EJ в зависимости от относительного положения единичной силы ζ ($\zeta = x/L$) формула для прогиба в середине:

$$v_{0,5} = \frac{L^3}{12EJ} \zeta (0,75 - \zeta^2). \quad (1)$$

Для максимального прогиба:

$$v_{\max} = \frac{L^3}{9\sqrt{3}EJ} \zeta (-\zeta^2)^{3/2}. \quad (2)$$

Обе этих формулы верны для $\zeta \leq 0,5$, для больших значений следует подставлять положение силы как $1-\zeta$. Сравним между собой (1) и (2) взяв их отношение и рассмотрев его предельное значение:

$$\frac{v_{\max}}{v_{0,5}} = \frac{4}{3\sqrt{3}} \frac{(-\zeta^2)^{3/2}}{0,75 - \zeta^2} \xrightarrow{\zeta \rightarrow 0} \frac{16}{9\sqrt{3}} \approx 1,026. \quad (3)$$

Таким образом максимальная поправка составляет 2,6%, а при реальных схемах загрузки, близких к равномерной нагрузке расхождение, очевидно, будет гораздо меньше.

Таким образом, формулы для линий влияния прогиба и угла поворота опорного сечения будут следующие:

$$v(\zeta) = \frac{L^2}{6EJ} L \frac{\zeta}{2} (0,75 - \zeta^2) = \frac{L^2}{6EJ} L v^*(\zeta). \quad (4)$$

$$\varphi(\zeta) = \frac{L^2}{6EJ} \zeta (1 - \zeta) = \frac{L^2}{6EJ} \varphi^*(\zeta). \quad (5)$$

2. Максимальный угол поворота опорного сечения при статической нагрузке

В рамках предложенной задачи можно рассмотреть два случая. Первый – статический: найти такое распределение вертикальных нагрузок, которое бы обеспечивало максимальный угол поворота опорного сечения при фиксированном прогибе. И второй – транспортный: для самого невыгодного положения заданной нагрузки подобрать сечение балки по максимальному прогибу, и для полученного сечения найти такое размещение заданной нагрузки, которое бы приводило к максимальному углу поворота опорного сечения.

Рассмотрим первый случай. Пусть нагрузка на балке задана функцией $q(x)$, с учетом того, что $x = \zeta L$, можно функцию нагрузки привести к виду $q(\zeta)$. Загрузим ей линию влияния прогиба и ограничим прогиб величиной $v_{\max} = L/k$, тогда нагрузка на балку должна удовлетворять условию:

$$k \frac{L^2}{6EJ} \int_0^1 v^*(\zeta) q(\zeta) d\zeta = 1. \quad (6)$$

Рассмотрим множество функций для нагрузки, удовлетворяющих (6), обозначим его Q . Будем последовательно загружать каждой из них линию влияния угла поворота опорного сечения пытаясь достичь его максимального значения:

$$\max_{q \in Q} \frac{L^2}{6EJ} \int_0^1 \varphi^*(\zeta) q(\zeta) d\zeta. \quad (7)$$

Полученная таким образом функция q и будет решением задачи.

Выражения (6) и (7) можно объединить. Представим для этого искомую функцию в виде: $q(\zeta) = a \cdot m(\zeta)$, где a – масштабный коэффициент, значение которого следует определять из уравнения (6):

$$a = \frac{6EJ}{kL^2} \frac{1}{\int_0^1 m(\zeta) v^*(\zeta) d\zeta}. \quad (8)$$

Теперь подставим q вместе с найденным коэффициентом a в (7), что и даст одно выражение для максимизации:

$$\max_{m \in \mathbb{R}} \frac{\int_0^1 m \varphi^*(\zeta) d\zeta}{k \int_0^1 m \psi^*(\zeta) d\zeta}. \quad (9)$$

Решая (9), находим $m(\zeta)$ и подставляем в (8). После этого находим a и, перемножая, получаем искомую функцию $q(\zeta)$.

В данной статье приведена лишь постановка задачи, само решение не приводится, поскольку это достаточно трудоемко и при этом не имеет значения для транспортного строительства, где интенсивность нагрузки является достаточно фиксированной величиной, но при этом сама нагрузка может располагаться в любом месте пролетного строения. Поэтому второй случай рассмотрим более подробно.

3. Максимальный угол поворота опорного сечения при транспортной нагрузке

Введем обозначение $A = \frac{L^2}{6EJ}$, и, используя его, перепишем выражения (4) и (5):

$$v \varphi = A \cdot L \cdot v^* \varphi \quad (10)$$

$$\varphi \psi = A \cdot \varphi^* \psi. \quad (11)$$

Рассмотрим железнодорожную нагрузку. Загрузим линию влияния прогиба (10) железнодорожной нагрузкой на максимум, ограничим его величиной $\frac{L}{k}$ и найдем параметр A . Затем подставим A в выражение для линии влияния угла поворота (11) и загрузим ее железнодорожной нагрузкой на максимум. В результате получим выражение:

$$\varphi_{\max} = \frac{\int_0^1 \varphi^*(\zeta) d\zeta \cdot v \varphi, \alpha \left(1 + \frac{e_{\varphi} \varphi - 1}{100} \right)}{k \int_0^1 v^*(\zeta) d\zeta \cdot v \psi, 0,5 \left(1 + \frac{e_{\psi} \psi - 1}{100} \right)}. \quad (12)$$

где v – интенсивность эквивалентной нагрузки в зависимости от длины линии загрузки λ и положения вершины α ;

ψ – отношение площадей загружаемой линии влияния и треугольной с тем же положением и значения максимума;

e – коэффициент, зависящий от ψ и λ .

Значения этих параметров определяются в соответствии с приложением 3 СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы». Положение вершины линии влияния угла поворота опорного сечения $\alpha = 1 - \frac{\sqrt{3}}{3} \approx 0,423$. Значения интегралов равны:

$$\int_0^1 \varphi^*(\zeta) d\zeta = 1/4; \quad \int_0^1 v^*(\zeta) d\zeta = 5/64. \quad (13)$$

Было проведено исследование выражения (12) для различных пролетов, и максимальное значение было определено как:

$$\varphi_{\max} = \frac{3,2}{k} 1,022 \cdot 1,015 = \frac{3,320}{k}. \quad (14)$$

Автомобильная нагрузка АК, как известно, состоит из полос нагрузки интенсивностью q и тележки, представляющей собой пару сосредоточенных нагрузок P . Поскольку в данной статье все координаты приведены к длине балки, расстояние между осями тележки вдоль балки можно обозначить безразмерной величиной $t=1,5/L$ (пролет в метрах). С учетом сказанного можно записать выражение аналогичное (12):

$$\varphi_{\max} = \frac{\int_0^1 \varphi^*(\zeta) d\zeta \cdot q + P \cdot [\varphi^*(\alpha) + \varphi^*(\alpha + t)]}{k \int_0^1 v^*(\zeta) d\zeta + P \cdot [v^*(0,5) + v^*(0,5 + t)]}. \quad (15)$$

Из СНиП 2.05.03-84* «Мосты и трубы» известно, что $P/q = 10$ м. Используя это, получаем в (15) только один независимый параметр t . Был произведен расчет по формуле (15) для разных значений t . Полученные результаты в зависимости от длины пролета (исходя из связи между t и L) приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Зависимость угла поворота опорного сечения автодорожного пролетного строения от длины пролета

t	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Пролет, м	∞	15	7,5	5	3,75	2
Угол, рад	3,0829/k	3,1038/k	3,1643/k	3,2673/k	3,4254/k	3,6652/k

В основном пролетные строения имеют пролеты от 10 метров и выше, что позволяет ограничить угол поворота величиной равной отношению значений интегралов (13) деленного на k :

$$\varphi_{\max} = \frac{3,2}{k}. \quad (16)$$

Это же значение максимального угла поворота опорного сечения в точности может быть получено для пешеходных мостов, нагрузка для которых принимается равномерно распределенной.

3. Уточнение максимального угла опорного поворота с учетом требований норм

Максимально допустимая деформативность железнодорожных мостов соответствует параметру $k=600$. Для автодорожных мостов параметр $k=400$. Для разрезных пролетных строений деформации можно увеличить на 20%. Кроме того, следует иметь в виду, что 40% прогиба от временной нагрузки воспринимается строительным подъемом. Таким образом, окончательно можно установить предельные углы поворота, которые должны обеспечивать опорные части для разрезных пролетных строений:

$$0,6 \cdot 1,2 \cdot \frac{3,32}{600} = 0,00398 \text{ рад для железнодорожных мостов;}$$

$$0,6 \cdot 1,2 \cdot \frac{3,2}{400} = 0,00576 \text{ рад для автодорожных и пешеходных мостов.}$$

4. Заключение

Полученные значения максимального угла опорного поворота можно принять как базовые при разработке типовых конструкций опорных частей. В случае индивидуального проектирования углы могут быть уменьшены. Например, в неразрезных системах и в балках из обычного железобетона предельный угол опорного поворота опорного сечения, очевидно, будет меньше.

5. Литература

СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы. – Минстрой России/ГПЦПП, 1996.
Гроте Ю, Каушке В, Эггерт Х Опорные части в строительстве. Транспорт. 1978.

УДК 624.072.014:539.37

НЕЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ШПРЕНГЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.В. Егоров

Аннотация

Рассмотрены вопросы создания методики расчета комбинированных систем шпренгельного типа с учетом факторов геометрической и конструктивной нелинейности при комбинаторном воздействии статических и динамических нагрузок. Созданы разрешающие уравнения. Алгоритмизирована процедура расчета. Разработана программа «Impuls2D», позволяющая учитывать как широкий спектр параметров пространственно-шпренгельных конструкций, так и разнообразные статические и динамические воздействия. Приведены результаты численного анализа, показывающие отличия поведения конструктивно нелинейных систем шпренгельного типа от обычных стержневых конструкций.

Ключевые слова: пространственные предварительно напряженные шпренгельные систем; конструктивная нелинейность

Введение

На кафедре «Строительные конструкции» ПГУПСа предложены и разрабатываются легкие комбинированные системы шпренгельного типа, применяемые для покрытий и перекрытий зданий, а, также специальных сооружений, в частности, транспортных (рис.1,2). Рассматриваемые конструкции подвержены воздействию как статических – собственный вес, технологическое оборудование и т.п., так и динамических нагрузок: ветровых, аварийных, например, от обрыва несущих тросов или нагрузок

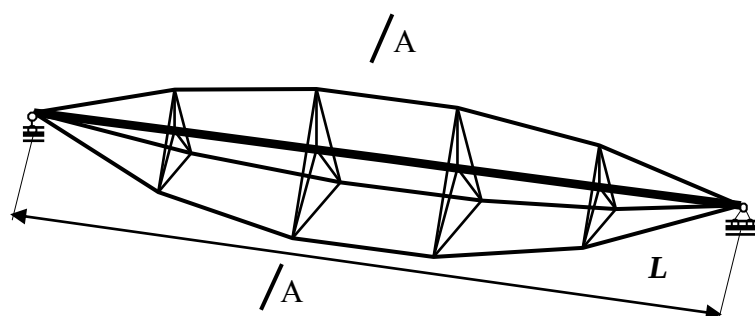


Рис.1.

промышленной сейсмики – от проходящих железнодорожных составов и т.п. Эти обстоятельства определяют необходимость динамического расчета таких конструкций.

1. Механико-математическая модель динамического расчета

Колебания рассматриваемых систем носят нелинейный характер. Факторами, обуславливающими *геометрическую нелинейность* являются:

упругий отпор предварительно напряженных затяжек, продольные и поперечные деформации.

A – A

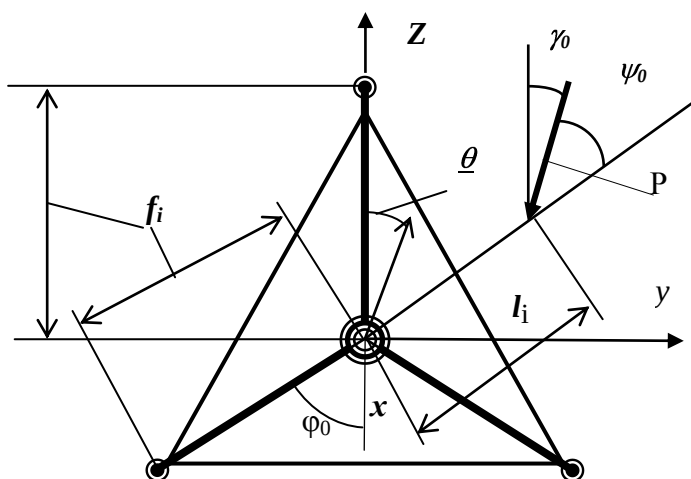


Рис.2.

Конструктивная нелинейность проявляется скачкообразно вследствие попеременного отключения гибких элементов – затяжек.

Для анализа рассматриваемых конструкций разработана механико – математическая модель изгибно-крутильных колебаний с учетом предварительного напряжения затяжек и возможностей их отключения.

Исходная задача представлена в виде системы

трех дифференциальных уравнений первого порядка по времени и четвертого порядка по координате с соответствующими граничными условиями, первые два уравнения отражают изгибные, а третьи крутильные колебания.

Уравнение пространственных колебаний балки с пространственным шпренгелем имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \sum m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \sum_{i=1}^N H_i \left\{ \frac{\partial^2 [f_i \sin \varphi_0 + \theta]}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right\} - H_{\text{он}} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \\ + EI_y \frac{\partial^4 y - y_0}{\partial x^4} + 2\xi \frac{\partial^5 y}{\partial x^4 \partial t} = \sum q_j \sin \gamma_0 + e_j e'_j \theta + F_y; \\ \sum m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + \sum_{i=1}^N H_i \left\{ \frac{\partial^2 [f_i \cos \varphi_0 + \theta]}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right\} - H_{\text{он}} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \\ + EI_z \frac{\partial^4 z - z_0}{\partial x^4} + 2\xi \frac{\partial^5 z}{\partial x^4 \partial t} = \sum q_j \cos \gamma_0 + e_j e'_j \theta + F_z; \\ \sum m r_m^2 \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - \sum_{i=1}^N H_i f_i \cdot \left(\frac{\partial^2 (f_i \cdot \theta)}{\partial x^2} - \theta \cdot \frac{\partial^2 f_i}{\partial x^2} \right) - (GI_d + r^2 H_{\text{он}}) \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \\ + EI_{\omega} \frac{\partial^4 \theta}{\partial x^4} + 2\xi \frac{\partial^5 \theta}{\partial x^4 \partial t} = \sum q_j l_j \cos \psi_0 + (-e_j) M_{\theta}. \end{aligned} \right\}$$

Здесь: $y_0(x)$, $z_0(x)$, $y(x,t)$, $z(x,t)$ – начальные и текущие координаты продольной оси балки жесткости; $\theta(t)$ – текущий угол поворота балки; φ_0 – начальный угол наклона затяжки; x – продольная координата; $m(x)$ – удельная (на единицу длины) масса балки; $f_i = f_i(x)$ – функция выноса затяжек; i – номер затяжки; N – количество затяжек; $H_i(x,t)$ – проекция усилия в i -ой затяжке на ось x ; γ_0 – угол наклона линии действия нагрузки к оси z ; l_j – длина «рычага» силы; ψ_0 – угол между линией действия нагрузки и «рычагом»; e_j – тип силы: 0 – постоянного направления, i – следящая; E , G , – модуль упругости и модуль сдвига балки жесткости; I_y , I_z , I_ω , I_d – изгибные, секториальный и крутильный моменты инерции сечения балки жесткости соответственно; r , r_m – полярные радиусы инерции поперечного сечения и массы балки жесткости соответственно.

F_y , F_z , M_θ – силы и крутящий момент, действующие на балку жесткости со стороны гасителей. Предложенный учет влияния гасителей позволяет изменять в процессе колебаний жесткость пружин и коэффициент вязкого трения (демпфирования), что дает возможность, варьируя параметрами жесткости пружины и коэффициентом вязкого трения, добиваться наибольшего эффекта гашения колебаний.

Приведенную крутильную жесткость балки жесткости, в постановке В.З. Власова предложено определять следующим образом:

$$\overline{GI_d} = GI_d - \sum_{i=1}^N \frac{1}{L} \int_0^L H_i \cdot r^2 - f_i^2(x) dx + \frac{1}{L} \int_0^L \sigma K \Phi(x) dx,$$

где второе слагаемое учитывает влияние затяжек, а третье – предварительный выгиб частей балки жесткости.

Граничные условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} y|_{x=0} = Y_{A0}; y|_{x=L} = Y_{AL}; z|_{x=0} = Z_{A0}; z|_{x=L} = Z_{AL}; \Theta|_{x=0} = \Theta|_{x=L} = 0; \\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \Big|_{x=0,L} = \left(\sum_{i=1}^N C_i \cdot \sin \varphi_0 \cdot H_i|_{x=0,L} \pm G_y \frac{\partial y - y_0}{\partial x} \Big|_{x=0,L} \right) / EI_y; \\ \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \Big|_{x=0,L} = \left(\sum_{i=1}^N C_i \cdot \cos \varphi_0 \cdot H_i|_{x=0,L} \pm G_z \frac{\partial z - z_0}{\partial x} \Big|_{x=0,L} \right) / EI_z; \\ \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} \Big|_{x=0,L} = \pm G_\theta \frac{\partial \Theta}{\partial x} \Big|_{x=0,L} / EI_\omega. \end{array} \right.$$

Где: L – пролет; G_y , G_z , – изгибные жесткости опорного контура относительно осей y и z ; G_θ – жесткость опорного контура при кручении. Усилие в i -ой затяжке определяются по следующей формуле:

$$H_i = \max \left\{ H_{0i} + \frac{E_{zi} A_{zi}}{l_i} \Delta l_i, 0 \right\}.$$

Изменение длины затяжки из-за деформации балки:

$$\Delta l_i = \Delta l_c + \Delta l_l + \Delta l_N + \Delta l_H + \Delta l_\Theta.$$

Здесь: Δl_c – изменение длины затяжки за счет наклона опорных сечений балки жесткости;

Δl_l – укорочение затяжки за счет изменения длины балки при изгибе;

Δl_N – изменение длины затяжки за счет упругого отпора стоек;

Δl_H – укорочение затяжки за счет сжатия балки затяжками;

Δl_Θ – влияние угла поворота на длину затяжки.

Метод расчета включает решение стационарной (статической) задачи и нестационарной (динамической) задач.

Стационарная задача после замены переменных и установления соответствующих граничных условий решается при помощи неявной схемы второго порядка по пространству и первого порядка по времени с итерациями по нелинейности за счет H_i методом трехдиагональной прогонки.

Усилия в затяжках H_i определяются с помощью соответствующих итерационных процедур.

Расчет нестационарной задачи. Расчет начального состояния нестационарной задачи соответствует решению статической задачи, но при действии иницирующих сил. В общее решение вносится дополнительное возмущение, определяемое заданными параметрами.

Для решения динамической задачи использовалась явная схема Рунге-Кутты-Мерсона четвертого порядка точности по времени с автоматическим контролем точности решения.

На основе предложенного расчетного алгоритма разработана программа «Impuls2D».

Созданная механико-математическая модель позволяет определять с учетом нелинейных факторов и истории нагружения напряженно деформированное состояние комбинированных систем в условиях одновременного действия статических и динамических нагрузок.

Анализ работы рассматриваемых предварительно напряженных комбинированных конструкций шпренгельного типа показал, что их поведение при действии динамических нагрузок существенно отличается от аналогичных стержневых.

На рис. 3 приведены осциллограммы колебаний балки и шпренгельной системы с отключающимися затяжками, имеющих одинаковые собственные частоты колебаний, в условиях резонансного воздействия периодической внешней силы.

Из рис.3 видно, что, в отличие от обычной балки, где за 4 секунды резонансных колебаний амплитуды монотонно возрастают до 0,7 м, в шпренгельной системе за этот же период времени отключение затяжек переводит резонансный колебательный процесс в режим биения и стабилизирует амплитуду на величине 0,11 м.

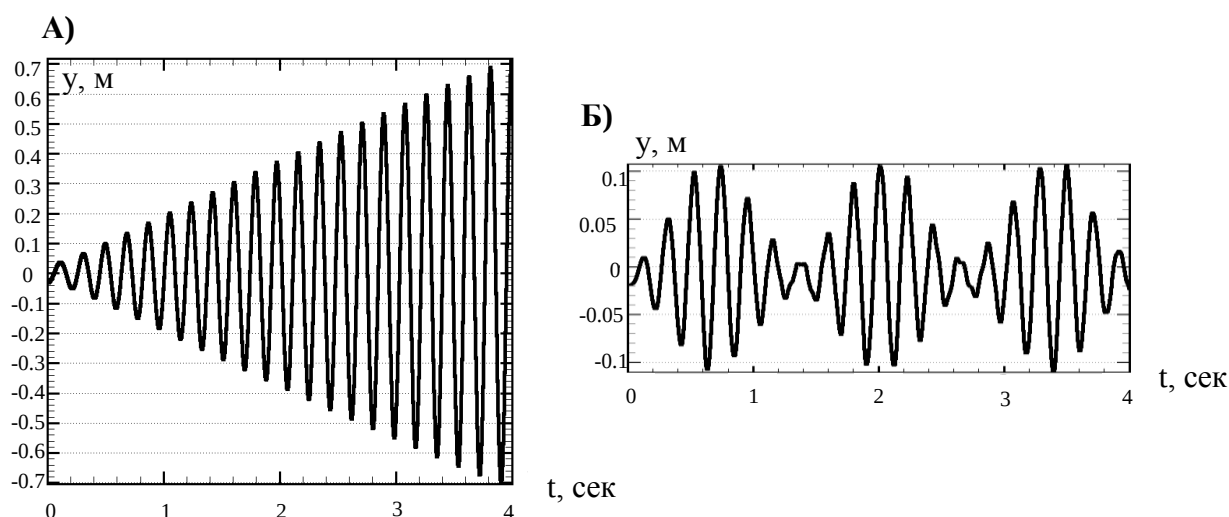


Рис.3 Осциллограммы резонансных колебаний
а) балки, б) шпренгельной системы с отключающимися затяжками

При пролете конструкции $l=24$ м относительная амплитуда колебаний шпренгельной системы составляет $\frac{1}{218}L$ и не превышает допустимых значений относительных прогибов.

2. Заключение

Выявленное свойство шпренгельных конструкций имеет положительное влияние и может рассматриваться как собственный гаситель колебаний системы при резонансных частотах внешней возмущающей силы.

Отмеченные особенности поведения комбинированных систем шпренгельного типа следует учитывать при их практическом проектировании.

Научная организация труда и хозяйственной деятельности

УДК 656.224.741

**ОРГАНИЗАЦИОННО-УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
РЕФОРМИРОВАНИЯ РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

А.А. Лапинкас

Аннотация

Эффективность управления и транзакционные издержки. Опыт структурных преобразований советского периода. Причины возникновения управленческих проблем в крупных унитарно структурированных хозяйственных организациях (отрицательный эффект масштаба). Управленческие «перегрузки» и граница управляемости. Факторы, влияющие на степень управляемости. Двухуровневая (бимодальная) организационно-управленческая структура. Холдинг. Проблемы, связанные с выделением ДЗО и формированием холдинга на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: организационно-управленческая структура; эффективность; транзакционные издержки; эффекты масштаба; одноуровневое и двухуровневое (бимодальное) управление; унитарная, мультидивизиональная и холдинговая структуры; границы управляемости; дочерние и зависимые общества (ДЗО).

Введение

Целью любой реформы является повышение эффективности функционирования преобразуемого субъекта хозяйства. Динамика (кривая) эффективности представляет собой зеркальное отражение кривой средних общих издержек. В крупных хозяйственных организациях заметную долю в структуре издержек составляют транзакционные издержки. Эти издержки связаны не с производством как таковым, а с сопутствующими ему затратами. В целом транзакционные издержки можно определить как *затраты на управление хозяйственной организацией*.

1. Опыт структурных преобразований крупных хозяйственных организаций в советском периоде

Как уже было отмечено, эффективность управления прежде всего проявляется в динамике транзакционных издержек и определяется, среди

прочего, управленческой структурой данной организации. Любая хозяйственная организация структурирована как вертикальная иерархия («пирамида»), состоящая из определенного количества «этажей». Чем крупнее организация, тем она выше и тем больше количество «этажей». Рост их количества является причиной возникновения ряда управленческих проблем, которые дают о себе знать в виде роста транзакционных издержек.

Эти проблемы ярко проявлялись в деятельности советских ведомств, предприятия которых отличались низким уровнем производительности и вялыми темпами внедрения НТП. Следует заметить, что руководители страны это понимали и неоднократно пытались исправить положение локальными реформами структуры управления народным хозяйством. Приведем лишь один пример в виде цитаты из постановления ЦК КПСС, в котором было отмечено, что министерства и ведомства *«неудовлетворительно занимаются вопросами развития и совершенствования производства, плохо руководят делом внедрения в жизнь новейших достижений науки и техники, делом распределения передового опыта»* (КПСС в резолюциях, 1970 – 1982).

Во многих ведомствах были вскрыты *«серьезные недостатки в организационном построении аппарата, приводящие к канцелярско-бюрократическим методам руководства, к раздуванию штатов административно-управленческого персонала»* (КПСС в резолюциях, 1970 – 1982).

В этом же постановлении отмечались громоздкость и многоступенчатость управленческой структуры, наличие в ней параллельно действующих звеньев, громадные штаты управленческого аппарата, делающие этот аппарат чрезмерно жестким. В связи с этим периодически проводились организационно-управленческие перестановки структуры *народного хозяйства* – ведомства то разукрупнялись, то снова объединялись. Ограниченность этих реформ заключалась в том, что и вновь возникшие механизмы управления функционировали в прежних условиях сверхцентрализованного директивного планирования. Некоторое время существовали даже такие экзотические ведомства, как «Главсоль», «Главспичка», «Главгвоздь» и т.п. В определенные периоды все же удавалось отходить от системы планирования «до гвоздя», предприятия получали некоторую экономическую самостоятельность, но через некоторое время система возвращалась к прежнему состоянию.

То же самое происходило и *внутри* крупнейших ведомств, которые сталкивались примерно с теми же управленческими проблемами, что и весь вертикально интегрированный единый народнохозяйственный комплекс. Подобные дробления-объединения организационной структуры неоднократно происходили и внутри МПС России. Далее попытаемся

выявить общие причины возникновения негативных явлений, о которых говорилось выше.

2. Причины возникновения отрицательного эффекта масштаба и возможности его преодоления.

Управление в организации – это целенаправленное (планомерное) воздействие на подчиненные элементы через приказы, директивы, стимулирование и т.д., т.е. централизованное распределение заданий и результатов деятельности данной организации. Централизованная координация деятельности элементов организации порождает эффект кооперации (сверхаддитивности), который еще известен как *положительный эффект масштаба*. Однако, по мере дальнейшего роста масштабов организации, даже в самых отлаженных управленческих механизмах возникают отклонения от заданного курса, иногда весьма значительные.

Их причиной в первую очередь являются управленческие «перегрузки», возникающие как следствие избытка информационных потоков и хронического запаздывания в принятии решений.

Усложнение управленческой вертикали неизбежно проявляется в следующем: 1) рост потока распоряжений, директив, ограничений и т.п. приводит к расширению потоков отчетности, сводок и счетов, что, в свою очередь, обуславливает рост штатов, их материального обеспечения (например, внедрение системы бюджетирования в железных дорогах); 2) детальная регламентация действий рядовых элементов организации увеличивает возможности ее нарушений, подавляет инициативу; 3) верхние уровни иерархии получают возможность действовать произвольно, выборочно; и т.п.

Все эти обстоятельства являются причинами возникновения отрицательного эффекта масштаба и роста транзакционных издержек (падения эффективности) в процессе функционирования хозяйственной организации. Ужесточение структуры управления может привести даже к потере управляемости по мере дальнейшего роста масштабов данной организации. Иначе говоря, существует некая «*граница управляемости*», определяемая отрицательным эффектом масштаба.

Степень управляемости зависит от ряда объективных и субъективных факторов, включая возможности управляющего центра и свойства управляемых элементов.

Преодоление границы управляемости в целом предполагает создание двухуровневой (бимодальной) структуры управления. Известны три типа двухуровневых организационно-управленческих структур: мультидивизиональная (например, бывшее МПС РФ), холдинговая и смешанная (унитарная структура относится к одноуровневым).

Как известно, одной из целей проводимых ныне реформ железнодорожного транспорта является создание холдинга, управляющего большим количеством дочерних и зависимых обществ (ДЗО).

Холдинг (от англ. holding – владение) – это акционерное общество, активы которого преимущественно представлены акциями других обществ, обладание которыми позволяет оказывать влияние на управление последними.

Холдинговая структура обеспечивает устойчивость и выживаемость всех входящих туда предприятий. Это выгодно также и акционерам всех уровней данной структуры, так как она снижает степень риска и почти исключает вероятность банкротства. В то же время холдинг представляет собой эффективную форму финансового контроля и регулирования деятельности структурных хозяйственных подразделений *без повседневного административного вмешательства*. При этом холдинг имеет возможность *проводить единую стратегию* в масштабе всей системы путем формирования аппарата управления ДЗО и т.д.

Совокупность указанных свойств образует первый уровень управления – *стратегический блок*. Второй уровень (*оперативный блок*) возникает благодаря наличию относительной финансово-экономической самостоятельности ДЗО. В этом блоке решаются количественные (краткосрочные) проблемы в контексте общих правил принятия решений. Если крупным унитарно структурированным хозяйственным организациям свойственна директивная планомерность, то бимодальным, двухуровневым организациям характерна *индикативная планомерность*. Она возникает как совокупность указанных выше организационно-управленческих характеристик.

3. Проблемы формирования холдинга на железнодорожном транспорте

В процессе обсуждения программы реформирования железнодорожного транспорта против создания холдинга уже на первом этапе было выдвинуто ряд серьезных возражений. В частности, отмечалось, что раздробленность единой системы на множество юридических лиц приводит к прямым финансовым потерям в виде налогов с оборота, начисляемых при расчетах между подразделениями. В основном по этой причине дороги были лишены статуса юридических лиц и преобразованы в филиалы.

Однако, сохранение единой унитарной структуры сохраняет и все ее недостатки, о которых говорилось выше. Внедряемая система бюджетирования, кроме дополнительных затрат, неизбежно приведет к снижению финансовой прозрачности и падению инвестиционной привлекательности, ослаблению мотивации труда работников всех уровней

и т.п. Это значит, что раньше или позже придется создавать двухуровневую структуру – либо мультидивизиональную (наподобие бывшего МПС), либо холдинговую, которая в большей степени соответствует условиям рыночной экономики.

Процесс выделения ДЗО, регламентируемый программой реформы железнодорожного транспорта, уже начался. Президент ОАО «РЖД» Г.М. Фадеев в своем докладе на заседании Правления подчеркнул, что создание дочерних обществ – не самоцель, а инструмент повышения экономической эффективности, привлечения инвестиций (Железнодорожный транспорт, 2004. № 7). Далее Г.М. Фадеев отметил, что в ближайшие годы будет расширена практика создания дочерних обществ по транзитным грузовым перевозкам в международных транспортных коридорах

Основная работа по выделению и созданию ДЗО согласно программе предусмотрена в третьем этапе структурной реформы (2006-2010 гг.). Необходимо заметить, что ДЗО регистрируются в качестве юридического лица, имеют обособленный баланс имущества, расчетный счет в банке и прочие реквизиты. Это значит, что по мере проявления «очертаний» холдинга, эта структура вновь столкнется с проблемой финансовых потерь в виде налогов с оборота при осуществлении трансфертов между ДЗО, а также между ДЗО и головной компанией.

4. Заключение

Решение важнейшей задачи повышения эффективности управления железнодорожным транспортом предполагает два направления: 1) поэтапное создание двухуровневой системы управления железнодорожным транспортом (образование холдинга) и 2) постоянная работа с Правительством РФ и законодателями по устранению финансовых и фискальных условий, препятствующих эффективному функционированию холдинга.

5. Литература

- Фадеева Г.М. Доклад на расширенном заседании Правления // Железнодорожный транспорт, 2004 № 2, с.2 – 12.
- Чичагов П.К. О регламенте создания дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт, 2004 № 6, с.11 – 14.
- Лапидус Б.М. Экономические проблемы управления железнодорожным транспортом России. М.: 2001.
- КПСС в резолюциях и решениях съездов, конференций и пленумов ЦК. – М., 1970 – 1982. Т.6, с. 508-512.

УДК 656.2:616.89.44

МОНИТОРИНГ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ КОНФЛИКТОВ НА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

В.П. Огородников, В.А. Светлов

Аннотация

Раскрывается логика организационно-управленческих конфликтов на железной дороге. Демонстрируется модель проблем управления Октябрьской железной дороги. Даются конкретные рекомендации по прогнозированию и предупреждению конфликтов.

Ключевые слова: мониторинг, предупреждение, конфликт, модель конфликта, угрожающее будущее, высшее звено управления, среднее звено управления, игрок.

Введение

Проблема прогнозирования и предупреждения организационных конфликтов приобрела сегодня в России поистине небывалую злободневность. Кризисные явления в экономике, практически во всех сферах деятельности человека ставят под угрозу само существование нашей страны, приводят к процессам, которые многие исследователи оценивают как катастрофические.

В то же время, весьма модными становятся попытки найти психологические решения государственных и локально-производственных задач, сущность которых следует искать в экономико-организационном фундаменте общества. Подобные попытки изначально ориентированы на изменения *отношения* отдельных лиц, коллективов или всего общества к возникающим тут и там конфликтным ситуациям, а не на изменение самих ситуаций, упразднение объективных оснований кризисов и конфликтов. Эффект от психологического воздействия безусловно есть, но он сопоставим с эффектом от лечения болезней путем «заговора», «снятия сглаза» и тому подобных приемов, распространение которых в социуме XXI века свидетельствует о глубокой социальной и интеллектуальной деградации... Болезнь не лечится, а загоняется внутрь.

Психологические воздействия на участников конфликта могут лишь временно его притушить. Но, так-так причины не выявлены, ситуация будет повторяться вновь и вновь и неминуемо приведет к глобальному взрыву с самыми разрушительными последствиями...

1. Конфликт как объективная закономерность

Известно, что сила и действенность научного исследования любого процесса связаны с познанием *объективных закономерностей*. Именно это знание позволяет не только объяснить суть происходящего, установить его причинные и не причинные детерминанты, но и определить на этой основе достаточно долгосрочные перспективы развития процесса. Все это является основанием для разработки ряда мер, позволяющих сознательно и целесообразно управлять изученным процессом, остановить развертывание его нежелательных следствий.

Ни в природе, ни в обществе нет явлений и процессов, не связанных с какими-либо законами. Все закономерно. Но закономерность никогда не проявляет себя в виде абсолютной необходимости. В силу этого, выявление любой закономерности требует анализа и систематизации целого ряда фактов, отражающих единичные, по видимости случайные, не связанные друг с другом явления.

Один из соавторов этой статьи – профессор В.А. Светлов провел многолетние исследования всевозможного рода конфликтов – как межличностных, межгрупповых и общесоциальных. Обобщением результатов этих исследований явилась разработка общей теории конфликта, представленной автором в работе «Аналитика конфликта» (СПб., 2001 г.)

Под единой теорией конфликта автор понимает последовательность моделей конфликта, связанных друг с другом отношением обобщения и допускающих как самостоятельное, так и совместное использование. Эта последовательность моделей содержит некоторый инвариант знаний, названных фундаментальными теоремами, и в то же время допускает ветвления и новые обобщения. Сочетание неизменного инварианта с гибкостью и открытостью единой теории конфликта делает ее чрезвычайно мощным средством анализа и решения прикладных проблем.

Профессора В.А. Светлов и В.П. Огородников предложили руководству ПГУПС и Управлению Октябрьской железной дороги провести исследование по теме «Мониторинг, моделирование и предупреждение конфликтов на железной дороге», которое в июне 2004 г. было утверждено Программой фундаментальных и поисковых исследований ПГУПС и 22.07.04 – приказом начальника дороги-филиала ОАО «РЖД» «ОКТЯБРЬСКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА» В. В. Степова.

Созданная этим приказом рабочая группа в течение августа – сентября 2004 г. провела исследования в 4-х подразделениях ОЖД.

2. Проблемы управления на Октябрьской железной дороге

Взятые интервью выявили три основные проблемы в управлении структурными подразделениями ОЖД, отрицательно влияющие на

экономическую эффективность ОЖД и рабочую атмосферу внутри подразделений.

Первая проблема – коммуникативная. Отсутствует официальная система распространения информации внутри самих коллективов и между коллективами. Это порождает большой объем слухов, приводит к появлению неконтролируемых неформальных коммуникативных каналов в коллективах и создает почву для укрепления позиций лидеров деструктивных мнений. В некоторых, и особенно, в неблагополучных подразделениях (хотя из всех четырех едва ли хоть одно может быть названо благополучным) просто необходимо проводить антикризисную коммуникативную компанию с целым набором специальных мероприятий.

Вторая проблема – разграничение полномочий и сфер между Управлением и линейными подразделениями. Чрезмерная централизация тормозит развитие подразделений и не позволяет им достигать высоких экономических результатов. Было бы целесообразно предоставить определенную финансовую самостоятельность линейным подразделениям, обусловив ее конкретными критериями результативности (вроде роста экономических показателей и снижения процента нарушений ТБД к концу года и т.п.). Как минимум, необходимо передать в линейные подразделения вопросы определения премиального фонда и возможность заключения хозяйственных договоров.

Третья и, возможно, главная проблема. Это управленческий стиль. Авторитарный стиль руководства Управления не стимулирует экономический рост и не способствует уменьшению напряженности в коллективах. Руководство явно озабочено лишь сохранением статус-кво и недопущением "громких" конфликтных ситуаций. Для этого используется один «проверенный» метод – смена начальников подразделений и их замов.

По мнению многих линейных работников, нынешнее руководство Управления не стремится к поиску совместных путей преодоления конфликтных ситуаций и выражает сильное сомнение в целесообразности какой-либо кооперации в данном направлении.

Чтобы сделать практически значимые выводы на основе проведенных исследований, была построена математическая модель проблем, с которыми сталкиваются основные «игроки» Управления. Упрощенный вариант этой модели воспроизведен в таблице 1.

3. Анализ модели

Карта улучшений и санкционирования позиций игроков (стратегическая карта развития конфликта) приведена на рис. 1 (стрелка с аббревиатурой отдельного игрока или коалиции игроков обозначает

направление возможного улучшения ими той позиции, из которой стрелка исходит).

ТАБЛИЦА 1. Упрощенная модель проблем Управления Октябрьской железной дороги

Игроки	Действия игроков	Позиция игрока (ВЗУ)	Позиция игрока (СЗУ)	Угрожающее будущее (УБ)
(1) Высшее звено управления (ВЗУ)	А	√	х	~
	В	х	√	Х
	С	х	х	√
(2) Среднее звено управления (СЗУ)	Д	√	√	х
	Е	х	√	√

Где:

А = отстаивать авторитарно-бюрократический стиль управления;

В = вводить элементы экономической и организационной самостоятельности подразделений;

С = максимально усилить элементы централизации, контроля и санкций за неисполнение директив Управления;

Д = добросовестно исполнять все директивы Управления;

Е = требовать экономической и организационной самостоятельности.

√ – знак выбора действия;

х – знак выбора недействия (отказа выполнять действие);

~ – знак выбора действия или недействия.

Позиция игрока – предпочитаемый им исход развития событий (набор тех действий/недействий всех без исключения игроков, который наилучшим образом выражает его цели).

Угрожающее будущее (катастрофа) – исход, обозначающий результат исполнения всеми игроками своих угроз (тех действий/недействий, которые они совершат, если их позиция не будет принята).

Предпочтения. В рассматриваемой модели каждый игрок предпочитает свою позицию позиции другого игрока и оба они вместе предпочитают позиции друг друга исполнению угрожающего будущего.

Из приведенной карты следует, что оба игрока могут избежать угрожающего будущего только *совместными* усилиями. Ни ВЗУ, ни СЗУ не способны это сделать независимо от другого игрока. Это также означает, что угрожающее будущее не является для обоих игроков стабильным исходом в теоретико-игровом смысле (не представляет точки стабильности в решении анализируемого конфликта управления).

Нестабильным исходом является также позиция игрока СЗУ. Даже если игрок ВЗУ согласится сотрудничать с игроком СЗУ, т. е. пойдет на демократические преобразования методов управления ОЖД, чтобы избежать угрожающего будущего, все равно он потенциально будет предпочитать авторитарно-бюрократический стиль управления. Это порождает внутреннюю нестабильность рассматриваемого исхода и недолговечность возможного объединения игроков ВЗУ и СЗУ.

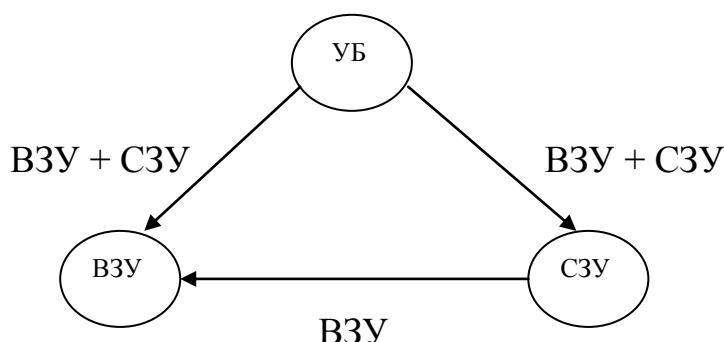


Рис. 1. Стратегическая карта развития конфликта

Единственным стабильным исходом является позиция игрока ВЗУ. Для игрока ВЗУ она стабильна, потому что обладает максимальной преференцией. Для игрока СЗУ она стабильна, потому что более предпочтительна для него, чем угрожающее будущее и, кроме того, его собственная позиция не является стабильной: игрок ВЗУ может улучшить ее независимо от любых действий игрока СЗУ.

Сказанное объясняет устойчивость существующей системы управления ОЖД со всеми вытекающими последствиями и чрезвычайно низкую вероятность ее изменения в будущем.

Дилеммы представляют позиционные конфликты, с которыми сталкиваются игроки. Анализ дилемм указывает возможные направления их решения и тем самым решения конфликта в целом.

Оба игрока сталкиваются с дилеммами искушения и угрозы (P_x означает позицию игрока X , UI_x — позицию, представляющую одностороннее улучшение для игрока X). Строгие определения данных дилемм (всего их шесть) даются ниже.

Определение 1. *Дилемма искушения.* Игрок A сталкивается с дилеммой искушения, если и только если для A позиция его противника B по крайней мере также предпочтительна, как и достижение угрожающего будущего $УБ$: $P_B \geq_A УБ$ (для A позиция P_B по крайней мере также предпочтительна, как и угрожающее будущее $УБ$).

Определение 2. *Дилемма угрозы.* Игрок А сталкивается с дилеммой угрозы, если и только если он имеет из угрожающего будущего $УБ$ одностороннее улучшение своей позиции U_A , не совпадающее с позицией игрока В (если игроков более двух), что дает другим игрокам (соперникам) А все основания полагать, что его угрозы не искренни: $U_A \geq U_B$ $U_A \neq P_B$ (для А одностороннее улучшение U_A угрожающего будущего $УБ$ по крайней мере также предпочтительно, как и оно само).

Дилемма угрозы, с которой сталкиваются оба игрока, фактически лишает их взаимные угрозы и тем самым угрожающее будущее реальных оснований. Ни ВЗУ не пойдет на введение крайних мер по управлению ОЖД, ни СЗУ не откажется от исполнения своих прямых обязанностей. Этому препятствуют как внешние политико-экономические условия, так и осознание катастрофических последствий осуществления угрожающего будущего. Для ВЗУ угрожающее будущее обернется шумной кампанией в прессе, непредсказуемой реакцией министерства, забастовками на предприятиях, массовым увольнением. Для СЗУ угрожающее будущее означает увольнение, для оставшихся - потерю последних остатков самостоятельности, обострение отношений с рабочими, вспышки неподчинения и увольнение последних.

Значит, при существующих условиях ни один из игроков не желает наступления угрожающего будущего. Оба игрока скорее согласятся перейти на позиции друг друга, чем столкнуться с этим исходом. При этом, как бы ни развивались далее события, в выигрыше остается только игрок ВЗУ. При любом сценарии – игрок СЗУ, выбирая из двух зол наименьшее, отказывается от своих демократических амбиций и присоединяется к позиции игрока ВЗУ или игрок ВЗУ, желая ввести элементы демократии, согласится поддержать требования игрока СЗУ, стабильным исходом согласно стратегической карте конфликта все равно остается позиция игрока ВЗУ.

Дилемма искушения, с которой сталкиваются оба игрока, является для них совместной. Более того, поскольку игроков два, дилеммы угрозы и искушения фактически совпадают. Наличие дилеммы искушения полностью подтверждает выводы, сделанные при анализе дилеммы угрозы. Оба игрока потенциально готовы пойти на уступки друг другу, чтобы избежать угрожающего будущего. Правда, при существующих условиях платой за это вынужденное сотрудничество игроков станет сохранение нынешней системы управления неопределенное время.

Позиция ВЗУ, представляющая стабильный исход рассматриваемого конфликта управления, может быть названа негативной точкой стабильности. Позиция этого игрока не дает реального решения проблем управления. Наоборот, она их консервирует без возможности позитивного разрешения даже в отдаленном будущем. Сказанное означает, что

существующие позиции игроков не содержат позитивного решения. Следовательно, необходимо инициировать создание новых более оптимистических для обоих игроков позиций.

Для этого необходимо разработать и принять реальный план возможного компромисса, не ограничивающего основные функции ни ВЗУ, ни СЗУ, и тем самым лишить позицию ВЗУ статуса единственной точки стабильности. Объективная основа для этого существует – ни один из игроков не желает ухудшения существующего положения дел. Фактически только позиция ВЗУ препятствует дальнейшему прогрессу.

4. Заключение

На основании проделанного анализа предлагается:

1. Наладить конструктивный диалог между высшим и средним уровнями управления по актуальным темам менеджмента; уравнивать ВЗУ и СЗУ в праве на разработку организационных и иных изменений, имеющих прямое отношение к экономическим и социальным показателям ОЖД;

2. Провести определенную либерализацию управления линейными подразделениями, повысить их экономическую и управленческую самостоятельность и тем самым заинтересованность в работе;

3. Создать службу посредничества для предотвращения затяжных или неуправляемых конфликтов, развития у персонала всех уровней творческих навыков самоуправления;

4. Сформировать эффективную систему информирования как внутри линейных подразделений, так и по вертикали.

Представленные результаты и предложения нуждаются в апробации и верификации в дальнейших исследованиях. Необходимо провести локальные эксперименты в ряде подразделений с целью выяснения обоснованности сделанных выводов и ВОЗМОЖНОСТИ практического использования общей теории конфликтов в масштабах всего ОТКРЫТОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ».

5. Литература

- Огородников В.П. Познание необходимости. Детерминизм как принцип научного мировоззрения. Мысль. 1985.
- Светлов В.А. Аналитика конфликта. Веста, 2001.

УДК 535.372

БЕЗЫЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ В ПОЛИМЕРАХ

Е.Н. Бодунов

Аннотация

В настоящее время за рубежом все более широкое применение находят защитные покрытия на основе полимерных материалов. Они используются в железнодорожном и водном транспорте для предохранения различных конструкций от агрессивного воздействия окружающей среды. Для создания новых покрытий, обладающих большей прочностью и долговечностью, необходимы научные исследования, включающие разработку методов контроля за качеством и процессом образования покрытия. В люминесцентном методе присоединенные к полимерным цепи молекулы (хромофоры) служат инструментом указанного контроля. В работе исследовано влияние размеров полимерной цепи и характера взаимодействия ее звеньев на кинетику люминесценции хромофоров.

Ключевые слова: кинетика люминесценции; перенос энергии; линейные полимерные молекулы.

Введение

Безызлучательный перенос энергии электронного возбуждения между донорными и акцепторными хромофорами, прикрепленными к полимерной цепи, широко используется в качестве инструмента для исследования структуры полимеров (Webber S.E., 1990; Mollay B., 1994). Временная зависимость интенсивности флуоресценции доноров и акцепторов после импульсного возбуждения может быть сопоставлена с межхромофорным расстоянием через скорость ферстеровского переноса энергии (Foster Th., 1948). Такие эксперименты обычно выполняются в условиях очень разбавленных растворов, позволяющих пренебречь переносом энергии между различными полимерными молекулами. Конечно, при умеренных концентрациях полимера пренебречь межмолекулярным переносом нельзя. Интерпретация экспериментов в таких системах – значительно более сложная задача, требующая решения многочастичной задачи транспорта возбуждений (Webber S.E., 1990; Marcus A.H., 1995).

Существует несколько типов присоединения хромофоров к полимерным молекулам. Во-первых, каждая полимерная молекула может содержать точно один донорный и один акцепторный хромофоры (Roy A.K., 1989; Fredrickson G.H., 1983; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002). Некоторые биомолекулы принадлежат к этой категории. Во-вторых, доноры и акцепторы могут быть случайно распределены вдоль полимерной цепи (Webber S.E., 1990; Marcus A.H.,

1995; Fredrickson G.H., 1983; Bodunov E.N., 2001; Бодунов Е.Н. и др., 2001). В-третьих, каждое звено полимерной молекулы с вероятностью, равной 1, может быть занято донорным или акцепторным хромофором (Webber S.E., 1990; Mollay B., 1994; Bodunov E.N., 2001; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2001). Ароматические полимеры – пример таких систем.

Цель этой статьи – дать краткий обзор полученных нами результатов по изучению некогерентного переноса энергии между хромофорами, присоединенными к гибкой полимерной цепи. Концентрация полимера считается достаточно малой, чтобы можно было пренебречь взаимодействием между хромофорами, прикрепленными к соседним полимерным цепям. Предполагается, что растворитель хороший и полимер находится выше θ -точки перехода. Известно, что при температуре ниже θ полимерная цепь образует глобулу, и плотность вероятности найти концы полимерной цепи на заданном расстоянии будет отличаться от той, которая используется в данной работе. Исследуется случай изотропного диполь-дипольного (dd) взаимодействия между хромофорами, когда скорость переноса энергии $w(r)$ задается формулой $w(r) = \tau^{-1} R_0 / r^6$. Здесь τ – время жизни возбужденного состояния донора, R_0 – радиус Ферстера, r – расстояние между хромофорами.

1. Полимерная цепь с двумя хромофорами, присоединенными к ее концам

В этом случае после импульсного возбуждения кинетика люминесценции хромофоров-доноров $I(N, t)$, прикрепленных к полимерной цепи, имеющей N звеньев, описывается уравнением (Webber S.E., 1990; Mollay B., 1994; Foster Th., 1948; Marcus A.H., 1995; Roy A.K., 1989; Fredrickson G.H., 1983; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002; Bodunov E.N., 2001; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2001)

$$I(N, t) = 4\pi \int_0^{\infty} r^2 g_N(r) e^{-w(r)t} dr. \quad (1)$$

Экспоненциальный множитель в (1) есть кинетика необратимого переноса энергии возбуждения от донора на акцептор. Расстояние r между донором и акцептором зависит от конформации цепи. Усреднение по конформациям осуществляется с помощью функции $g_N(r)$, имеющей смысл плотности вероятности найти полимер, состоящий из N звеньев, в котором расстояние между концами цепи равно r .

Уравнение (1) не содержит потери возбуждения, обусловленного конечным временем жизни флуоресцентного состояния донора, так как этот канал распада не зависит от переноса энергии и, таким образом, полная

кинетика затухания факторизуется на множитель $\exp(-t/\tau)$ и функцию распада, обусловленную переносом энергии на акцепторы.

Как известно (Roy A.K., 1989; Grosberg A.Yu., 1994), в трехмерном случае для идеальной полимерной цепи (гауссова цепь)

$$g_N(r) = A_1 \exp\left(-B_1 r^2\right)$$

$$A_1 = \left(\frac{3}{2\pi\langle R_g^2 \rangle}\right)^{3/2}, B_1 = \frac{3}{2\langle R_g^2 \rangle} \quad (2)$$

а для полимерной цепи с объемным взаимодействием (неидеальная цепь)

$$g_N(r) = A_2 r^{5/18} \exp\left(-B_2 r^{5/2}\right)$$

$$A_2 = 0.289058 / \langle R_g^2 \rangle^{59/36}, B_2 = 1.22271 / \langle R_g^2 \rangle^{5/4} \quad (3)$$

где R_g – радиус полимерного клубка, $\langle R_g^2 \rangle = a^2 N$ для идеальной цепи и $\langle R_g^2 \rangle = a^2 N^{6/5}$ для неидеальной, a – длина статистического сегмента (звена). Как видно из формул (2) и (3), для полимерной цепи с объемным взаимодействием функция распределения обращается в ноль при $r \rightarrow 0$, а для идеальной цепи в этом случае она максимальна.

Подставляя (2) в (1), получаем кинетику люминесценции для идеальной полимерной цепи (Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2001)

$$I_{id}(N, t) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \int_0^\infty y^{1/2} \exp\left(-y - \frac{27T}{8y^3}\right) dy$$

$$T = \frac{R_0^6}{\langle R_g^2 \rangle^3} \frac{t}{\tau}, \langle R_g^2 \rangle = a^2 N \quad (4)$$

Отметим, что кинетика (4) зависит только от параметра T . Интеграл (4), но записанный в менее удобном виде (без введения универсального параметра T), численно анализировался в работе (Fredrickson G.H., 1983) для конкретных значений параметров R_0 , R_g и τ , а его асимптотика на больших временах ($t/\tau \gg 1$) была получена в (Roy A.K., 1989). Произведя численные расчеты, мы установили (Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002), что кинетика (4) может быть аппроксимирована (с точностью выше 1%) функцией

$$I_{id}(N, t) = (1 + 2.45T^{1/4}) \exp(-2^{5/4} T^{1/4}) \quad (5)$$

Аналогично для неидеальной цепи мы получили (Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002; Берберан-Сантос М.Н. и др., 2001)

$$I_{nid}(N, t) = \frac{1}{\Gamma(1 + 14/45)} \int_0^{\infty} y^{14/45} \exp \left[-y - \left(\frac{\Gamma(19/9)}{\Gamma(59/45)} \right)^3 \frac{T}{y^{12/5}} \right] dy. \quad (6)$$

Параметр T имеет тот же вид, что и в (4), но $\langle R_g^2 \rangle = a^2 N^{6/5}$. Асимптотика выражения (6) на больших временах была рассчитана в работе (Roy A.K., 1989). Произведя численный анализ, мы установили (Берберан-Сантос М.Н. и др., 2000; Bodunov E.N., 2002), что кинетика (6) с точностью выше 3% воспроизводится функцией

$$I_{nid}(N, t) = (1 + 1.75T^{73/306}) \exp(-2.1122T^{5/17}). \quad (7)$$

Сравнивая выражения (5) и (7) с экспериментальными данными, можно попытаться определить тип исследуемой цепи и радиус полимерного клубка. Эти формулы также полезны при изучении влияния неоднородного уширения спектров хромофоров и движения звеньев полимерной цепи на кинетику люминесценции.

2. Полимерная цепь со случайным расположением хромофоров вдоль цепи

В этой части работы мы рассматриваем полимерную цепь, к каждому звену которой с некоторой вероятностью может быть прикреплен хромофор. Концентрация хромофоров – доноров считается малой, чтобы не учитывать миграции энергии по донорам.

При исследовании транспорта возбуждений в системе с ограниченным размером (донор и акцептор разделены конечным числом звеньев полимерной цепи) необходимо выполнить два пространственных усреднения. Первое – усреднение по всем возможным позициям акцепторов относительно положения первоначально возбужденного донора. Второе – усреднение по всем возможным позициям первоначально возбужденного донора (в системе с ограниченными размерами эти позиции не эквивалентны). Эта задача для идеальной полимерной цепи решалась численно в (Marcus A.H., 1995; Fredrickson G.H., 1983).

Задача транспорта возбуждений в полимерной цепи значительно упрощается, если мы изучаем достаточно длинную (бесконечную) цепь. При этом пропадает необходимость производить второе усреднение,

поскольку все позиции первоначально возбужденного донора на бесконечной цепи эквивалентны. Так как расстояние между двумя не очень близкими точками полимерной цепи, разделенными N звеньями, удовлетворяет той же функции распределения, что и расстояние между концами полимерной цепи, состоящей из N звеньев (Grosberg A.Yu., 1994), для кинетики люминесценции имеем (Bodunov E.N., 2001; Бодунов Е.Н. и др., 2001)

$$I(t) = \exp \left[-c \int_{-\infty}^{\infty} dN \int_0^{\infty} dr 4\pi r^2 g_N(r) \left(1 - e^{-tw(r)} \right) \right], \quad (8)$$

где c – среднее число хромофоров – акцепторов, приходящихся на одно звено полимерной цепи ($c \ll 1$). В случае dd-взаимодействия оба интеграла в формуле (8) вычисляются точно. В результате для кинетики люминесценции $I_{id}(t)$ идеальной полимерной цепи получаем

$$I_{id}(t) = \exp \left[-6\Gamma \left(\frac{2}{3} \right) c \frac{R_0^2}{a^2} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{1/3} \right] = \exp \left[-8.125c \frac{R_0^2}{a^2} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{1/3} \right], \quad (9)$$

а для кинетики люминесценции $I_{nid}(t)$ неидеальной цепи имеем

$$I_{nid}(t) = \exp \left[-3.872c \left(\frac{R_0}{a} \right)^{5/3} \left(\frac{t}{\tau} \right)^{23/54} \right]. \quad (10)$$

Кинетика люминесценции (10) спадает со временем заметно медленнее кинетики (9) (см. численные коэффициенты), так как для неидеальной полимерной цепи функция распределения $g_N(r) \rightarrow 0$ при $r \rightarrow 0$, а для идеальной

$$g_N(r) \rightarrow \text{const при } r \rightarrow 0.$$

3. Выводы

Исследована кинетика необратимого переноса энергии электронного возбуждения между хромофорами, прикрепленными к изолированной гибкой полимерной цепи. В статическом случае (когда полимерная цепь не меняет своей конформации за время жизни возбужденного состояния хромофора) получены простые уравнения для кинетики люминесценции идеальной и неидеальной полимерных цепей, которые могут быть использованы для идентификации характера распределения звеньев полимерной молекулы в растворе.

Еще раз обратим внимание на то, что полная кинетика люминесценции отличается от приведенной в настоящей статье множителем $\exp(-t/\tau)$, учитывающим конечность времени жизни возбужденного состояния хромофора-донора.

4. Литература

- Webber S.E. // Chem. Rev. 1990. V.90. P.1469.
- Mollay B., Kauffmann H.F. // Disordered Effects on Relaxation Processes. / Eds.by Richert R. and Blumen A. Berlin: Springer-Verlag, 1994. P.509.
- Forster Th. // Ann. Phys. (Leipzig). 1948. V.2. P.55.
- Marcus A.H., Hussey D.M., Diachun N.A., Fayer M.D. // J. Chem. Phys. 1995. V.103. N.18. P.8189.
- Roy A.K., Blumen A. // J. Chem. Phys. 1989. V.91. N.1. P.4353.
- Fredrickson G.H., Andersen H.C., Frank C.W. // J. Chem. Phys. 1983. V.79. N.7. P.3572.
- Берберан-Сантос М.Н., Бодунов Е.Н., Мартиню Ж.М.Г. // Опт. и спектр. 2000. Т.89. №6. P.953.
- Bodunov E.N., Berberan-Santos M.N., Martinho J.M.G. // J. Luminesc. 2002. V.96. N.2-4. P.269.
- Bodunov E.N., Berberan-Santos M.N., Martinho J.M.G. // Chem. Phys. 2001. V.274. P.243.
- Бодунов Е.Н., Берберан-Сантос М.Н., Мартиню Ж.М.Г. // Опт. и спектр. 2001. Т.91. №5. С.740.
- Bodunov E.N., Berberan-Santos M.N., Martinho J.M.G. // Chem. Phys. Lett. 2001. V.340. N.1-2. P.137.
- Берберан-Сантос М.Н., Бодунов Е.Н., Мартиню Ж.М.Г. // Опт. и спектр. 2001. Т.91. № 6. С.931.
- Grosberg A.Yu., Khokhlov A.R. Statistical Physics of Macromolecules. N.Y.: AIP Press, 1994.

Охрана окружающей среды и безопасность труда

УДК 577.4:528.921

**ПОСТРОЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ-СХЕМЫ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО
РЕГИОНА МЕТОДАМИ АЭРОСЪЕМКИ НА БАЗЕ
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

А.В. Панин, О.В. Григорьева

Аннотация

Оценка состояния природной среды осуществляется с учетом всестороннего анализа возможных неблагоприятных факторов. Изучение экологического состояния территорий сопровождается экологическим картографированием, которое дает информацию о пространственном размещении загрязнения окружающей среды под воздействием антропогенных факторов. Изучались возможности геоинформационных систем для составления тематических карт-схем территорий и возможности данных дистанционного зондирования, как основного источника наполнения содержания карты.

Ключевые слова: геоинформационная система, данные дистанционного зондирования, материалы аэросъемки, коэффициент спектральной яркости.

Введение

Наиболее эффективным методом отображения оценки экологического состояния территорий является использование экологических геоинформационных систем (ГИС), которые получили широкое распространение с развитием компьютерных технологий. Их основная функция – информационно–картографическое обеспечение принятия управленческого решения.

Для экологического наполнения содержания карты, как правило, получают информацию двумя путями. Один путь предполагает сбор информации на местности (в полевых условиях), другой путь – аэросъемка значительных территорий. Во втором случае получают информацию в виде изображений земной поверхности в определенных участках спектра электромагнитных волн с авиационного или космического летательного аппарата. Традиционные методы сбора и обработки материалов не могут в полной мере решать экологические проблемы крупных регионов на ограниченном числе постов и при моделировании. Для получения

информации о состоянии природной среды и ее способности выдерживать антропогенную нагрузку самой оперативной, достоверной и относительно дешевой является система дистанционного зондирования, дополняемая системами относительно небольших по объему наземных калибровочных измерениями с подвижных платформ. Применение методов космического и авиационного экологического мониторинга в сочетании с традиционными методами наземных измерений и обследований на опорных участках дает возможность одновременного определения характеристик состояния водных и других объектов подстилающей поверхности на больших площадях, точное и объективное определение контуров и площадных характеристик ареалов с различным состоянием.

1. Цель исследования и выбор объекта исследования

Целью работы являлось создание экологической карты-схемы промышленного региона на основе данных аэросъемки, а именно, информация, полученная с помощью бортового вертолетного комплекса оперативного экологического контроля загрязненных территорий и архивных материалов, как нового тематического слоя цифровой карты местности на базе геоинформационной системы (ГИС), анализ экологической обстановки, разработка рекомендаций природоохранных мероприятий и рекомендаций для организации наземного контроля на территории региона.

Исследуемый регион представляет собой природно-техногенный комплекс и включает участки, которые по типу землепользования могут быть отнесены к следующим классам поверхностей:

- 1) Леса, лесопосадки. Занимают около 14,2 % территории 1-го района работ, 30,4% 2-го района работ и 15,4 % 3-го района работ. Преобладающие породы – сосновые деревья, встречаются еловые породы и на всей территории отдельные пятна участков лиственных пород;
- 2) Селитебная зона (или дачные участки);
- 3) Водоемы. Рассматриваемый район расположен на берегу залива. Имеются два искусственных водоема.
- 4) Поселки малоэтажной застройки сельского и дачного типа.
- 5) Производственные комплексы, включающий целлюлозно-бумажный комбинат (13,1 км²), керамический завод (8,4 км²) и угольный терминал (9,2 км²) и занимающие до 0,86, 0,22 и 0,54 % территории соответственно 1-го, 2-го и 3-го района работ.
- 6) Магистраль автомобильного транспорта и железнодорожная магистраль, грузоперевалочный пункт.
- 7) Площадь всей территории 30,7 км².

2. Средства решения поставленной задачи

В нашей работе для получения информации о состоянии окружающей среды региона была использована следующая аппаратура: цифровой цветной фотоаппарат "Olympus E-10" и многоспектральный авиационный сканер «Везувий-ЭК», предназначенный для синхронного получения калиброванных пространственно совмещенных изображений в инфракрасном и видимом диапазонах спектра.

В результате получены изображения видимого и инфракрасного диапазона спектра.

3. Обработка материалов аэросъемки

Обработка данных дистанционного зондирования преследует цель откорректировать изображения исходя из особенностей аэросъемки и задач анализа. Проводилась геометрическая коррекция, яркостная коррекция и фильтрация. Для точного совмещения с базовой картой снимок подвергался геометрической трансформации.

В качестве базовой карты, которая служит каркасом для последующей привязки, совмещения и координирования всех данных, поступающих в ГИС, и для взаимного согласования информационных слоев использовалась топографическая цифровая карта масштаба 1:500000, формата *.sxf.

Важным этапом подготовки тематической карты является разработка экологического классификатора. Классификатор электронной карты предназначен для хранения описания видов объектов, семантических характеристик (атрибутов) объектов, слоев, в которые объединяются объекты, условных знаков, используемых при отображении электронной карты на графических устройствах.

Вся тематическая обработка данных дистанционного зондирования производилась путем определения яркости подстилающей поверхности (лесной массив, водные поверхности, снежный покров и др.) на разных участках длин волн (в основном 0,45; 0,55; 0,65 мкм), объективного определения контуров и площадей природных и техногенных объектов, их детального рассмотрения, определения характеристик нарушений.

Выполнение точных геометрических измерений на снимках производилось с помощью фотограмметрических методик, средств Photoshop и ГИС «Интеграция».

4. Анализ и оценка экологического состояния региона

На основе дешифрирования данных аэросъемки были получены участки поражения древостоя, участки повреждения почвенного покрова, участки негативного воздействия на водные объекты, что позволило дать

качественную и количественную оценку состояния природной среды региона.

В результате анализа данных инфракрасной съемки выявлены участки обводнения вдоль железной дороги (площадь нарушения составила 49 тыс. м²). В качестве иллюстрации на рис. 1 представлен фрагмент изображения ж.д. полотна с границами участков подтопления, указанных пунктирными линиями.

Выявлены границы теплового загрязнения поверхностных вод прибрежной части залива. Участки сброса аномально нагретых сточных вод (их темпер. выше на 7 – 10⁰С.) обнаружены в районе керамического завода (10,8 тыс. м²) и в районе целлюлозно-бумажного комбината (20,8 тыс. м²). В результате спектрального анализа изображений, полученных в видимом диапазоне, обнаружена и повышенная мутность воды в районе

выпуска сточных вод. Можно предположить, что очистные сооружения на предприятиях работают неэффективно. Выявлены и в результате дешифрирования оцифрованы участки повреждения древесной растительности. В результате анализа спектральной яркости снежного покрова на зимних снимках, выделен ареал загрязнения снежного покрова угольной пылью на территории, прилегающей к угольному терминалу (3,2 км²).

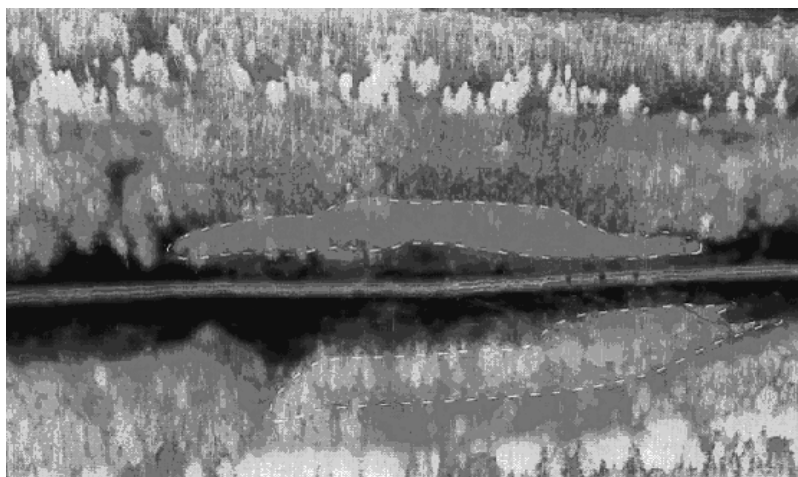


Рис.1. Зоны подтопления вдоль железной дороги

Участки нарушения были оцифрованы на цифровой карте местности, характеристики загрязнений и их площади занесены в семантику объектов.

1. В качестве критерия экологического состояния почвенного покрова (в соответствии с рекомендациями Дончевой А.В.) был взят процент нарушенных земель от общей площади каждого района.

2. В качестве критерия экологического состояния лесного покрова была взята лесистость и доля нарушенных древостоев от общей площади леса рассматриваемого района.
3. В качестве критерия экологического состояния водной среды был взят процент нарушения поверхности от общей площади рассматриваемого участка залива.

В результате качественной экологической оценки состояние лесного массива всего региона можно оценить как напряженное, почвенного покрова – удовлетворительное, водные поверхности можно считать умеренно-загрязненными.

Количественная экологическая оценка, представленная в таблице 1, позволяет сделать вывод о том, что доля общего загрязнения от площади всего региона составляет 14%, а наибольший вклад в загрязнение данного региона вносит третий район, а именно ЦБК.

ТАБЛИЦА 1. Количественная оценка воздействия каждого промышленного района на окружающую среду региона

Номер промышленного района и название объекта	Воздействие на весь регион в % (в тыс. м ²)			Суммарное воздействие промышленного района в % (в тыс. м ²)	Вклад района в общее загрязнение, %
	Лесной массив	Почвенный покров	Водная поверхность		
1 Керамический завод	3,08 (160)	0,45 (138,77)	0,66 (36,2)	4,2 (335)	29,2
2 Угольный порт	2,54 (132,3)	0,03 (9,3)	-	2,57 (141,6)	17,8
3 Целлюлозно-бумажный комбинат	3,04 (158,4)	1,4 (430,7)	3,23 (177,8)	7,67 (767)	53
Итого:	8,66 (450,7)	1,88 (578,8)	3,89 (214)	14,4 (1243,6)	100

На основе анализа составленной экологической карты выбран оптимальный вариант природоохранных мероприятий и предложения по рациональному использованию природных ресурсов, включая восстановление возобновляемых ресурсов, охрану среды от загрязнений и нежелательных необратимых изменений, а также предложены рекомендации по организации и распределению наземного контроля за состоянием окружающей среды данного региона с целью получения

информации о регулярном воздействии предприятий на окружающую среду.

5. Заключение

На основе проведенной исследовательской работы можно сделать вывод о том, что данные материалов аэросъемки позволяют оперативно и объективно проводить комплексную оценку состояния значительной по площади территории и получить следующие результаты:

1. Получить максимально точную информацию о геометрических характеристиках объекта, форму и положения границ контура у площадных объектов, их площади, длины периметров границ, взаимное расположение объектов и состав.

2. Получить описательную информацию об объекте (растительность, почвенный покров, водная поверхность, воздух), и его индивидуальных характеристиках, позволяющих провести классификацию.

3. Выделить основные типы лесов, почв, ландшафтов, провести классификация и районирование территории.

4. Выявить антропогенные изменения, происходящие на данной территории (овраги, гари, вырубки, нарушенный почвенный покров, разливы нефтепродуктов).

5. Нанесение на карту индивидуализированных объектов – новых, выделенных впервые при дешифрировании, или прежних, с вновь полученными путем дешифрирования характеристиками.

6. Провести анализ и оценку экологической обстановки на данной территории, разработать рекомендации для организации наземного контроля.

6. Литература

- Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: Практика: Учебное пособие. – М.: Аспект Пресс, 2002.
- Горелик Д.О., Конопелько Л.А., Панков Э.Д. Экологический мониторинг. Оптико-электронные приборы и системы. Учебник в 2-х томах. – СПб, 1998.
- ГИС и дистанционное зондирование. Журнал ARCREVIEW Современные геоинформационные технологии №4 (17), 1999.
- Шилин Б.В., Молодчилин И.А. Контроль состояния окружающей среды тепловой аэросъемкой. – М.: Недра, 1982.
- Чапурский Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400 - 2500 нм. Часть 1. Министерство обороны СССР, 1986.

Удк 621.039.542.3

ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ НИЗКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕАКТОРОВ В КОТЛАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН, ОТРАБОТАВШИХ СВОЙ РЕСУРС

А.М. Воробьев, В.И. Моисеев, Т.А. Комарова, О.А. Комарова

Аннотация

В работе рассмотрена инженерная задача, которая подразумевает вторичное использования цистерн, исключенных из инвентаря в качестве облегченных контейнеров для перевозок и длительного хранения низкоактивных отходов атомного производства в забетонированном и забитумированном видах. Проведен расчет мощности дозы гамма – излучения.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, атомная электростанция, контейнер, цистерна, гамма – излучение, мощность дозы, биологическая защита.

1. Введение

С 1964 по 1982 г. в СССР были введены в строй 26 мощных энергоблоков атомных электростанций (АЭС), у которых плановый ресурс работы, составлявший 30 лет, уже истек или истекает в ближайшее время. После аварии на Чернобыльской АЭС было признано, что взорвавшийся реактор РБМК-1000 не соответствует нормам Международного Агентства Атомной Энергетики (МАГАТЭ). Эти реакторы, эксплуатируемые на Ленинградской, Курской и других станциях со временем должны быть демонтированы.

Демонтаж связан с огромными капитальными затратами, вызванными, главным образом, необходимостью утилизации радиоактивных отходов атомного производства. Их основную массу образуют Радиоактивные Отходы Низкой Активности (РОНА), с удельной активностью не более 10^6 Бк/кг. В штатном режиме работы АЭС небольшие количества РОНА образуются при плановых ремонтных операциях (это смывочные растворы, ветошь, отдельные детали оборудования). Их длительное хранение осуществляют в зданиях, находящихся на территории АЭС в специальных контейнерах объемом $1,4\text{ м}^3$ в забетонированном состоянии или в стандартных бочках емкостью 200 литров в забитумированном виде. Стоимость такого контейнера составляет ~ 4000 долл.

При демонтаже энергоблока АЭС количества РОНА значительно возрастают до $10^4 \dots 10^5$ тонн. Этими отходами будут остатки бетонных конструкций, вода из бассейна выдержки кассет с тепловыделяющими элементами, возможно, что и грунт. Согласно требованиям МАГАТЭ после демонтажа атомного объекта должна остаться «зеленая лужайка» - территория без конструкций и сооружений атомного производства на которой активность воздуха, воды и грунта не превышают природный фон. Эти требования ставят ряд серьезных проблем, в том числе и транспортных, связанных с организацией могильника для РОНА и вывозом в него имеющихся контейнеров, а также с разработкой нового типа дешевого облегченного контейнера для РОНА с большим объемом, который легко транспортируется с территории АЭС. Учитывая ожидаемые количества РОНА, можно сделать вывод, что это будут только железнодорожные перевозки.

Применяемые в настоящее время контейнеры для высоко - и среднеактивных отходов представляют сложные и дорогостоящие изделия, гарантирующие биологическую защиту, герметичность при перевозке (даже при возможных авариях транспортных средств), отвод выделяющегося тепла и т.д. Каждый контейнер вмещает всего десятки килограммов отходов, имея при этом стоимость 0,7...1 млн. долл.

Для перевозки РОНА эти контейнеры не целесообразны по характеристикам продукта и совершенно невозможны по себестоимости.

2. Облегченный контейнер для низкоактивных отходов на базе железнодорожной цистерны

Оценим возможность применения исключенных из инвентаря железнодорожных цистерн в качестве облегченных контейнеров для длительного хранения РОНА переведенных в забетонированное или забитумированное состояние.

При этом рассмотрим цистерны, исключенные из инвентаря не столько по техническому состоянию, сколько морально устаревшие по иным, в частности экономическим, причинам.

Так среди морально-устаревших вагонов-цистерн для рассматриваемой цели можно использовать цистерны для транспортировки цемента моделей 15-Ц853 и 15-1405. Для хранения воды из первого контура реактора можно использовать восьмиосные цистерны модели 15 – 871, которые имеют большой объем котла. Параметры цистерн представлены в таблице 1.

Например, в цистерне 15-1405 использовалась низкоэффективная система аэро-пнеumo выгрузки цемента. На внутренних стенках котла со временем эксплуатации цистерны образовался трудноудаляемый слой затвердевшего цемента. Более 1500 цистерн этой модели

эксплуатировались до тех пор, пока толщина затвердевшего слоя не достигла в среднем 0,5 м, полезный объем котла уменьшился с 62 м³ до 40...45 м³, а его масса возросла с исходных 10,3 тонны до 18...20 тонн.

ТАБЛИЦА 1. Цистерны, перспективные для длительного хранения радиоактивных отходов низкой активности

Модель, год постановки на серийное производство	Грузоподъ- емность, т	Диаметр котла внутренний, мм	Объем котла, м ³	Длина, мм	Масса тары вагона, т
15-871 (1974)	120	3000	140	20226	48,8
15-Ц853 (1961)	58	2800	61,17	10300	25,3
15-1405 (1968)	61	2800	62	10300	24,3

После этого цистерны были изъяты из оборота, но не списаны, т.к. стоимость очистки котла превысила стоимость цистерны как металлолома. В настоящее время они простаивают, занимая полезные площади в тупиках, на железных дорогах России.

Использование котлов этих цистерн для длительного хранения РОНА перспективно потому, что слой затвердевших остатков цемента уже обеспечивает необходимую биологическую защиту от ионизирующих излучений с энергией $E = 1,56...0,76$ Мэв почти в 50...200 раз.

Рационально можно использовать и котлы цистерн с остатками затвердевших наливных грузов, например, мазутов и битумов, исключенных из инвентаря по упомянутой причине - трудности очистки котла, т.к. применяется практика хранения РОНА именно в забитумированном состоянии.

У восьмиосной цистерны 15-871 с объемом котла 140 м³ иногда возникает дефект, связанный со смещением центра тяжести конструкции. Такие цистерны исключаются из инвентаря, котлы отправляются на переплавку, в то время как они могут использоваться для хранения РОНА.

Свободный объем цистерны 15-1405 (40...45 м³) равен объему ~ 30 стандартных контейнеров для захоронения РОНА, суммарная стоимость которых составляет 130 тыс. долл. Это рыночная стоимость изготовления пяти – шести новых котлов для цистерн или стоимость двух новых вагонов – цистерн. После снятия котла железной дороге возвращаются оставшиеся части вагона: рама, тележки, колесные пары и др., которые могут использоваться при ремонте цистерн. Дополнительно освобождаются полезные площади на подъездных путях.

Необходимыми дополнительными работами являются: обследование состояния вагона, контроль толщины затвердевшего слоя из остатков транспортируемых грузов, демонтаж отдельных элементов, например, системы аэро–пневмно выгрузки (и заделка образовавшихся отверстий), снятие котла с рамы (подъемным краном грузоподъемностью 100 тонн), глухая заделка сваркой наливного люка и др.

Одна цистерна с объемом котла $40...60\text{м}^3$ может обеспечивать длительное хранение 10...15 тонн РОНА (остальным является наполнитель – бетон или битум). При этом, например, с помощью упомянутых 1500 цистерн модели 15-1405 можно обеспечить длительное хранение (захоронение) 20 тыс. тонн РОНА с суммарной активностью до 10^{17} Бк. Практически все РОНА, образующиеся при демонтаже первых пяти демонтируемых АЭС могут быть захоронены в котлах цистерн устаревших моделей, которые изымаются из эксплуатации.

Для решения поставленной задачи направленной на применение железнодорожных цистерн, изъятых из оборота для длительного хранения РОНА необходимо, прежде всего, оценить радиационную опасность, которую представляет гамма – излучение отходов.

3. Расчет мощности дозы от излучения радиоактивных отходов находящихся в железнодорожной цистерне в забетонированном (забитумированном) состоянии

Мощность дозы гамма-излучения от цистерны, содержащей РОНА (которая ниже будет называться источником) определяется удельной активностью среды q Бк/кг, самопоглощением в источнике и энергией гамма лучей E Мэв. Источник имеет радиус $R = 1,5\text{м}$ и длину $h = 10\text{м}$. Мощность дозы P рассчитывается в точке A на расстоянии b от оси цистерны. Считаем, что РОНА равномерно распределены по всему объему цистерны, а энергия гамма-лучей определяется интегральной (конкурирующей) линией $E = 1,56$ Мэв. Излучение с такой энергией характерно для изотопов, образующих продукты деления урана – 235. Схема к расчету мощности дозы P из цилиндрического источника показана на рис. 1. При расчете считаем, что цистерна специальной биологической защиты не имеет.

Мощность дозы гамма-излучения в радиальном направлении определяется формулой:

$$P = \rho q h K_{\gamma} \left[1 + \ln \frac{h^2 + R^2 - b^2 + h^4 + 2h \sqrt{h^2 + R^2} + \sqrt{h^2 - R^2}}{2h^2} - \frac{b - R}{h} F(\varphi, k) - \frac{b + R}{h} \left[\operatorname{tg} \varphi \sqrt{1 - k^2 \sin^2 \varphi} - E(\varphi, k) \right] \right], \quad (1)$$

где ρ – плотность среды, кг/м³ (у бетона $\rho = 2300$ кг/м³, у битума $\rho = 1200$ кг/м³); $K_\gamma = 3,55 \frac{\text{Р} \cdot \text{см}^2}{\text{ч} \cdot \text{мКюри}}$, гамма – постоянная изотопа цезий – 137 –

наиболее долгоживущего гамма – излучателя в спектре изотопов деления урана – 235; $F(\varphi, k)$, $E(\varphi, k)$ – эллиптические интегралы первого и второго рода соответственно, а k и φ – модуль и амплитуда этих интегралов, определяемые выражениями:

$$k = h/R ; \quad \varphi = \arctg \frac{h}{b-R} ; \quad (2)$$

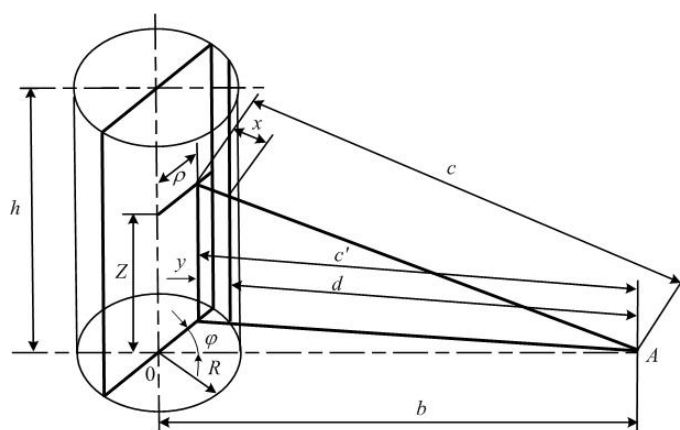


Рис.1. К расчету мощности дозы гамма-излучения радиоактивных отходов, находящихся в цистерне

Все величины показаны на рис.1. Две величины считаем постоянными: $k = \frac{h}{R} = \frac{10}{1,5} \approx 7$; $q = 3 \cdot 10^5$ Бк/кг $\approx 10^{-4}$ мКюри/см³. (Считалось, что 30% объема среды приходится на РОНА, а 60% на наполнитель – бетон или битум).

Соотношение (1) обычно переписывается в виде:

$$P = 2K_\gamma q R G_1(\varphi/R; b/R), \quad (3)$$

где функция G_1 называемая функцией ослабления (или интегралом Кинга) имеет значения представленные в таблице 2 для параметра $k = 7$ и различных значениях безразмерного расстояния $p = b/R$.

Эта функция зависит от коэффициента ослабления μ гамма-излучения в материале источника. Для бетона и битума значения коэффициентов ослабления μ и $\mu \cdot R$ представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 2. Функция ослабления $G_1 \left[\frac{a}{R}, \frac{b}{R} \right]$ цилиндрического источника, излучаемого в радиальном направлении (для $k = 7$)

$p = b/R$	$\mu \cdot R$			
	8	10	15	25
5	0,2	0,15	0,0135	0,0017
10	0,07	0,06	0,004	0,0002
20	0,002	0,0015	0,001	0,0001

ТАБЛИЦА 3. Коэффициенты ослабления гамма – излучения в битуме и бетоне для основных энергетических линий в спектре продуктов деления U-235

Энергия гамма-квантов $E(\text{МэВ})$	$\mu, 1/\text{см}$		$\mu \cdot R$	
	битум	бетон	битум	бетон
0,76	0,0815	0,16	12,225	24,0
1,56	0,0565	0,115	8,475	17,25

Примечание: $R=150\text{см}$ – радиус стандартной цистерны.

Из таблицы 2 видно, что важным моментом, определяющим, перспективность хранения РОНА в железнодорожных цистернах в забетонированном или забитумированном состоянии является большой габарит цистерны, обуславливающий значительное самопоглощение излучения в самом источнике (цистерне).

ТАБЛИЦА 4. Мощность дозы P гамма – излучения (Р/ч) от радиоактивных отходов на различных расстояниях от оси цистерны

Расстояние от оси цистерны, м	Забитумированные РОНА	Забетонированные РОНА
7,5	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$2,15 \cdot 10^{-3}$
15	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$8,6 \cdot 10^{-4}$
30	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$

На основании данных представленных в таблице 2 и с использованием формулы (3) были рассчитаны мощности дозы гамма-излучения от забитумированных и забетонированных РОНА, находящихся в стандартной цистерне на различных расстояниях от ее оси. Полученные результаты представлены в таблице 4. Из них видно, что предельная мощность экспозиционной дозы $P_{\text{пред}} = 0,28 \text{ Р/ч}$, введенная Санитарными Нормами для необслуживаемых помещений полностью выдерживается с большим запасом для всех рассмотренных вариантов. Выдерживается даже

норма, введенная для полуобслуживаемых помещений (18 часов пребывания за одну неделю работы), которая равна $P = 28 \cdot 10^{-4}$ Р/ч.

4. Заключение

Была выполнена оценка возможности длительного хранения радиоактивных отходов атомного производства с низкой активностью в забитумированном и забетонированном состояниях в котлах железнодорожных цистерн, исключенных из инвентаря. Установлено, что гамма-излучения от этих отходов опасности не представляет.

5. Литература

- Гусев Н.Г., Ковалев Е.Е., Осанов Д.П., В.И. Попов. Защита от излучения протяженных источников. – М., 1961. – с. 287.
- Гусев Н.Г. Защита ионизирующих излучений. Учебное пособие в 2-х томах. – М., Атомиздат, 1969-1973. – с. 471.
- Губенко В.К., (и др.) Цистерны. (Устройство эксплуатация ремонт). Справочное пособие. – М.: «Транспорт» 1990. – с. 151.

УДК 658.382

ПРОБЛЕМЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ В ТЯЖЕЛЫХ, ОСОБО ТЯЖЕЛЫХ, ВРЕДНЫХ И ОСОБО ВРЕДНЫХ УСЛОВИЯХ

Г.К. Зальцман, А.П. Пронин, Е.Л. Рыжова, О.И. Тихомиров

Аннотация

Не существует методик обучения по охране труда лиц, работающих в тяжелых, вредных и опасных условиях труда, которые бы учитывали степень риска при выполнении той или иной трудовой операции. Предложена методика экспертной количественной оценки рисков, базирующаяся на принципах расстановки приоритетов. Рассмотрена возможная схема компьютерной обучающей системы, основанная на разработанной методике.

Ключевые слова: методика обучения, охрана труда; оценка степени риска; обучающая система.

Введение

Повышенная степень риска для жизни и здоровья железнодорожников, работающих во вредных, опасных и тяжелых условиях труда, обусловлена тем, что их рабочие места расположены в

непосредственной близости от движущегося или готового к движению подвижного состава, а также круглосуточной работой в любое время года и при любой погоде.

В настоящее время не существует альтернативных методик обучения безопасности труда. Имеющиеся методики не учитывают степени профессионального риска при выполнении тех или иных работ, так как в них отдельным операциям, выполняемым работниками в процессе трудовой деятельности отводится одинаковое время. Таким образом, наиболее опасные операции оказываются в тени более простых и безопасных (Примерная программа обучения, 2004).

Предлагаемая ниже методика базируется на экспертной оценке рисков, их рангов и весов, что позволяет выявить наиболее опасные операции и тем самым создать эффективную систему обучения, адаптированную к опасности и вредности конкретной работы.

1. Виды работ с тяжелыми, особо тяжелыми, вредными и особо вредными условиями труда.

Прежде чем устанавливать для каждой профессии степень опасности той или иной операции, необходимо четко очертить круг работников, которые находятся в зоне повышенного риска для жизни и здоровья.

В настоящее время на железнодорожном транспорте существует 2 категории декретизированных профессиональных контингентов, подвергающихся профессиональному риску:

1. Работники железнодорожного транспорта, непосредственно связанные с движением поездов:

- обеспечивающие движение поездов;
- осуществляющие профессиональную деятельность в условиях повышенной опасности (работа, связанная с выходом на железнодорожные пути)

2. Работники железнодорожного транспорта, связанные с воздействием опасных и вредных производственных факторов производственной среды.

На железнодорожном транспорте среди профессиональных категорий есть специфические, характерные только для железных дорог – машинисты и помощники машинистов, проводники, сцепщики вагонов, осмотрщики пути, составители поездов и их помощники и др.

Есть профессии, характерные и для других отраслей транспорта: работники станционных промышленных объектов, слесари всех наименований, заливщики, газо- и электросварщики, маляры, аккумуляторщики. Однако, учитывая специфику железнодорожного транспорта эти профессии переходят в разряд профессий, связанных с работой в тяжелых, особо тяжелых, вредных или особо вредных условиях

труда (таблица 1). Их работа не связана с задачами обеспечения безопасности движения поездов, но протекает в условиях потенциальной или реальной опасности воздействия вредных или опасных производственных факторов.

ТАБЛИЦА 1. Профессии и виды работ с тяжелыми, особо тяжелыми, вредными и особо вредными условиями труда

№ п/п	Наименование профессий, связанных с работой в тяжелых, особо тяжелых, вредных или особо вредных условиях труда	Виды работ, к которым предъявляются повышенные требования безопасности труда
1	Кузнецы ручнойковки	Текущий ремонт вагонов
2	Слесари по ремонту подвижного состава	Работы, связанные с ремонтом цистерн из-под этиловой жидкости
3	Электросварщики	Работы по ремонту внутри цистерн
4	Бригадиры, мастера промывочно-пропарочных станций	Осмотр, очистка цистерн, емкостей из-под нефтепродуктов, взрывоопасных и ядовитых веществ
5	Котельщики	Промывка, чистка и ремонт котлов
6	Приемосдатчики груза и багажа	Работы в пунктах по наливу и сливу кислот, щелочей, едких веществ
7	Аккумуляторщики	Ремонтные работы на системах с агрессивными веществами
8	Газорезчики	Разделка железнодорожного подвижного состава в металлолом
9	Маляры	Ремонт и текущее содержание объектов с применением вредных веществ

2. Количественная оценка степени профессионального риска

Базируясь на данных таблице 1 для каждой профессии можно составить перечень наиболее опасных операций с целью распределения времени обучения безопасности по каждой из них.

Но для того, чтобы рассчитать время на обучения безопасности при выполнении той или иной операции, необходимо знать весовой вклад степени риска данной операции в общую степень риска всей работы. Для этого необходима экспертная оценка, которая крайне затруднена скудостью и неполнотой статистических данных. Предлагаемая ниже методика позволяет существенно упростить задачи экспертов и заменить оценку степени риска расстановкой операций в ранжированном ряду от наиболее опасной к самой безопасной.

Необходимо установить аналитическую связь между степенью риска операции и номером, который она занимает в ранжированной последовательности. Для этого представим, что существует некая

нормирующая функция $\varphi(i)$, удовлетворяющая общей системе граничных условий.

Для определения функции $\varphi(i)$ имеются следующие условия достаточной общности:

$$\left. \begin{aligned} \varphi(i) &= 1, \text{ где } i = 1; \\ \varphi(i) &= 0, \text{ где } i \rightarrow \infty; \\ \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{\varphi(i+1)}{\varphi(i)} &< \rho < 1, \text{ где } i \rightarrow \infty; \\ |\varphi(i)| &> |\varphi(i+1)|, \text{ где } 1 \leq i < \infty; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Первое из этих условий означает, что в ранжированной последовательности степень риска первой операции равна 1.

Второе условие означает, что при безграничном числе операций степень риска последней равна 0.

Третье условие означает сходимость числового ряда, в противном случае операция суммирования степеней риска не имела бы смысла.

Эти три условия определяют нормировочную функцию как:

$$\varphi(i) = \frac{1}{a^{i-1}}; \quad i \neq 0 \quad (2)$$

Выражение (2) удовлетворяет первым трем условиям, т.к. при $i = 1$ степень риска первой операции $\varphi(i) = 1$, а при $i = \infty$ имеем $\varphi(i) = 0$, поскольку существует предел:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} \varphi(i) = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{i}{a^{i-1} \ln a} = 0 \quad (3)$$

Четвертое условие накладывает требование отсутствия экстремума в интервале существования функции $0 \leq \varphi(i) \leq 1$.

Четвертое условие может быть выполнено подбором параметра a , который получается равным 2 (Гмошинский В.Г. и др., 1979). Т.е. нормировочная функция имеет вид:

$$\varphi(i) = \frac{i}{2^{i-1}} \quad (4)$$

В таблице 2 представлена нормировочная функция в относительной форме для $n = 10$ и $n = 5$.

Из таблицы 2 видно, что при числе операций, приближающемся к 10, степень риска операции в общей сумме риска уже менее точности расчетов, поэтому в практической работе следует ограничиваться числом операций не более $6 \div 7$.

ТАБЛИЦА 2. Степень риска операций при различном их количестве

	Номер операции в ранжированном ряду									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Относительная степень риска операции при $n = 10$	0,25	0,25	0,189	0,125	0,078	0,047	0,028	0,016	0,0088	0,0049
Относительная степень риска операции при $n = 5$	0,28	0,28	0,21	0,14	0,09					

3. Принципы построения эффективной обучающей системы

На базе полученных экспертами результатов оценки степени риска необходимо строить обучающую систему, где время на обучение безопасности при выполнении той или иной операции соответствовало бы таблице 2 в процентах от общего времени, отводимого для обучения. Данную методику можно реализовать только с использованием компьютерной системы, где время, отводимое на обучение, может строго контролироваться.

Принцип построения компьютерной обучающей системы в рамках данной концепции можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1.

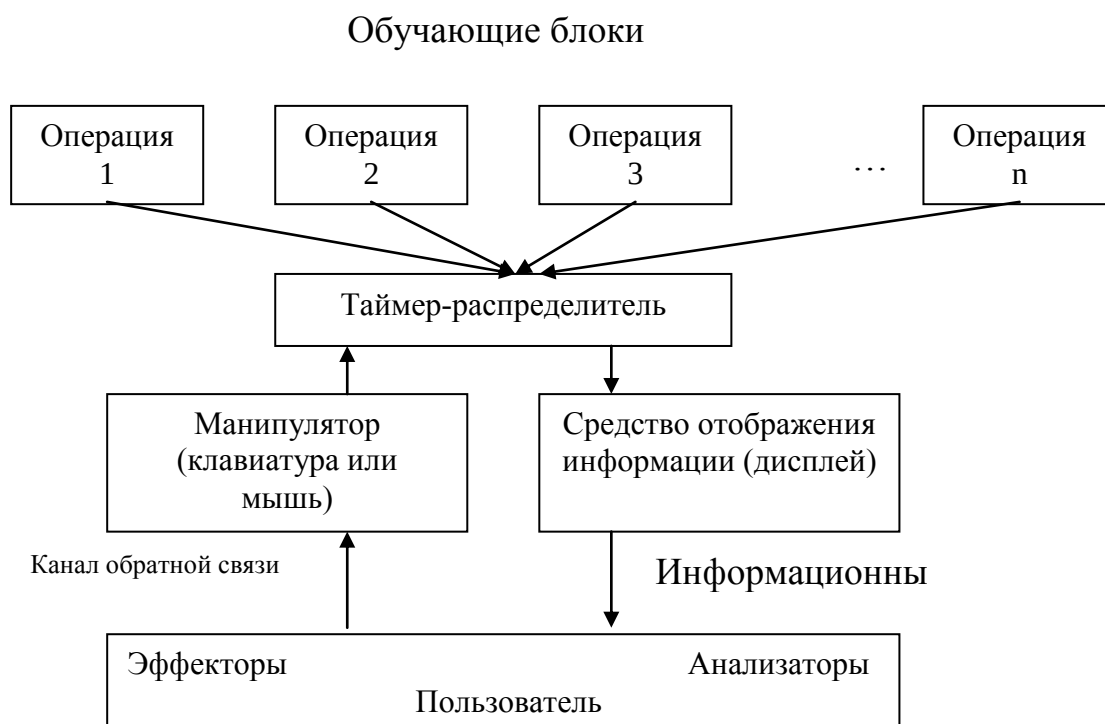


Рис. 1. Примерная схема построения эффективной обучающей системы

Обязательным условием построения такой системы является использование акустического канала информации в соотношении к визуальному 1:9, что соответствует реально получаемому человеком объему информации о внешнем мире. Звуковая информация имеет зачастую преимущество перед визуальной, если от человека требуется немедленная реакция на события, а это, как раз, характерно для случаев возникновения опасных ситуаций при выполнении тех или иных видов работ.

4. Заключение

Таким образом, предложенная методика оценки рисков может использоваться для построения эффективной обучающей системы, учитывающей реальную степень опасности выполняемых работником операций.

5. Литература

- Примерная программа обучения по охране труда работников организаций. Утверждена первым замминистра труда и социального развития РФ 17.05.2004. – СПб.: Изд. ЦОТПБСП. 2004.
- Гмошинский В.Г., Флиорент Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. – М.: Наука, 1979.

УДК 658.264

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ ТЕПЛОТЫ В СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

И.Г. Киселев, О.Л. Попова

Аннотация

Применяемые в зарубежных системах теплоснабжения аккумуляторы теплоты позволяют сохранить значительное количество топливных ресурсов и эффективно использовать электрическую энергию. В статье рассматриваются возможности и целесообразность применения аккумуляторов теплоты на отечественном железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: стационарная теплоэнергетика; аккумулятор теплоты

Введение

Существенный рост цен на топливо и электроэнергию, отмечаемый в последнее время, требует пересмотра технологий энергопотребления. Железнодорожный транспорт является крупным потребителем всех видов топливно-энергетических ресурсов. В процессе потребления происходит постоянное загрязнение окружающей среды.

Повышение эффективности потребления энергии возможно за счет снижения энергоемкости используемых технологий, применения альтернативных энергетических ресурсов, выравнивания временных несоответствий между производимой энергией и потребностями в ней посредством ее аккумулирования и т.д.

В Западной Европе, США, Японии в стационарной энергетике и на транспорте стали применяться энерготехнологии с использованием аккумуляторов теплоты. В России эти устройства нашли применение в авиационной и космической технике, на морском и речном транспорте, в автотранспортной технике, на тепловых электростанциях и в радиоэлектронной технике (Куколев М.И., 2001). В статье рассматриваются возможности применения аккумуляторов теплоты на объектах стационарной теплоэнергетики железнодорожного транспорта.

1. Структура потребления топливно-энергетических ресурсов нетяговыми потребителями

К основным нетяговым потребителям топливно-энергетических ресурсов на железнодорожном транспорте относятся станции, депо, мастерские, аппаратура автоблокировки.

На долю нетяговых потребителей приходится около 62% от всего объема потребления котельно-печного топлива и около 18% от общего количества потребляемой электроэнергии на железнодорожном транспорте.

Основным способом получения тепловой энергии на железнодорожном транспорте остается традиционный – путем сжигания топлива. При этом происходит загрязнение атмосферного воздуха. Выбросы стационарной теплоэнергетики составляют 53,4% от общего количества выбросов на железнодорожном транспорте.

В настоящее время на сети железных дорог России эксплуатируются 6557 котельных, из которых 67% в качестве основного топлива используют уголь. На рис.1 представлена структура потребления топлива на нужды теплоснабжения на железнодорожном транспорте.

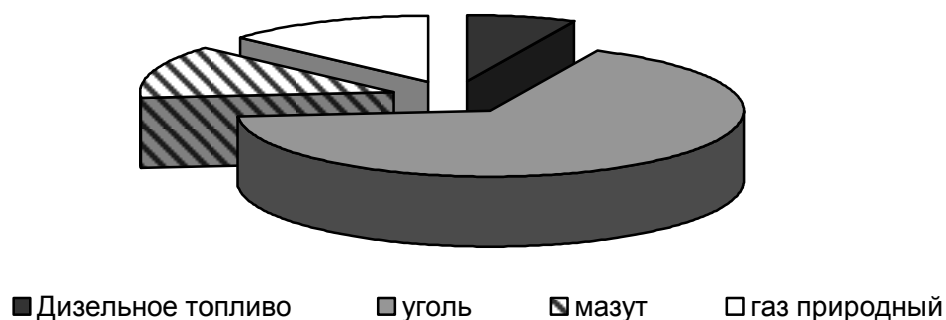


Рис.1. Доли потребления основных видов топлива на нужды теплоснабжения, %

Рост цен на энергоносители значительно опережает снижение их фактического потребления.

В целях сокращения затрат на ТЭР предлагается в стационарной теплоэнергетике железнодорожного транспорта заменить традиционный способ получения тепловой энергии на новый – путем использования тепловых аккумуляторов.

2. Характеристики тепловых аккумуляторов

Тепловой аккумулятор (теплонакопитель) представляет собой устройство, обеспечивающее обратимые процессы накопления, хранения и выработки тепловой энергии. В этих устройствах может быть реализовано прямое аккумулирование теплоты. В таком случае теплоаккумулирующий материал (ТАМ) является одновременно и теплоносителем. При косвенном аккумулировании теплоаккумулирующие и теплопередающие среды различны. Накопление тепловой энергии в аккумуляторе может происходить с повышением температуры ТАМ, а также в процессе фазовых превращений: «твердое тело-жидкость» или «жидкость-пар». В этом случае температуры ТАМ не изменяется. Тепловые аккумуляторы классифицируют по различным параметрам: по способу накопления тепловой энергии, по теплоаккумулирующей и теплообменной среде, массе, объему, давлению в аккумуляторе и другими способами (Левенберг В.Д. и др., 1991).

Использование электрической энергии для накопления теплоты нашло применение в системах энерготеплоснабжения зданий. ТАМ (огнеупорный кирпич) нагревается в периоды минимального потребления электроэнергии. Обогрев помещений происходит воздухом, который нагревается при прохождении через матрицу, образующую ТАМ (рис.2).

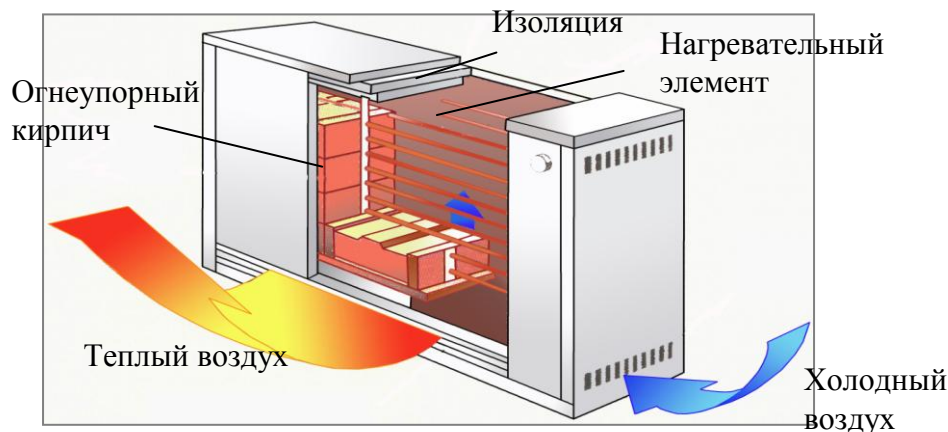


Рис. 2. Теплоаккумулятор с твердым теплоаккумулирующим материалом

Тепловые аккумуляторы с плавящимся ТАМ обеспечивают высокую плотность запасаемой энергии и стабильную температуру нагреваемой среды при выходе из них. Большинство высокотемпературных ТАМ в расплавленном состоянии являются коррозионно-активными веществами и изменяют объем при плавлении.

Технические характеристики тяговых аккумуляторов представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики тепловых аккумуляторов

Наименование параметра	Значение для модели	
	ЭТ-0,5 до ЭТ-3	ЭТ-3,1 до ЭТ-7
1	2	3
Номинальное напряжение, В	220	380
Номинальная частота, Гц	50	
Потребляемая мощность, кВт	0,5-3,0	3,1-7,0
Отдаваемая мощность, кВт	0,22-1,15	1,2-3,0
Время зарядки, ч	8	
Рабочий цикл, ч	24	
Габаритные размеры, мм		
Длина	550-1505	1235-1825
Ширина	260-305	260-305
Высота	465-705	585-1065

Наименование параметра	Значение для модели	
	ЭТ-0,5 до ЭТ-3	ЭТ-3,1 до ЭТ-7
Класс защиты от поражения электрическим током	1	
Элементы теплоаккумулирующие, шт.	6-27	27-60
Масса теплового аккумулятора в сборке, кг	50-127	127-380

Необходимая тепловая мощность обеспечивается установкой батарей теплонакопителей.

Недостатки использования тепловых аккумуляторов:

- высокая стоимость потребляемой электроэнергии
- низкая единичная производительность
- низкий коэффициент использования теплоты

Основные преимущества использования теплового аккумулятора по сравнению с традиционными способами получения тепловой энергии следующие:

- специфика эксплуатации позволяет получить значительный экономический эффект при использовании ночного тарифа на электроэнергию;
- полная автоматизация, отсутствие необходимости постоянного присутствия обслуживающего персонала;
- отсутствие прямого процесса сжигания топлива;
- отсутствие выбросов загрязняющих веществ;
- низкий уровень шума при работе;
- не требуется увеличение санитарно-защитной зоны предприятия.

Для использования в качестве источника теплоснабжения малых объектов стационарной теплоэнергетики железнодорожного транспорта предлагаются тепловые аккумуляторы с твердым ТАМ отечественного производства. Данные теплонакопители выполняются на базе твердого теплоаккумулирующего материала – природного камня талькохлорита. Тепловые аккумуляторы работают в режиме зарядки-накопления тепловой энергии в течение 8 часов, что обуславливает экономическую эффективность проведения этого процесса ночью, во время действия более дешевого тарифа на электроэнергию.

Необходимая температура воздуха в помещении задается выносным регулятором температуры, уровень зарядки устанавливается в зависимости от наружных метеорологических условий.

3. Характеристика объекта внедрения

Угольные котельные широко применяются в стационарной теплоэнергетике железнодорожного транспорта.

Большинство угольных котельных, находящихся в эксплуатации построены в конце 60-х гг. прошлого века. Котельные не автоматизированы и эксплуатируются с ручной подачей топлива.

При сжигании угольного топлива в атмосферный воздух поступают следующие загрязняющие вещества: оксиды азота, оксид углерода, бенз(а)пирен, диоксид серы, сажа и угольная зола. При эксплуатации угольной котельной образуются шлак и зола каменноугольная в качестве отходов производства.

Как правило, такие котельные имеют протяженные тепловые сети.

Для замены источника теплоснабжения на базе твердых ТАМ выбрана котельная, предназначенная для отопления помещений.

4. Расчет капитальных и годовых эксплуатационных затрат по каждому из конкурирующих вариантов источников теплоты

Исходные данные для расчета:

1. Расчетная тепловая нагрузка на отопление: $Q_o = 200 \text{ кВт} = 0,17 \text{ Гкал/ч}$

$$Q_o^{\text{год}} = 0,17 \cdot \frac{18 - (-1,8)}{18 - (-26)} \cdot 24 \cdot 220 = 403,92 \text{ Гкал/год}$$

2. Длительность отопительного сезона: $n_o = 220$ дней
3. Основное оборудование по первому варианту - котлы типа «Универсал», 1964 года выпуска.
4. Основное оборудование по второму варианту - аккумуляторы тепловой энергии производства ООО «Онежская промышленная компания».
5. Тарифы на электрическую энергию (включая НДС):
 - ночной (23.00-7.00) $\Pi_{\text{эн}} = 0,6018 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$
 - дневной (7.00-23.00) $\Pi_{\text{эд}} = 1,4278 \text{ руб./кВт}\cdot\text{ч}$

Расчет выполнялся при следующих допущениях:

- не учитывались изменения цен на топливно-энергетические ресурсы и действующих тарифов
- капитальные вложения являются единовременными

4.1. Оценка капитальных и эксплуатационных затрат на выработку тепловой энергии угольной котельной.

Оценка выполнялась по фактическим данным, полученным по вокзальной котельной ст.Александровская Ленинградской области.

Год постройки котельной – 1964 г.

ТАБЛИЦА 2. Годовые эксплуатационные расходы угольной котельной мощностью 200 кВт, тыс.руб.:

Фонд оплаты труда	Социальное страхование	Топливо	Электрическая энергия	Амортизация	Итого
120,9	47,4	68,2	4,15	145,5*	386,15

*В значение амортизационных отчислений по котельной заложена сумма, выраженная в ценах 2004 года.

Основными составляющими в структуре эксплуатационных расходов угольной котельной является фонд заработной платы

Годовые эксплуатационные затраты по данному варианту равны:

$$C_{\Sigma 1} = 120,9 + 47,4 + 68,2 + 4,15 + 145,5 = 386,15 \text{ тыс.руб.}$$

Себестоимость 1 Гкал теплоты составит:

$$C_1 = C_{\Sigma 1} / Q_o^{\text{год}} \cdot 10^3 = 386,15 / 403,92 \cdot 10^3 = 956 \text{ руб./Гкал}$$

Также получены данные по котельным мощностью 250 кВт, 125 кВт и менее мощным, эксплуатирующимся на Октябрьской железной дороге, Санкт-Петербургском узле. Полученные сведения представлены на рис.4.

4.2. Расчет капитальных и эксплуатационных затрат на выработку тепловой энергии тепловыми аккумуляторами

Капитальные вложения по данному варианту составляют:

$$K = K_{об} + K_{м} = K_{об} + 0,12K_{об} = 1,12K_{об} = 1,12 \cdot K_{a1} \cdot n, \text{ тыс.руб}$$

где:

$K_{об}$ – стоимость устанавливаемого оборудования, тыс.руб.

$K_{м}$ – стоимость монтажа оборудования, принимается 12% от стоимости оборудования, тыс.руб.

K_{a1} – стоимость 1 теплового аккумулятора, тыс.руб.

n – количество тепловых аккумуляторов.

$$K = 1,12 \cdot 22,5 \cdot 100 = 2\,520 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые эксплуатационные затраты будут равны:

$$C_{\Sigma 2} = C_{э2} + C_{p2} + C_{mo2} + C_{a2} + C_{зп}, \text{ тыс.руб.}$$

где:

$C_{э2}$ – годовые эксплуатационные затраты, связанные с потреблением электрической энергии, тыс.руб.

$$C_{э2} = N_{э.та} \cdot \Pi_{эн} \cdot 8 \cdot n_o = 500 \cdot 0,6018 \cdot 8 \cdot 220 = 529,58 \text{ тыс.руб.}$$

где:

$N_{э.та}$ – потребляемая электрическая мощность всех тепловых аккумуляторов, кВт

$$N_{э.та} = N_{э.та1} \cdot n = 5 \cdot 100 = 500 \text{ кВт}$$

$N_{э.та1}$ – потребляемая электрическая мощность одного теплового аккумулятора, кВт

C_{p2} и C_{mo2} – затраты, связанные с ремонтом и техническим обслуживанием источников теплоснабжения, приняты в размере 1% от суммарных капитальных затрат, тыс.руб.

$$C_{p2} + C_{mo2} = 0,01 \cdot K = 0,01 \cdot 2520 = 25,2 \text{ тыс.руб}$$

C_{a2} – амортизационные отчисления, тыс.руб.

$$C_{a2} = K / T = 2520 / 20 = 126 \text{ тыс.руб}$$

где T – срок службы оборудования, 20 лет;

$C_{зп}$ – годовой фонд заработной платы ремонтного персонала, включая социальное страхование, тыс.руб.

Принят в размере 42,1 тыс.руб.

Годовые эксплуатационные затраты по данному варианту равны:

$$C_{\Sigma 2} = 529,58 + 25,2 + 126 + 42,1 = 722,88 \text{ тыс.руб.}$$

Себестоимость 1 Гкал теплоты составит:

$$C_2 = C_{\Sigma 2} / Q_o^{\text{год}} \cdot 10^3 = 722,88 / 403,92 \cdot 10^3 = 1789,7 \text{ руб./Гкал}$$

Аналогичным образом был выполнен расчет для объектов меньшей тепловой мощности. Результаты расчета представлены на рис.4 – график «Тепловые аккумуляторы, вариант А».

Основную долю затрат в эксплуатационных расходах в данном варианте составляют затраты на электроэнергию, технические особенности тепловых аккумуляторов позволяют использовать их в режиме потребления электроэнергии только в ночное время, когда тарифная ставка минимальна. Поэтому расчет был произведен по ночному тарифу, действующему в данном регионе. На графике «Тепловые аккумуляторы вариант Б» показан рост эксплуатационных расходов при использовании в расчете дневного тарифа на электроэнергию.

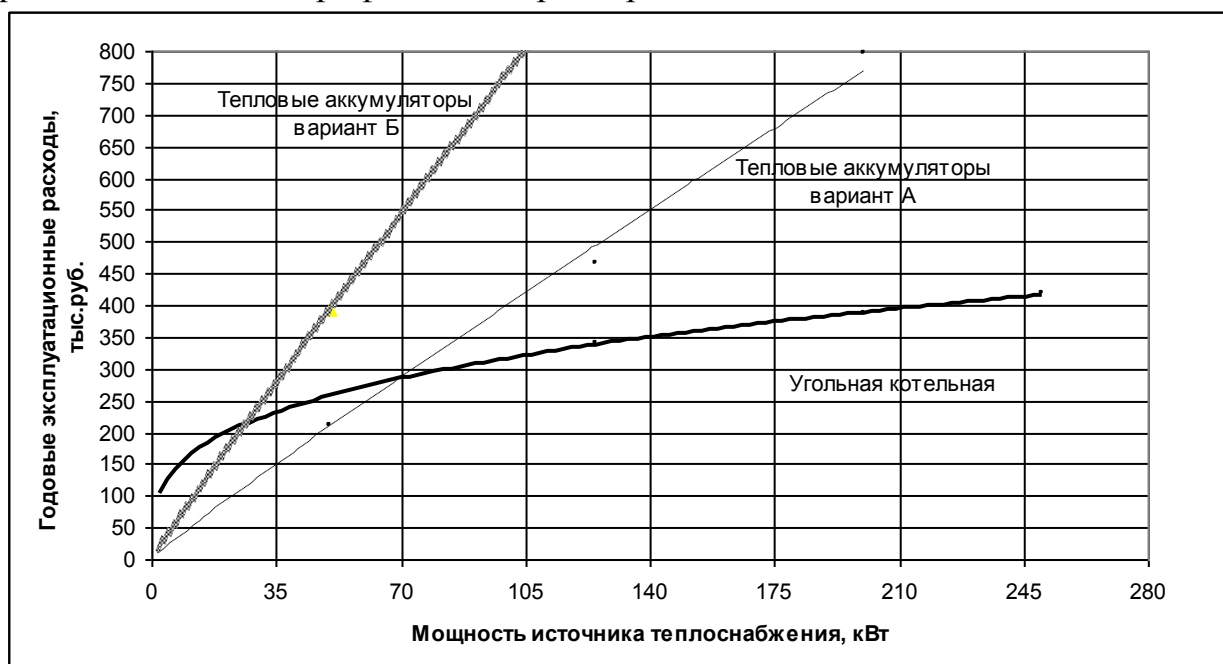


Рис.4 График зависимости эксплуатационных затрат на выработку тепловой энергии по каждому из вариантов

В случае нормальной теплоизоляции условным расчетным коэффициентом определения тепловой энергии для отопления помещения принимается величина, равная 53 Вт на м^2 . Из рис. 4 видно, что для Ленинградской области эксплуатационные расходы источника теплоснабжения меньше при использовании аккумуляторов теплоты при мощности источника теплоснабжения до 70 кВт. Такой мощности достаточно для отопления помещений суммарной площадью до 1320,8 м^2 .

На рис. 5 представлен график, на котором показана зависимость рекомендуемой мощности источника теплоснабжения на базе тепловых аккумуляторов от величины ночных тарифов на электроэнергию.

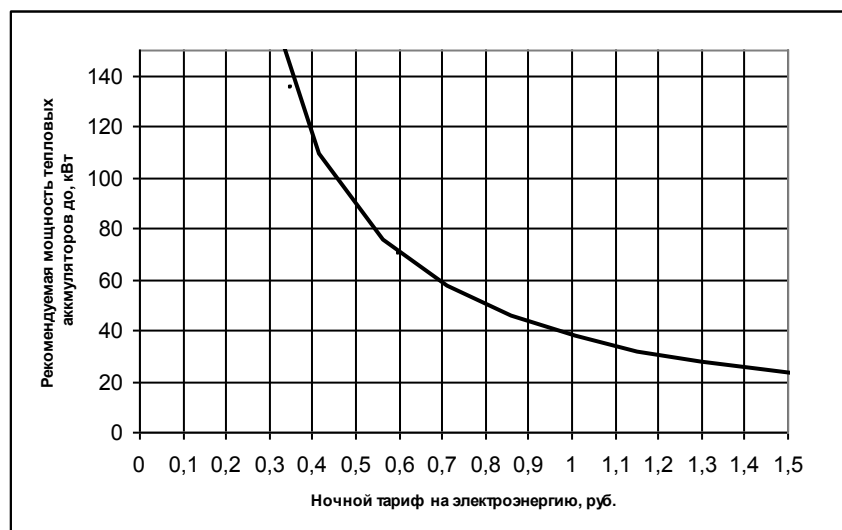


Рис. 5 Зависимость экономически эффективной мощности тепловых аккумуляторов от ночного тарифа на электроэнергию.

5. Заключение

1. Расчеты показали, что использование тепловых аккумуляторов в стационарной теплоэнергетике выгодно в случае низкого тарифа на электрическую энергию в ночное время. Конкретная мощность по замене котельной определяется расчетным путем для каждого региона. Так, для Ленинградской области она составляет 70 кВт. Получена такая оценка для объектов Московского региона – 135кВт.
2. Эффективность использования тепловых аккумуляторов можно повысить путем изменения коэффициента полезного использования теплоты аккумулятора, по предварительным расчетам эта величина может быть увеличена на 20-25%.

6. Литература

- Куколев М.И. Основы проектирования тепловых накопителей энергии. – Петрозаводск: Из-во Петрозаводского Гос.Университета., 2001.
- Левенберг В.Д., Ткач М.Р., Гольстрем В.А. Аккумулирование тепла. – Киев: Тэхника. 1991.
- Киселев И.Г. Способы и устройства для экономии топлива на железнодорожном транспорте. – СПб: ЛИИЖТ.1991.
- Кистьянц Л.К., Юдаева Е.М. Экономия топлива на предприятиях железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1984.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

- Ковалев Валерий Иванович** - доктор технических наук, профессор, ректор университета
- Аникевич Елена Александровна** - ассистент кафедры «Информатика и информационная безопасность», конт. телефон 168-80-97
- Бардышев Олег Андреевич** - доктор военных наук, профессор кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Беленцов Юрий Алексеевич** - кандидат технических наук, ассистент кафедры «Строительные материалы и технологии», конт. телефон 168-83-07
- Бенин Андрей Владимирович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Прочность материалов и конструкций», конт. телефон 168-82-21
- Бестужева Алла Николаевна** - кандидат физико-математических наук кафедры «Прикладная математика», конт. телефон 168-87-73
- Богдан Антон Анатольевич** - аспирант кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Богданов Геннадий Иванович** - кандидат технических наук, профессор кафедры «Мосты», конт. телефон 168-81-71
- Бодунов Евгений Николаевич** - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физика», конт. телефон 168-82-68
- Бурков Анатолий Трофимович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение железных дорог», конт. телефон 168-83-16
- Буянов Александр Борисович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 168-85-37

- Василенко Михаил Николаевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», конт. телефон 168-85-79
- Ватулин Ян Семенович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Волчанинов Валерий Васильевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика», конт. телефон 168-85-25
- Воробьев Алексей Минаевич** - доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Физика», конт. телефон 168-82-68
- Гарамов Олег Витальевич** - аспирант кафедры «Мосты», конт. телефон 168-81-71
- Гарбарук Виктор Владимирович** - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Высшая математика», конт. телефон 168-81-77, 55-250
- Герасименко Петр Васильевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72, 52-094
- Григорьева Ольга Викторовна** - ассистент кафедры «Инженерная экология», конт. телефон 168-81-28
- Дегтярев Валентин Григорьевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72, 52-094
- Доев Виталий Семенович** - доцент кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 168-82-49
- Доронин Феликс Александрович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 168-82-49
- Дудкин Евгений Павлович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленный и городской транспорт», конт. телефон 168-88-32, 168-86-95

- Евстафьев Андрей Михайлович** - аспирант кафедры «Электрическая тяга»,
конт. телефон 168-85-36
- Егоров Владимир Викторович** - кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные
конструкции»,
конт. телефон 168-81-22
- Елизаров Сергей Вадимович** - доктор технических наук, профессор,
проректор по экономической работе,
заведующий кафедрой «Прочность
материалов и конструкций»,
конт. телефон 310-21-86, 168-81-13
- Елисеев Сергей Юрьевич** - кандидат технических наук, заместитель
руководителя Департамента управления
перевозками ОАО «РЖД»,
конт. телефон ж/д 2-85-77, факс 2-89-95
- Еремеев Михаил Алексеевич** - доктор технических наук, профессор
кафедры «Информатика и
информационная безопасность»,
конт. телефон 310-34-72
- Ефименко Юрий Иванович** - доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Железнодорож-
ные станции и узлы»,
конт. телефон 168-83-17
- Жигалко Евгений Фаддеевич** - доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой
«Прикладная математика»,
конт. телефон 168-87-73
- Жинкин Антон Андреевич** - аспирант кафедры «Мосты»,
конт. телефон 168-81-71
- Зальцман Геннадий Константинович** - кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Охрана труда т
промышленная безопасность»,
конт. телефон 168-84-59
- Иванов Игорь Александрович** - доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология металлов»,
конт. телефон 168-81-73
- Иващенко Валерий Олегович** - кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электрическая тяга»,
конт. телефон 168-85-36, 52-057

- Изварин Михаил Юрьевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Индейкин Андрей Викторович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика», конт. телефон 168-82-49
- Киселев Игорь Георгиевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 168-85-37
- Ковтун Алексей Владимирович** - кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Коклева Наталья Евгеньевна** - старший преподаватель кафедры «Менеджмент и маркетинг», конт. телефон 315-05-22, 52-061
- Кокшаров Юрий Алексеевич** - аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой», конт. телефон 168-85-25
- Колодкин Олег Владимирович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Комарова Ольга Александровна** - кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Физика», конт. телефон 168-82-68
- Комарова Татьяна Александровна** - кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Физика», конт. телефон 168-82-68
- Комохов Павел Григорьевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные материалы и технологии», конт. телефон 168-83-07
- Кононов Дмитрий Павлович** - ассистент кафедры «Технология металлов», конт. телефон 168-83-92
- Корнев Александр Сергеевич** - доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36

- Корниенко Анатолий Адамович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика и информационная безопасность», конт. телефон 310-34-72
- Коровин Сергей Константинович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Костроминов Александр Александрович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72
- Костроминов Александр Михайлович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Электрическая связь», конт. телефон 168-84-50
- Коугия Вилио-Ристо Александрович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная геодезия», конт. телефон 168-85-38
- Красковский Александр Евгеньевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Радиотехника», конт. телефон 314-83-53, 168-86-34, 52-039
- Кручек Виктор Александрович** - доктор технических наук, профессор, ученый секретарь университета, конт. телефон 319-44-61, 168-84-89
- Кудрявцев Владимир Александрович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой», конт. телефон 168-85-25
- Кухаренко Лидия Александровна** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72, 52-094
- Лапинскас Арунас Альгиевич** - доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономическая теория», конт. телефон 168-81-23
- Левадная Наталья Викторовна** - ассистент кафедры «Промышленный и городской транспорт», конт. телефон 168-89-72, 168-81-12
- Левитский Олег Константинович** - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36

- Лыков Андрей Александрович** - заведующий лабораторией кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», конт. телефон 168-85-79
- Лысов Николай Владимирович** - аспирант кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Мазнев Александр Сергеевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Маликов Олег Борисович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Логистика и коммерческая работа», конт. телефон 168-80-94
- Марикин Александр Николаевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение железных дорог», конт. телефон 168-83-16
- Моисеев Владимир Иванович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика», конт. телефон 168-82-68
- Мокейчев Евгений Юрьевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», конт. телефон 168-85-25
- Никитин Виктор Валерьевич** - доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электротехника», конт. телефон 168-83-98
- Никифорова Гузель Ислямовна** - аспирант кафедры «Логистика и коммерческая работа», конт. телефон 168-80-94
- Огородников Владимир Петрович** - доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой «Философия», конт. телефон 168-85-29
- Осьминин Александр Трофимович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление эксплуатационной работой», конт. телефон 168-89-92, 168-85-25
- Павлов Дмитрий Леонидович** - аспирант кафедры «Электрическая связь», конт. телефон 168-84-90
- Павлов Леонид Николаевич** - доктор технических наук, профессор, начальник Научно-исследовательской части, конт. телефон 310-31-28, 168-80-19

- Панин Александр Васильевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инженерная экология», конт. телефон 168-81-28
- Попов Анатолий Петрович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Попов Валерий Анатольевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Попов Дмитрий Евгеньевич** - ассистент кафедры «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Попова Ольга Леонидовна** - аспирант кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 168-85-37
- Пронин Анатолий Павлович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и промышленная безопасность», конт. телефон 168-84-59
- Рыбин Петр Кириллович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и узлы», конт. телефон 168-83-17
- Рыжова Елена Львовна** - аспирант кафедры «Охрана труда и промышленная безопасность», конт. телефон 168-84-59
- Самонин Александр Петрович** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение железных дорог», конт. телефон 168-83-16
- Сапожников Валерий Владимирович** - доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, конт. телефон 168-81-34, 46-791
- Сапожников Владимир Владимирович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», конт. телефон 168-82-92

-
- Светлов Виктор Алексеевич** - доктор философских наук, профессор кафедры «Философия», конт. телефон 168-85-29
- Серода Геннадий Евгеньевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника», конт. телефон 168-83-98
- Сероносов Владимир Владимирович** - аспирант кафедры «Электроснабжение железных дорог», конт. телефон 168-83-16
- Смирнов Владимир Николаевич** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мосты», конт. телефон 168-81-71
- Степанов Сергей Иванович** - старший преподаватель кафедры «Теплотехника и теплосиловые установки», конт. телефон 168-85-37
- Тихомиров Олег Игоревич** - кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и промышленная безопасность», конт. телефон 168-84-59
- Ткаченко Евгений Витальевич** - аспирант кафедры «Электрическая тяга», конт. телефон 168-85-36
- Уралов Виктор Леонидович** - кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные путевые и строительные машины», конт. телефон 168-87-63, 168-83-08
- Урушев Сергей Викторович** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология металлов», конт. телефон 168-81-73
- Фоменко Виктор Николаевич** - доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72
- Ходаковский Валентин Аветикович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика», конт. телефон 168-81-72, 52-094
- Хожаинов Анатолий Иванович** - доктор технических наук, профессор кафедры «Электротехник», конт. телефон 168-83-98
-

- Чандер Олег Константинович** - старший научный сотрудник кафедры «Электрическая тяга»,
конт. телефон 168-85-36
- Шатнев Олег Игоревич** - кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электроснабжение железных
дорог», конт. телефон 168-83-16
- Шварц Михаил Александрович** - кандидат технических наук, доцент
кафедры «Высшая математика»,
конт. телефон 168-81-72, 52-094
- Якушев Алексей Яковлевич** - кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электрическая тяга»,
конт. телефон 168-85-36

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аникевич Е.А.	85	Елизаров С.В.	180
Бардышев О.А.	157	Елисеев С.Ю.	16
Беленцов Ю.А.	174	Еремеев М.А.	85
Бенин А.В.	180	Ефименко Ю.И.	72
Бестужева А.Н.	140	Жигалко Е.Ф.	140
Богдан А.А.	46	Жинкин А.А.	185
Богданов Г.И.	185	Зальцман Г.К.	226
Бодунов Е.Н.	207	Иванов И.А.	66
Бурков А.Т.	124	Иващенко В.О.	46, 51, 119
Буянов А.Б.	129	Изварин М.Ю.	46
Василенко М.Н.	97	Индейкин А.В.	61
Ватулин Я.С.	157, 162	Киселев И.Г.	129, 231
Волчанинов В.В.	19	Ковалев В.И.	7, 16
Воробьев А.М.	219	Ковтун А.В.	119
Гарамов О.В.	171	Коклева Н.Е.	89
Гарбарук В.В.	33, 113	Кокшаров Ю.А.	19
Герасименко П.В.	33	Колодкин О.В.	119
Григорьева О.В.	214	Комарова О.А.	219
Дегтярев В.Г.	16	Комарова Т.А.	219
Доев В.С.	61	Комохов П.Г.	174
Доронин Ф.А.	61	Кононов Д.П.	66
Дудкин Е.П.	89	Корнев А.С.	51, 119
Евстафьев А.М.	55	Корниенко А.А.	85
Егоров В.В.	191	Коровин С.К.	162

Костроминов А.А.	105	Попов В.А.	157, 162
Костроминов А.М.	105	Попов Д.Е.	157
Коугия В.А.	148	Попова О.Л.	231
Красковский А.Е.	33, 113	Пронин А.П.	226
Кручек В.А.	61	Рыбин П.К.	72
Кудрявцев В.А.	19	Рыжова Е.Л.	226
Кухаренко Л.А.	28	Самонин А.П.	124
Лапинскас А.А.	196	Сапожников В.В.	78
Левадная Н.В.	89	Сапожников Вл.В.	78
Левитский О.К.	51	Светлов В.А.	201
Лыков А.А.	78	Середа Г.Е.	135
Лысов Н.В.	119	Сероносов В.В.	124
Мазнев А.С.	55	Смирнов В.Н.	168, 171
Маликов О.Б.	40	Степанов С.И.	129
Марикин А.Н.	124	Тихомиров О.И.	226
Моисеев В.И.	219	Ткаченко Е.В.	46
Мокейчев Е.Ю.	28	Уралов В.Л.	162
Никитин В.В.	135	Урушев С.В.	66
Никифорова Г.И.	40	Фоменко В.Н.	72
Огородников В.П.	201	Ходаковский В.А.	97, 113
Осьминин А.Т.	28	Хожаинов А.И.	135
Павлов Д.Л.	105	Чандер О.К.	51
Павлов Л.Н.	46	Шатнев О.И.	55
Панин А.В.	214	Шварц М.А.	97
Попов А.П.	162	Якушев А.Я.	46, 51, 119