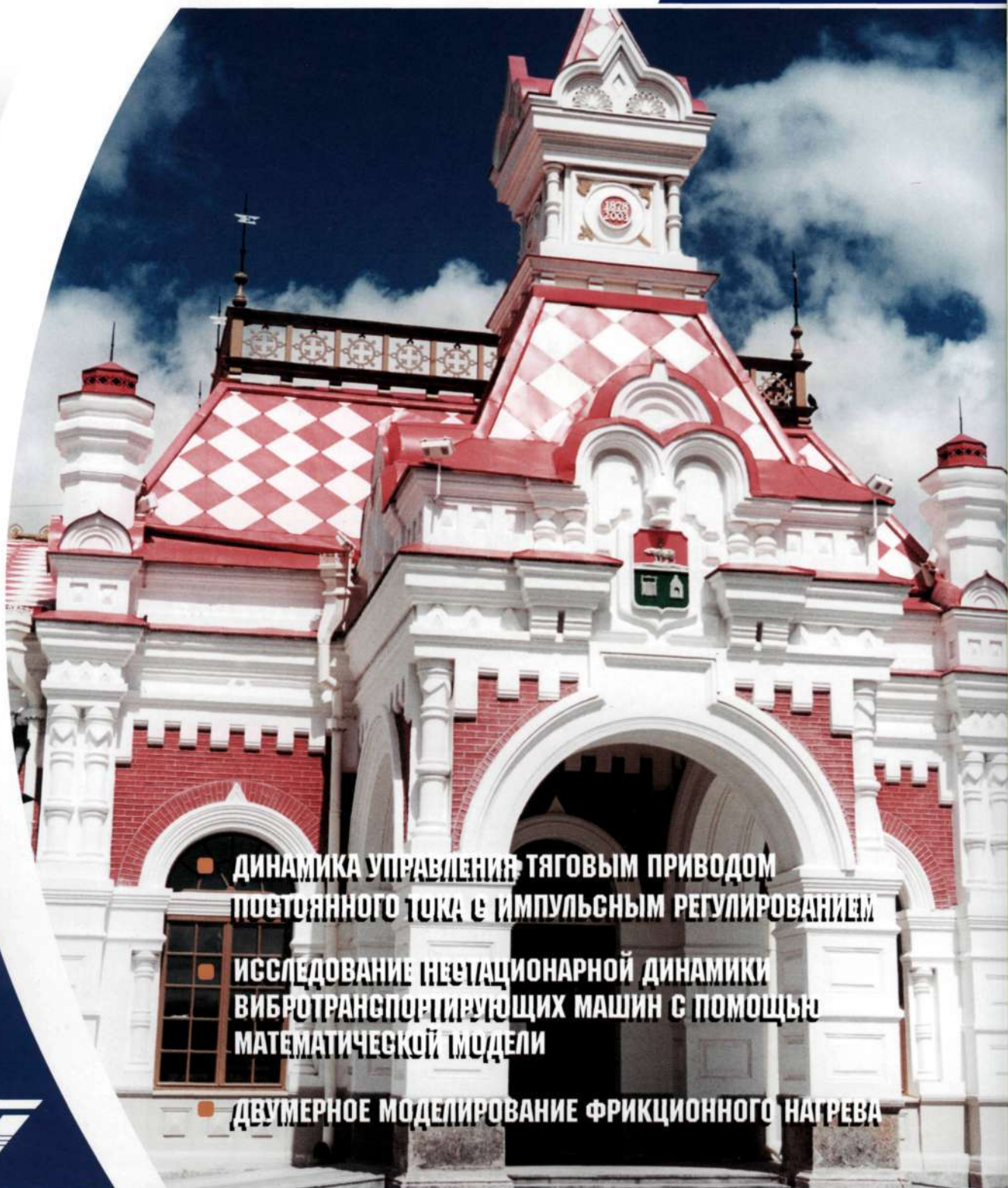


ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛА



■ ДИНАМИКА УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ
ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

■ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ
ВИБРОТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

■ ДВУМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОГО НАГРЕВА

**ТЕМА НОМЕРА:**

**ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕКУЩИМИ ЗАТРАТАМИ ПАССАЖИРСКИХ ПРИГОРОДНЫХ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОМПАНИЙ**

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕКУЩИМИ ЗАТРАТАМИ ПАССАЖИРСКИХ ПРИГОРОДНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОМПАНИЙ



Юрий Анатольевич Пикалин,
д.э.н., зам. начальника
Свердловской железной дороги



Олег Александрович Лисенко,
инженер, УРГУПС

Для определения направлений совершенствования экономического управления текущими затратами на пригородные перевозки необходимо построение соответствующей модели. Она должна быть отражением «идеальной» организации экономического управления и учитывать факторы, влияющие на его эффективность.

Для разработки модели организации экономического управления на предприятии представляется целесообразным использовать системный подход, позволяющий выявить существенные элементы, или компоненты, моделируемого объекта и установить связи между ними.

Обозначим систему экономического управления (ЗУ) предприятия как S .

Тогда в общем виде систему управления, как теоретико-множественное отношение, можно определить как

$$S \subset \{V_i, i \in I\} \text{ или как } S \subset X \otimes Y \otimes U, \quad (1)$$

где S – система; $i \in I$ – декартово произведение $\otimes V_i$, называемое объектами системы; X – множество входных воздействий; Y – множество выходных воздействий, или выходной информации о результатах поведения объекта управления; U – множество видов организации управляющих воздействий.

Объектом управления являются основные экономические элементы хозяйственного механизма, обозначаемые как I (множество объектов управления), или экономические показатели, или отдельные элементы затрат различного характера, и т.п., обозначаемые как i (подмножества объектов управления), $i \in I$.

Множеством входных воздействий X являются мероприятия по экономическому управлению, реализуемые как руководством, так и экономической службой предприятия.

На выходе системы образуются результаты деятельности, выражаемые в целом в виде финансово-экономических показателей. Выходная информация

о результатах поведения объекта выражается через систему показателей. Показатели результатов деятельности предприятия – прибыльность (убыточность) и годовой экономический эффект (общие показатели), а также относительное снижение себестоимости продукции, относительная экономия рабочего времени, прирост объемов производства (частные показатели), являющиеся одновременно и опосредованными показателями эффективности работы системы экономического управления (совместно с другими функциональными системами управления предприятием). Непосредственными показателями эффективности функционирования системы экономического управления являются также такие социальные показатели, как характеристики трудового потенциала предприятия, экономические показатели (объем и динамика увеличения стоимости человеческого капитала), социально-экономические показатели (отношение величины степени достижения поставленных перед управлением целей к заранее заданным).

Параметр U – множество видов организации управляющих воздействий на основные экономические элементы хозяйственного механизма – отражает сущность организации экономического управления и выражается в виде механизма решения задач экономического управления.

Сформулируем модель алгоритма организации экономического управления на предприятии.

Пусть имеется объект управления $i \in I$, состояние которого можно описать множеством переменных состояния объекта Y (множество выходной информации о состоянии объекта управления). Пусть состояние среды, в которой функционирует объект



управления, описывается множеством переменных состояния среды X (помимо входных воздействий, оказываемых субъектом управления, в множество X входят воздействия внешней среды, инвариантные относительно решений и действий субъекта). Пусть имеется субъект управления, имеющий потребности $A = (a_1, \dots, a_k)$, где a_i – состояние i -й потребности субъекта, выражаемое неотрицательным числом, характеризующим насущность, актуальность этой потребности. Наконец, пусть имеется множество U – множество доступных субъекту специально организованных управляющих воздействий на объект управления, позволяющих субъекту удовлетворять потребности $a_i \in A$.

Тогда свое поведение субъект будет строить так, чтобы минимизировать насущность своих потребностей, то есть решить задачу многокритериальной оптимизации

$$a_i(X, U) \rightarrow \min_{r \in R} (i = \overline{1, k}), \quad (2)$$

где $r \in R$ – ресурсы, доступные субъекту из множества существующих ресурсов.

Пусть

$$U_X^* = \varphi(A_i, X) \quad (3)$$

где U_X^* – решение задачи (2), т.е. оптимальное управляющее поведение субъекта, минимизирующее его потребности A_i ; φ – алгоритм, позволяющий синтезировать управление по состоянию среды X и потребностям A_i .

Отметим, что потребности субъекта изменяются как под влиянием среды и объекта, так и независимо от них с течением времени, что выражается индексом i .

Тогда эффективность функционирования системы управления определяется алгоритмом управления φ , которым располагает субъект.

Отметим, что алгоритм должен иметь рекуррентный характер

$$U_{N+1} = \varphi(U_N, A_i, X), \quad (4)$$

то есть позволять на каждом шаге улучшать управление.

Как видно из выражения (4), решение задачи выбора алгоритма эффективного управления зависит от потребностей субъекта управления A_i . Для системы экономического управления на предприятии субъект управления — это лицо, принимающее решение (ЛПР), являющееся либо собственником предприятия, либо руководителем предприятия, либо руководителем системы экономического управления, либо группой лиц, принимающих решение (в последнем случае возникает задача выбора оптимального группового решения, что существенно усложняет модель, вследствие чего для упрощения рассматриваемой модели нами принимается ЛПР

как одно лицо). Тогда под потребностями субъекта управления следует понимать потребности лица, принимающего решения, удовлетворяемые создаваемой и функционирующей системой экономического управления предприятием.

Для организации управления системой эти потребности должны иметь формальное выражение, то есть должны формулироваться в виде конкретного желаемого результата в качественной или количественной форме. Такое формализованное выражение возможно при формулировке целей управления системой.

Тогда можно записать алгоритм организации экономического управления предприятием в общем виде следующим образом:

$$A_i \rightarrow Z^* \rightarrow U^*, \quad (5)$$

где переход $A_i \rightarrow Z^*$ является этапом определения целей управления и может быть записан как

$$Z^* = \varphi_1(X, A_i), \quad (6)$$

где φ_1 – алгоритм синтеза цели Z^* по потребностям субъекта управления A_i и состоянию среды X ; переход $Z^* \rightarrow U^*$ является этапом выбора оптимального управления (структуры управления) и может быть записан как

$$U_X^* = \varphi_2(Z^*, X), \quad (7)$$

где φ_2 – оптимальный алгоритм управления.

Рассмотрим реализацию первого этапа – определение целей управления.

Как было сказано выше, его сутью является формализация представлений ЛПР о его потребностях в виде определения целей управления. Здесь возможны два варианта.

Первый вариант. Потребности ЛПР уже формализованы в виде целей для рассматриваемой системы. Данный вариант возможен в том случае, если рассматриваемая система (в нашем случае — система экономического управления на предприятии) является включенной в аналогичную функциональную систему более высокого порядка. Система экономического управления объединяет ряд типовых предприятий, в том числе и то, система экономического управления которого рассматривается. В этом случае цели экономического управления предприятием будут задаваться для каждого предприятия в виде целевых ориентиров его центром экономического управления.

Второй вариант. Система экономического управления на предприятии является подсистемой производственной системы хозяйственно-самостоятельного предприятия. В этом случае целевые ориентиры системы экономического управления на предприятии задаются собственником или руководителем предприятия (возможно, группой первых руководителей, включая руководителя по экономике и маркетингу).

Сформулированные в формализованном качественном или количественном выражении цели управления системой позволяют перейти ко второму этапу организации управления – выбору оптимального управления системой.

Отметим, что важным элементом управления является обратная связь, или информация о состоянии среды функционирования системы и состоянии самой системы в момент времени t_i ($i = 1, \dots, k$), обозначенная нами как Y .

На рис. 1 представлена структурная схема организации экономического управления предприятием. На схеме D_x, D_y – механизмы измерения состояния среды и объекта управления соответственно. Результаты измерения в момент времени t_i образуют исходную информацию для начала шага управления $\Delta t = t_{i+1} - t_i$, представляемую как $J = \{X, Y\}$, где $X = D_x(X)$ – информация об управляющих воздействиях, имеющихся в распоряжении субъекта; $Y = D_y(Y)$ – информация о состоянии объекта управления – элементов хозяйственного механизма, J – результаты измерений, служащие основой для выработки множества команд управления φ_2 ; U – структура управления, которая может быть выражена через степень развития организационных признаков системы экономического управления предприятием, выражающихся в типе финансово-экономической политики (пассивная, реактивная, превентивная, активная).

Таким образом, можно сказать, что организовать экономическое управление означает задать четыре основных компонента управления $\{Z', J, \varphi_2, U\}$. Определим элементы модели экономического управления $\{Z', J, \varphi_2, U\}$ для предприятий по организации пригородных пассажирских перевозок железнодорожным транспортом.

Общей целью экономического управления на предприятии является достижение требуемого уровня прибыльности (убыточности) всех видов хозяйственной деятельности.

Пригородные пассажирские компании в области экономического управления ориентируются на целевые ориентиры экономического управления, принятые в железнодорожной отрасли. Нами в ходе исследования выделены следующие целевые ориентиры:

1. Построение целостной системы экономического управления предприятием;
2. Оптимизация функционирования экономических служб на предприятиях, реализуемая через повышение профессионального уровня сотрудников экономических служб, улучшение системы экономического управления в организационном аспекте;
3. Направленность работы экономических служб на повышение профессионального уровня руководителей, специалистов предприятий, соответствующего новым экономическим условиям.

Рассмотрим компоненты управления $J = \{X, Y\}$, где $X = D_x(X)$, $Y = D_y(Y)$, φ_2 и U для системы экономического управления текущими затратами для предприятия по организации пригородных пассажирских перевозок. Определим факторы внешней среды, влияющие на систему экономического управления ($X = D_x(X)$), а также факторы и показатели, отражающие состояние объекта управления ($Y = D_y(Y)$). В функциональном аспекте для системы экономического управления факторы внешней среды можно разделить на две группы: внешняя среда ближнего и дальнего окружения.

Ближнее окружение для системы экономического управления – подсистемы системы управления пред-

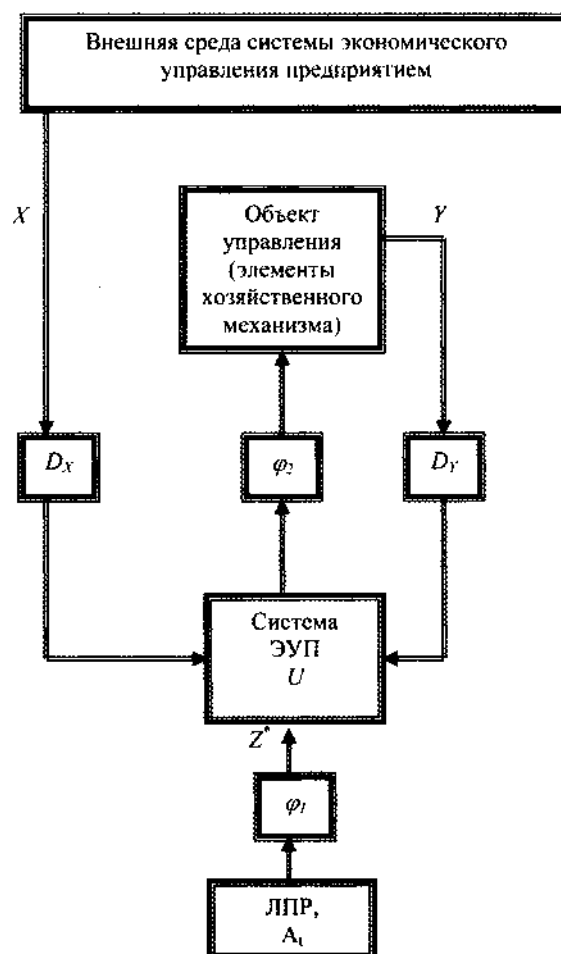


Рисунок 1 – Структурная схема организации экономического управления на предприятии

приятием: производственное, организационное, корпоративное управление на предприятии.

Все эти подсистемы обладают свойством полиструктурности, т.е. они взаимопроницают и взаимозависят друг от друга. Отметим, что подсистема экономического управления позволяет оценить эффективность производственной системы. В этом смысле система



управления предприятием, «работая» с элементами хозяйственного механизма предприятия, оказывает влияние на эффективность функционирования остальных подсистем.

Обратное влияние на систему экономического управления функциональные подсистемы оказывают в виде, во-первых, целевого заказа на характер, содержание работы с элементами хозяйственного механизма (руководители функциональных подсистем и подразделений могут выступать как ЛПР, задающие целевые ориентиры системе управления персоналом), во-вторых, через общую эффективность функционирования предприятия, слагающуюся из эффективности работы всех подсистем и определяющую уровень затрат на экономическое управление (затраты на реализацию целей экономического управления), а также уровень его эффективности.

Немаловажное место в факторах ближнего окружения, влияющих на систему экономического управления, занимает личность работающего на предприятии, люди, коллективы работников.

Наличие на предприятии той или иной концепции есть, с одной стороны, следствие политики руководства предприятия по отношению к работникам, с другой стороны, собственное отношение работников к выполняемой работе и предприятию. Совокупность этих факторов образует психологический климат или организационную культуру предприятия.

Из вышесказанного ясно, что система экономического управления, призванная обеспечивать на предприятии определенную концепцию управления и, как следствие, организационную культуру, в то же время сама испытывает влияние организационной культуры со стороны персонала предприятия.

Таким образом, можно выделить показатель взаимодействия системы экономического управления со средой ближнего окружения – степень взаимоинтегрированности ее и функциональных подсистем производственной системы (ПС) предприятия.

Можно выделить следующие степени их взаимодействия:

1. Пассивное. Взаимовлияние практически отсутствует. Система управления существует как регистратор состояния предприятия, контакты между ней и функциональными подразделениями производственной системы осуществляются спорадически, на уровне личных контактов сотрудников и руководителей;

2. Реактивное. Система экономического управления участвует в принятии решений руководителями функциональных подразделений на уровне нерегулярных консультаций, по желанию функциональных руководителей. Взаимовлияние присутствует, но строится на непостоянной основе. Функционально система экономического управления не участвует в

планировании управления производственным процессом предприятия;

3. Превентивное. Экономическое управление централизовано, информация об экономической ситуации распространяется среди руководителей. Присутствуют блоки экономического планирования в общем планировании деятельности предприятия;

4. Активное. Выраженное взаимовлияние. Система экономического управления выступает в роли постоянного консультанта функциональных руководителей при принятии ими решений, предоставляет аналитическую информацию об экономической ситуации и прогноз ее развития.

Исходя из предложенной классификации степеней взаимовлияния системы ЭУ и ближнего окружения можно выразить степени влияния в численной форме как $X_b = a_n \cdot D_x^n(x)$, где $D_x^n(x)$ – функциональные элементы ПС предприятия, a_n – коэффициент, определяющий степень влияния n -го элемента ПС.

В общем виде, без конкретизации влияния отдельных функциональных элементов производственной системы на экономическое управление, $D_x^n(x) = 1$. Тогда a_n варьируется в зависимости от степени взаимовлияния экономического управления и функциональных подразделений производственной системы.

Определим факторы дальнего окружения, влияющие на экономическое управление предприятием.

К дальнему окружению мы относим все субъекты, которые взаимодействуют или оказывают влияние на функционирование системы управления, но не входят в состав производственной системы предприятия.

Нами выделяются следующие субъекты дальнего окружения, являющиеся факторами внешней среды, оказывающими влияние на организацию управления:

- посредники на рынке перевозок пассажиров: владельцы транспортной инфраструктуры, операторские компании, туристические агентства и т.д.;

- образовательные учреждения;

- правительственные органы, оказывающие законодательно-нормативное воздействие на функционирование системы экономического управления предприятием.

На рис. 2 представлена общая схема взаимодействия системы ЭУ предприятия с внешней средой (ближним и дальним окружением).

Определим факторы состояния объекта управления $Y = b_n \cdot D_y(y)$.

К данной группе факторов нами относятся:

1. Абсолютные показатели эффективности функционирования предприятия.

2. Относительные показатели эффективности функционирования предприятия.



3. Удовлетворенность социальных потребностей персонала.

Фактор «абсолютные показатели эффективности функционирования предприятия» характеризует положение предприятия на рынке пассажирских перевозок: выручка, объемы перевозок, прибыль до уплаты налогов и процентных платежей и т.д.

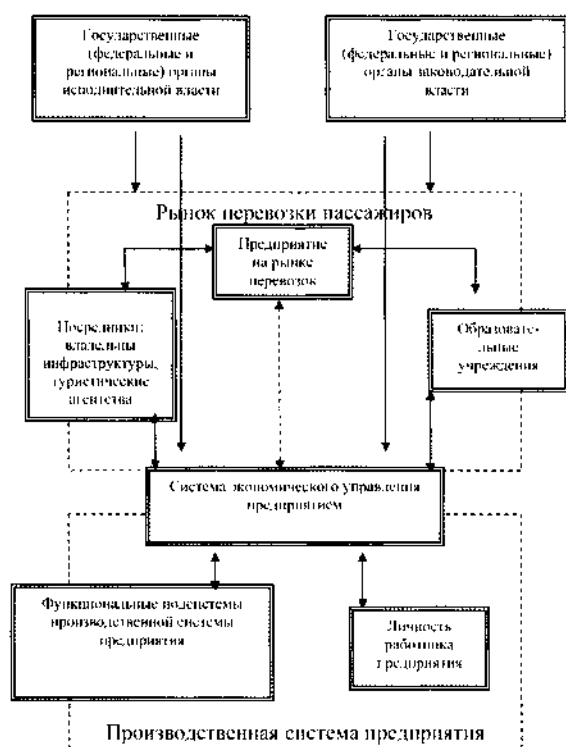


Рисунок 2 – Схема взаимодействия системы экономического управления с внешней средой

Фактор «относительные показатели эффективности функционирования предприятия»: рентабельность продукции, основных производственных фондов, чистая текущая стоимость, внутренняя норма доходности, дисконтированный срок окупаемости, коэффициенты анализа ликвидности баланса и т.д.

В соответствии с предлагаемой методикой расчет численного показателя степени влияния данных факторов должен строиться на основе системы частных показателей, удовлетворяющих ряду условий. Во-первых, частные показатели должны отражать различные аспекты финансово-экономического состояния предприятия. К таким аспектам, по нашему мнению, следует отнести, например, эффективность операционной, инвестиционной деятельности.

Во-вторых, частные показатели должны сравнительно легко устанавливаться из существующей финансово-экономической отчетности.

В-третьих, они должны иметь численное выражение в виде отклонения их величины от максимально возможной.

Рассмотрев показатели состояния объекта управления, то есть элементы хозяйственного механизма предприятия, перейдем к третьему компоненту модели управления – алгоритму экономического управления (ф), или механизму управления.

Механизм экономического управления, по нашему мнению, может быть выражен через состояние и распределение ресурсов его организации.

К ресурсам организации экономического управления можно отнести следующие: количество сотрудников, работающих в системе экономического управления; уровень организации их труда; техническую оснащенность системы экономического управления; профессиональный уровень сотрудников; методическую обеспеченность и т.д.

Таким образом, при построении модели пространства входных сигналов X, Y необходимо решить следующую задачу. Из множества факторов, влияющих на X, Y следует выбрать подмножества X^*, Y^* , позволяющие получать необходимую и достаточную информацию для достижения системой цели Z . Из множества показателей влияния факторов D_x, D_y необходимо выбрать подмножество показателей d_x, d_y , удовлетворяющее следующим условиям:

- затраты на получение информации по d_x, d_y меньше или равны ресурсному обеспечению информационной компоненты системы, $3_i (J = \{X, Y\}) \leq R_i$, где $X = D_x(X), Y = D_y(Y), R_i$ – ресурсы, выделенные на информационное обеспечение компонентов системы;
- информация, получаемая с помощью d_x, d_y , удовлетворяет требованию полноты и качества для выбора функции φ .

Последнее условие требует, чтобы каждой из задач экономического управления или каждому из компонентов механизма экономического управления φ_i было поставлено в соответствие некоторое $X_i \in X, Y_i \in Y$, удовлетворяющее ЛПР.

Механизм управления реализуется в процессе ЭУП, то есть в планировании, организации, контроле и анализе.

Для решения данных задач требуется создание цикла экономического управления. При этом каждый этап требует обеспечения системы экономического управления ресурсами: кадры, материальное обеспечение, организация труда специалистов. Следовательно, оценка состояния механизма экономического управления может быть произведена через интегральный показатель, учитывающий его обеспеченность данными ресурсами и включающий в себя ряд частных показателей.

Рассмотрим динамическую модель процесса экономического управления.



Как отмечает автор работы [1], «решение задач в экономике и управлении строится путем анализа систем «вход—выход». При этом рассматривается не структура системы, а отношения «вход—выход», то есть подмножество упорядоченных пар «вход—выход», в целом не являющееся функцией: моделирование процессов строится по принципу «черного ящика», не учитывающего организационный аспект управления преобразованием «входа» в «выход».

Действительно, как показывает изучение литературы, посвященной задачам математического моделирования экономических систем и систем управления в экономике [2], модели задач управления в основном сводятся к построению функций зависимости «вход—выход».

Примером могут служить задачи линейного программирования (транспортная задача), динамического программирования (задача оптимизации расходов на рекламу, задача выбора состава оборудования технологической линии, задача управления запасами) [2]. Данный класс задач и моделей позволяет достаточно полно представлять производственные процессы и получать результаты, пригодные для принятия решений по управлению производственными системами.

Для построения динамической модели экономического управления нами используется построение зависимости «вход—выход» с обязательным учетом характера и структуры управляющего воздействия, то есть на основе информации о внутренней структуре системы или информации о состоянии системы, которая определяется процессами «вход—выход».

В общем случае уравнение состояния системы экономического управления в векторно-матричной форме можно представить в виде балансового уравнения функционирования системы в интервале времени $[k, k+1]$

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) - Cf(k), \quad (8)$$

где x — вектор состояния системы («вход»), n -мерный вектор-столбец;

u — управляемый вход или управляющее воздействие, r -мерный вектор-столбец;

f — выход системы, p -мерный вектор-столбец;

$k, k+1$ — два фиксированных момента времени в интервале $[k, k+1] \in T$, где T — множество моментов времени;

A, B, C — коэффициенты состояний элементов системы.

Выразив состояние анализируемой системы экономического управления предприятием через балансовое уравнение (8), можно по заданному $x(k)$ — вектору состояния системы в момент времени k , заданной последовательности управляющих воздействий $u(k)$ и закону преобразования «входа» в «выход» $f(k)$ оп-

ределить состояние системы в любой другой момент времени $k+N$.

Если компоненты выражения (8) отражают текущее состояние процесса управления системой и существует желаемое состояние процесса управления, т.е. имеется желаемая оцениваемая траектория движения системы в пространстве состояний, описываемая как множество номинальных значений для переменных состояния x^N и переменных управления u^N , при этом предполагается, что x^N и u^N согласуются с номинальным f^N так, что

$$x^N(k+1) = Ax^N(k) + Bu^N(k) - Cf^N(k), \quad (9)$$

то можно записать задачу организации экономического управления следующим образом.

Вычтем (9) из (8), получим

$$e(k+1) = e(k) + c(k) - s(k), \quad (10)$$

где $e(k) = x(k) - x^N(k)$ — противоречие между существующим состоянием системы ЗУП и желаемым, позволяющим реализовать номинальные цели ЗУП $f^N(k)$;

$c(k) = u(k) - u^N(k)$ — отсутствующие механизмы в существующем множестве управляющих воздействий по ЗУП;

$s(k) = f(k) - f^N(k)$ — цели ЗУП, не реализуемые при существующем множестве управляющих воздействий $u(k)$.

Исходя из (10) задачу организации ЗУП можно сформулировать следующим образом: при известном $e(k)$, заданном $s(k)$ необходимо определить (подобрать) такое $c(k)$, чтобы минимизировать ошибку $e(k+1)$.

При моделировании организации управления компоненты системы управления x, u, f должны быть выражены через показатели, количественно характеризующие элементы системы управления и позволяющие устанавливать динамику их изменения во времени.

В соответствии с математической моделью (10) задачу организации экономического управления текущими затратами на пригородные пассажирские перевозки железнодорожным транспортом сформулируем следующим образом: при известном $e(k)$ — прогноз-ной величине выручки от перевозок, зависящей от установленного администрацией тарифа, заданном $s(k)$ — объеме субсидий из регионального бюджета — необходимо определить (подобрать) такое $C(k)$ — величину текущих затрат в прогнозном периоде, зависящую от объема движения пригородных поездов или пробега вагонов — электросекций, что позволит минимизировать ошибку $e(k+1)$ — требуемый уровень прибыльности (убыточности) пригородных перевозок пассажиров).

При построении графоаналитических моделей на 2005 г. были использованы статистические данные

Свердловской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» — за 2004 г. Данные представлены в таблице 1.

Обозначим:

P – абсолютная величина прибыли за рассматриваемый период;

$C_{сб}$ – себестоимость перевозок пассажиров в пригородном сообщении;

M_{np} – требуемый уровень прибыльности. M_{np} может задаваться в виде десятичной дроби $M_{np} = \frac{P_{np}}{C_{сб}}$ или в виде процентов $M_{np} = \frac{P}{C_{сб}} \cdot 100\%$;

K – объем перевозок пассажиров в пригородном сообщении;

Π – уровень установленного тарифа;

Z_1 – переменные (зависящие) затраты на единицу перевозки;

Π – постоянные (независящие) затраты за рассматриваемый период.

Приведем обоснование аналитического критерия, при котором обеспечивается требуемое значение M_{np} .

Из выражения для M_{np} следует, что необходимо раскрыть состав числителя и знаменателя:

$$P = K \times (\Pi - Z_1) - \Pi;$$

$$C_{сб} = K \times Z_1 + \Pi.$$

$$\text{Тогда } M_{np} = \frac{K(\Pi - Z_1) - \Pi}{KZ_1 + \Pi};$$

$$K \times Z_1 \times M_{np} + \Pi \times M_{np} = K \times \Pi - K \times Z_1 - \Pi;$$

$$K \times [\Pi - Z_1 \times (1 + M_{np})] = \Pi \times (1 + M_{np}).$$

Решая это уравнение относительно K , получаем

$$K = \frac{\Pi \times (1 + M_{np})}{\Pi - Z_1 \times (1 + M_{np})}.$$

Разделив числитель и знаменатель на Z_1 , получаем

$$K = \frac{\frac{\Pi}{Z_1} \times (1 + M_{np})}{\frac{\Pi}{Z_1} - (1 + M_{np})}. \quad (11)$$

Учитывая, что $\frac{\Pi}{Z_1} = \gamma$ и $\frac{\Pi}{Z_1} = \beta$, получаем

$$K = \frac{\gamma \times (1 + M_{np})}{\beta - (1 + M_{np})} = \frac{\gamma}{\beta - 1} \times \frac{1 + M_{np}}{1 + M_{np}}. \quad (12)$$

Для построения графической модели зависимости объема перевозок пассажиров в пригородном сообщении от относительного тарифа, обеспечивающего заданный уровень прибыльности, определим границы β , подставив в формулу (12) соответствующее значение прибыльности перевозок M_{np} .

Для убыточности -17% (по данным 2004 г.)

$$K = \frac{\gamma}{\beta - 1} = \frac{\gamma}{\beta - (-0,17)} = \frac{\gamma}{\beta - 1} = \frac{\gamma}{1,2\beta - 1},$$

т.е. $\beta > 0,83$. (13)

Для прибыльности 5% (первая ситуационная модель 2005 г. (M_1)), проведя аналогичные расчеты, получаем $K = \frac{\gamma}{0,95\beta - 1}$, $\beta > 1,05$; для прибыльности в 10% (вторая ситуационная модель 2005 г. (M_2)) получаем $K = \frac{\gamma}{0,9\beta - 1}$, $\beta > 1,10$; для прибыльности в 35% (третья ситуационная модель 2005 г. (M_3)) получаем $K = \frac{\gamma}{0,74\beta - 1}$, $\beta > 1,35$.

Таблица 1 — Исходные данные для построения модели

Показатель	Ед. изм.	2004 г.	Прогнозная модель
Валовая прибыль (+) или убыток (–) в долях к полной себестоимости	%	– 17,0	5,0
Средняя доходная ставка на один вагоно-км	руб.	2,7	3,0
Переменные затраты на один вагоно-км	руб.	7,5	8,3
Постоянные затраты на весь объем движения	тыс. руб.	356 078	391 685
Объем движения	тыс. вагоно-км	155659	155659



Далее составим таблицу 2, подставляя в формулу (13) значение β .

Графически ситуационные модели представлены на рис. 3.

Из-за государственного регулирования тарифов на железнодорожные перевозки, продолжительности периода утверждения субъектами РФ уровня их индексации и постоянства удельных переменных затрат на величину β сложно повлиять. Для обеспечения требуемой прибыльности необходимо привести соотношение

$$\frac{\gamma}{K} = \frac{\Pi}{KZ_1} \text{ к величинам:}$$

первая ситуационная модель (решается при $\beta > 1,05$)

$$\frac{\gamma}{K} = \frac{\Pi}{KZ_1} = (0,95 \times 1,1 - 1) = 0,06;$$

вторая ситуационная модель (решается при $\beta > 1,10$)

$$\frac{\gamma}{K} = \frac{\Pi}{KZ_1} = (0,9 \times 1,15 - 1) = 0,04;$$

третья ситуационная модель (решается при $\beta > 1,35$)

$$\frac{\gamma}{K} = \frac{\Pi}{KZ_1} = (0,74 \times 1,4 - 1) = 1,04.$$

Предложенные ситуационные графоаналитические модели параметрической зависимости между компонентами системы управления текущими затратами x , u , f отражают количественные взаимные связи между прибылью (убытком) P , тарифом T , объемом движения $K_{\text{вд.-к.вд.}}$, постоянными затратами Π , переменными затратами Z_1 , сумма которых определяет $c(k)$.

Графическую модель на рис. 3 можно интерпретировать так: для обеспечения приемлемой прибыльности

ти пригородных пассажирских перевозок, осуществляемых железнодорожными компаниями, необходимо поддерживать определенное соотношение между переменными и постоянными затратами и объемом перевозок. Например, для прибыльности в 5% от себестоимости возможные сочетания величин (переменных и постоянных затрат, объема перевозок) лежат на кривой, изображенной пунктирными линиями.

Таким образом, применение разработанных моделей в практике экономического управления пригородных железнодорожных компаний позволяет:

1. Оценить экономическую эффективность перевозок пассажиров в пригородном железнодорожном сообщении;

2. Видеть экономическое поведение пригородной компании во всем широком информационном поле множества сочетаний основных экономических переменных в различных возможных для компании ситуациях;

3. Составить «экономическую карту поведения пригородной компании» в реальных прогнозируемых условиях ее функционирования в зависимости от тенденций изменения рыночной среды;

4. Визуально представить все информационное поле возможной прибыльности (убыточности) при изменении основных экономических переменных;

5. Быстро оценить (спрогнозировать), что будет с прибылью или убытком, если экономические переменные изменятся в определенную сторону.

Итак, графоаналитические модели обладают высокой степенью обеспечения прогноза будущей эффективности, они сигнализируют о возможной экономической опасности для пригородных компаний и нацеливают ее пользователей на своевременное принятие обоснованных и необходимых решений по недопущению возникновения кризисного состояния.

Таблица 2 – Зависимость объема перевозок K от относительного тарифа β

Исходная ситуация												
β	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
K	2,50γ	5,00γ	3,10γ	2,30γ	1,80γ	1,50γ	1,30γ	1,10γ	1,00γ	0,90γ	0,80γ	0,70γ
β	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	30,00	35,00
K	0,50γ	0,40γ	0,30γ	0,26γ	0,23γ	0,2γ	0,10γ	0,06γ	0,04γ	0,03γ	0,03γ	0,02γ
Первая ситуационная модель												
β	1,10	1,25	1,50	3,00	5,00	8,00	10,00	15,00	20,00	25,0	30,0	35,0
K	22γ	5γ	2,4γ	0,5γ	0,26γ	0,15γ	0,13γ	0,08γ	0,05γ	0,04γ	0,04γ	0,03γ
Вторая ситуационная модель												
β	1,15	1,25	1,50	3,00	5,00	8,00	10,00	15,00	20,00	25,0	30,0	35,0
K	29,0γ	8,0γ	3,0γ	0,6γ	0,3γ	0,16γ	0,13γ	0,1γ	0,06γ	0,05γ	0,04γ	0,03γ
Третья ситуационная модель												
β	1,4	1,8	2,0	3,0	5,0	8,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0	35,0
K	27,0γ	3,0γ	2,1γ	0,8γ	0,4γ	0,2γ	0,16γ	0,1γ	0,07γ	0,06γ	0,05γ	0,04γ



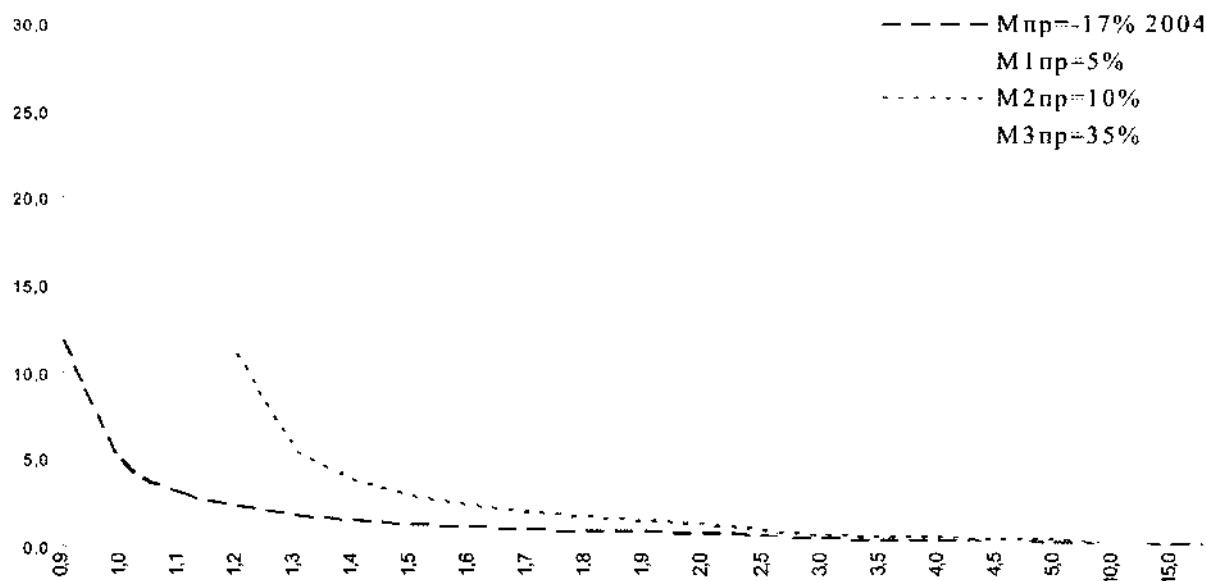


Рисунок 3 — Ситуационные графоаналитические модели параметрической зависимости между компонентами системы управления x, u, f

Литература

1. Негойца К. Применение теории систем к проблемам управления: Пер. с англ. В. Б. Тарасова. - М.: Мир, 1981. - 180 с.
2. Трояновский В. М. Математическое моделирование в менеджменте. - М.: Русская деловая литература. - 1999. - 240 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Стратегия улучшения контроля за износом колес и рельсов на угольном маршруте железной дороги Canadian Pacific предусматривает непрерывный эволюционный процесс, в ходе которого постоянно обеспечиваются баланс между износом рельсов, управление риском выхода их из строя, согласование профилей колес и рельсов в меняющихся условиях эксплуатации. Работа в этом направлении никогда не будет завершена, поскольку конкурентное давление на мировом рынке угля требует непрерывного снижения эксплуатационных затрат. Стратегия контроля за износом колес и рельсов доказала свое большое значение не только как средство сокращения затрат в колесном и рельсовом хозяйстве, но и как средство снижения эксплуатационных расходов за счет повышения осевых нагрузок и уменьшения расхода топлива.

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса/Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, СМ. Захаров, Дж. Лангрен, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТАНОВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТЕРРИТОРИИ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Свердловская область — крупнейший промышленный регион Российской Федерации. В первом полугодии 2005 г. в экономике области наблюдается стабильная ситуация, характеризующаяся положительной динамикой большинства макроэкономических показателей.



Юрий Михайлович Кожевников, начальник отдела транспорта и дорожного хозяйства Министерства промышленности, энергетики и науки Свердловской области



Елена Юрьевна Кузнецова, д.э.н., профессор, УГТУ-УПИ



Марина Аркадьевна Журавская, инженер, УргУПС

Объем отгруженных товаров собственного производства в текущих ценах в январе—июне 2005 г. составил (рис. 1) [1]:

- в добывающих производствах — 17,6 млрд руб., темп роста в текущих ценах — 185% к уровню аналогичного периода 2004 г.;
- в обрабатывающих производствах — 206,7 млрд руб. (темп роста — 130,7%).

Увеличился также и внешнеторговый оборот Свердловской области, в январе—мае 2005 г. он составил 2920,4 млн долл. США, т.е. увеличился на 28,9% (в т.ч. экспорт — на 32,8%, импорт — на 17,4%).

Эти данные красноречиво говорят о том, что темпы роста промышленного производства Свердловской

области превышают среднероссийские показатели, причем такая ситуация характерна для нашего региона уже в течение последних пяти лет.

Очевидно, что успешное развитие промышленного комплекса Свердловской области невозможно без тесного взаимодействия с транспортной инфраструктурой. Именно поэтому развитию транспортной системы, а в последнее время — развитию региональной транспортно-логистической системы необходимо уделять очень серьезное внимание.

Свердловская область исторически является крупным транспортным узлом, поскольку она расположена на пересечении важнейших евроазиатских транспортных магистралей. Состояние, развитие и эффектив-

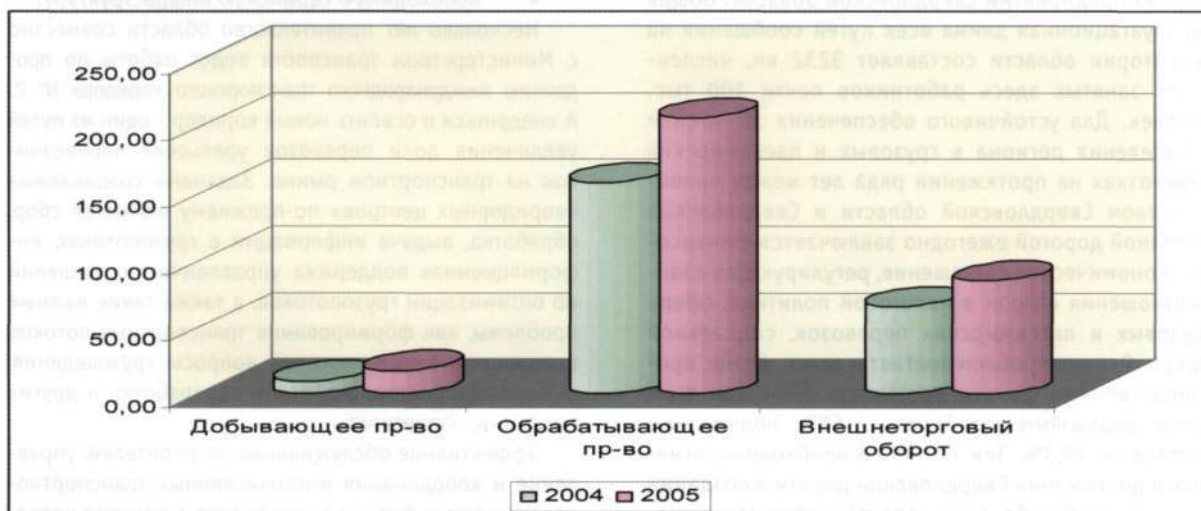


Рисунок 1 — Объем отгруженных товаров Свердловской области в 2004 – 2005 гг.

ное функционирование транспортной системы региона является необходимым условием дальнейшего экономического роста, улучшения условий и уровня жизни населения. Транспортный фактор становится доминирующим в процессе принятия производственных решений. Возникает потребность в эффективных средствах координации работы различных видов транспорта.

Ведущую роль здесь играет логистика — наука о системном управлении товарными потоками, о рациональной организации производства, транспорта и распределения, которая комплексно, с системных позиций, охватывает вопросы снабжения промышленного производства, распределения и сбыта готовой продукции [2]. Философия логистики состоит в управлении взаимодействием конкурентов. Объединяя свои усилия, конкуренты — различные виды транспорта — достигают максимального эффекта. К сожалению, не все руководители-транспортники это понимают, продолжая выстраивать деловые отношения «по старинке», отказываясь от принципа сотрудничества и достижения взаимной выгоды.

Основные виды транспорта Свердловской области — это автомобильный, железнодорожный и воздушный.

По протяженности автомобильных дорог общего пользования Свердловская область занимает 10 место. Показатель плотности дорожной сети на 1000 км² территории составляет 55,2 км при среднем показателе по России 31,7 км. А вот показатель обеспеченности населения Свердловской области сетью автодорог ниже среднероссийского (3,8 км на 1000 жителей) и составляет всего 2,4 км. Учитывая это, в области требуется до 2015 г. построить и реконструировать 705,5 км автодорог.

Свердловская железная дорога — одно из крупнейших предприятий Свердловской области. Общая эксплуатационная длина всех путей сообщения на территории области составляет 3232 км, численность занятых здесь работников почти 100 тыс. человек. Для устойчивого обеспечения экономики и населения региона в грузовых и пассажирских перевозках на протяжении ряда лет между правительством Свердловской области и Свердловской железной дорогой ежегодно заключается финансово-экономическое соглашение, регулирующее взаимоотношения сторон в налоговой политике, сфере грузовых и пассажирских перевозок, социальной сфере. Однако проблем хватает и здесь. Износ производственных фондов составляет 58%, при этом износ дорожного хозяйства — 69%, подвижного состава — 79,3%. Тем не менее необходимо отметить и достижения Свердловской дороги в создании совместно с Октябрьской дорогой информационно-логистической системы. Поэтому, имея развитую цифровую сеть передачи данных, построенную на

базе волоконно-оптических систем связи, железная дорога может стать основой для формирования региональной транспортно-логистической системы.

Развитие транспортно-логистической инфраструктуры в Свердловской области объявлено одним из важнейших направлений работы, и в 2002 г. было принято специальное постановление правительства Свердловской области и создана координационная комиссия. В настоящее время на территории области уже работают крупные логистические компании «Франс Маас», «ФМ Лоджистик», «Национальная логистическая компания», «Юниленд». Свердловская железная дорога построила региональный центр по управлению перевозками, начата реконструкция аэропорта Кольцово.

Достижение глобальной цели региональной транспортно-логистической системы должно обеспечиваться за счет необходимого уровня интеграции и координации деятельности логистических посредников в верхнем эшелоне менеджмента, который может быть реализован в виде регионального логистического центра и подчиненных ему территориальных центров.

В целях активизации работ по развитию транспортно-логистической инфраструктуры в 2002 г. при участии правительства Свердловской области, администрации города Екатеринбурга, Свердловской железной дороги было создано ОАО «Евро-Азиатский Международный Транспортно-Логистический Центр», для строительства первой очереди которого выделен земельный участок площадью 530 000 м² в северной части Екатеринбурга. Предполагается построить:

- контейнерный терминал с перерабатывающей способностью 50 000 TEU/год;
- складские комплексы общей площадью 100 000 м²;
- необходимую сервисную инфраструктуру.

Несколько лет правительство области совместно с Министерством транспорта ведет работы по продлению международного транспортного коридора № 2. А внедриться и освоить новый коридор — один из путей увеличения доли перевозок уральских перевозчиков на транспортном рынке. Задачами создаваемых «коридорных центров» по-прежнему являются сбор, обработка, выдача информации о грузопотоках, информационная поддержка управленческих решений по оптимизации грузопотоков, а также такие важные проблемы, как формирование транспортных потоков и управление ими, включая вопросы грузоведения, выбора транспорта, складской переработки и других операций, маркетинга.

Эффективное обслуживание потребителей, управление и координация многочисленных транспортно-логистических фирм и посредников в регионе невозможны без создания макрологистической системы или региональной транспортно-логистической системы

(РТЛС). Под такой системой понимается организация управления экономическими потоками, продуцируемыми многими экономически и юридически самостоятельными структурами — участниками логистических цепей и логистических сетей, при которой осуществляется сопряжение их социально-экономических интересов для достижения общесистемных целей с наименьшими затратами [3].

В своей работе [4] В.И.Сергеев, А.А.Кизим, П.А.Эльяшевич утверждают, что стратегия формирования РТЛС должна быть основана на поэтапном создании вокруг крупных городов и на территории субъектов Российской Федерации сети грузоперерабатывающих и грузонакопительных терминалов и мультимодальных терминальных комплексов многоцелевого назначения, а также логистических центров, осуществляющих управление, координацию их работы с перевозчиками, экспедиторами и другими логистическими партнерами за счет единой системы информационной поддержки и телекоммуникаций.

Таким образом, сделаны первые шаги по созданию в области рациональной системы для обеспечения переработки возрастающих потоков грузов; создается платформа вхождения области в мировую систему перевозок.

Использование достижений логистики на транспорте является залогом повышения эффективности отечественного транспортного комплекса и активизации его интеграции в мировую транспортную систему. Как свидетельствует зарубежный опыт, качественного скачка в транспортной сфере можно достигнуть лишь за счет использования новых организационных технологий — технологий обеспечения процессов перевозок, отвечающих современным требованиям и

высоким международным стандартам. В частности, за счет расширения освоения логистического мышления и принципов логистики.

На Западе логистика уже не одно десятилетие успешно работает на транспортную отрасль. Повышенным спросом пользуются фирмы, которые предлагают новые, более полные, комплексы услуг, к примеру аутсорсинг — максимальное освобождение предприятий-производителей от несвойственных им трудоемких и малоэффективных функций.

Транспортные предприятия, использующие логистику в своей практике, достигают большей стабильности, предсказуемости, технологичности в перевозках по сравнению с теми, кто продолжает придерживаться идеи максимизации собственной сиюминутной прибыли. В перспективе именно логистика даст возможность многим нашим транспортным предприятиям поправить свои финансовые дела на внутреннем и внешнем рынках, повысить объемы перевозок.

Создание логистических систем — процесс поэтапный и связан, как правило, с организацией фирм — операторов перевозок в прямом и смешанном общении.

Системный анализ логистических объектов и процессов выявил высокую степень взаимозависимости различных элементов и аспектов глобального развития. По мнению Дж. Форрестера, «элементы мировой системы становятся все более тесно взаимосвязанными. Воздействие на один сектор системы вызывает последствия в другом. И часто последствия непредвиденные и неприятные». Например, нерациональная конфигурация автодорожной и железнодорожной сети ведет к избыточным издержкам грузоотправителей, что, в свою очередь, ведет к удорожанию продукции предприятий региона и т.д.

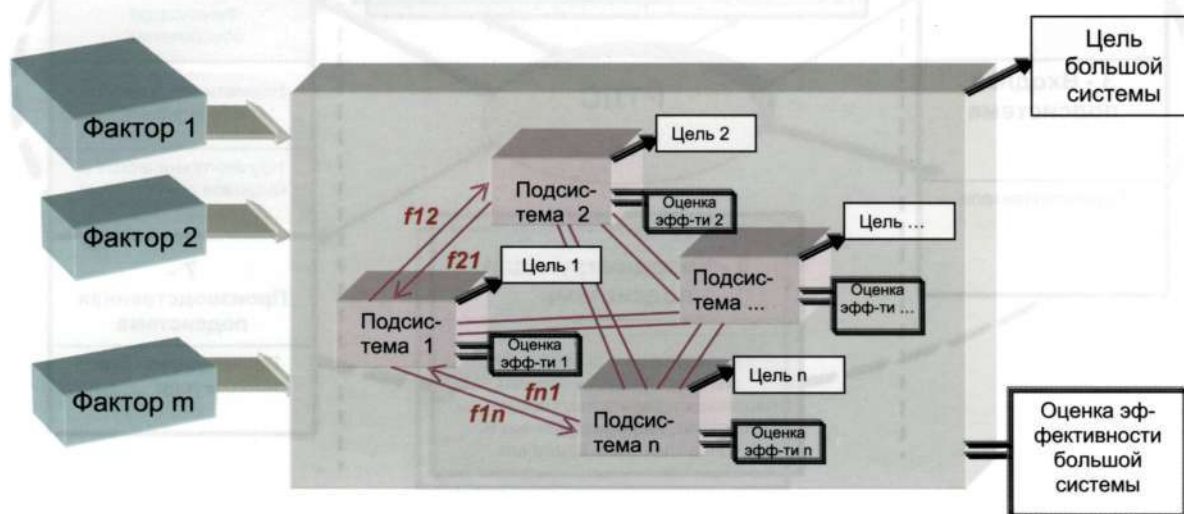


Рисунок 2 — Логистическая система как большая система

Логистические системы можно отнести к классу больших систем, которым присущи следующие признаки (рис. 2):

- наличие элементов или подсистем, например, подсистема 1 – складская подсистема, подсистема 2 – транспортная и т.д.;
- наличие цели функционирования у каждой подсистемы, и цели эти могут иметь различную направленность, например, транспортники заинтересованы в увеличении объема перевозки, что может быть невыгодно складской подсистеме;
- возможность оценки эффективности подсистем, которая может производиться такими показателями, как упаковка и доставка товаров, послепродажный сервис, обработка заказов и т.п.;
- наличие глобальной цели большой системы и возможность оценки эффективности ее функционирования;
- наличие большого числа связей внутри каждой подсистемы (f_i);
- разнообразие состояний логистической системы под воздействием факторов динамично изменяющейся внешней среды. К примеру, изменения в демографическом потенциале округа ведут к дисбалансу в промышленности.

Ключевым понятием в управлении транспортными системами с точки зрения концепции самоорганизации является сшивание, взаимопроникновение (Vernetzung) в транспорте. Хилдебран и другие определяют его следующим образом: целенаправленное, систематическое, долгосрочное и поэтому планируемое соединение различных транспортных средств и/или производителей услуг или технологий транспорта и транспортировки (интермодальной или интрамодальной) в одну общую систему. Это понятие рассматривается с точки зрения всех уровней: инфраструктуры, обмена информацией, производственной деятельности, организации.

Другим важным понятием в концепции самоорганизации является адаптация структуры, которая означает изменение в коллективном поведении участников и предполагает «взаимопроникновение» непосредственных участников системы. Адаптация структуры в интермодальном транспорте касается прежде всего кооперации и «взаимопроникновения» в областях инфраструктуры, информационного обмена и производственной деятельности.

Представим РТЛС в декомпозированном виде, состоящую из следующих подсистем:

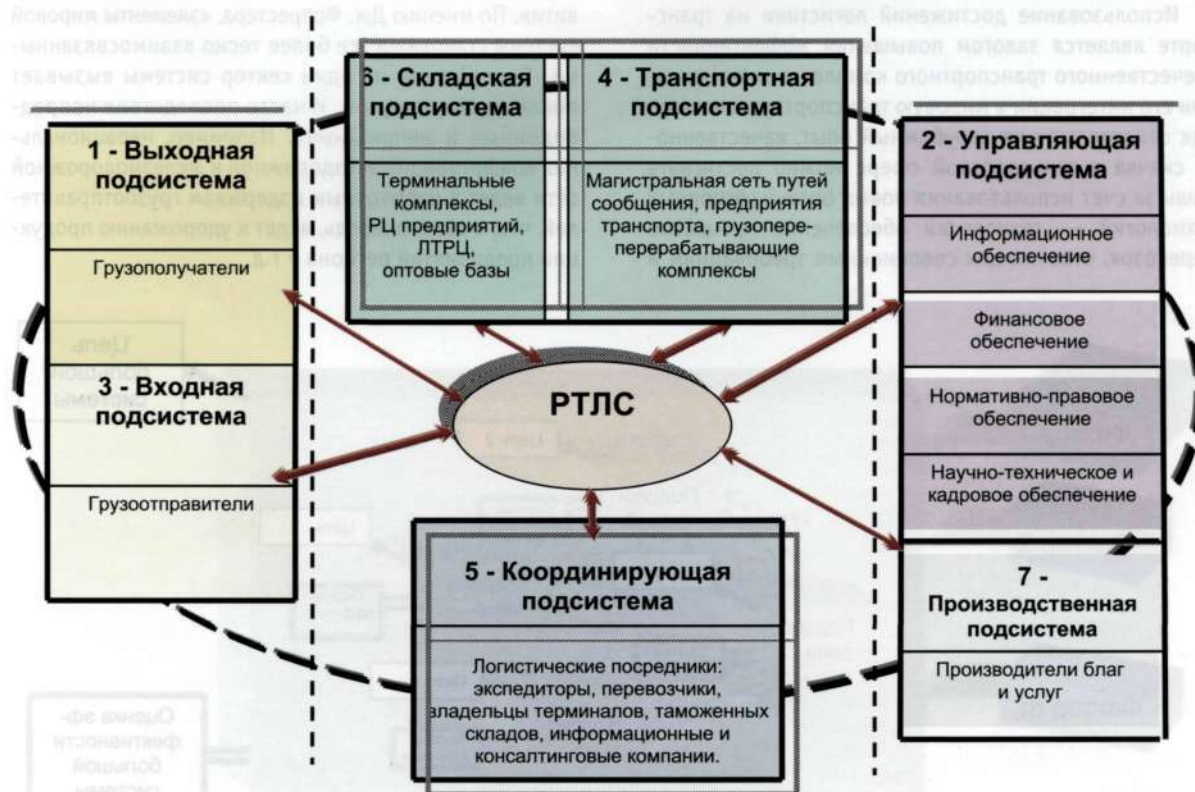


Рисунок 3 — Модель региональной транспортно-логистической системы



- входной;
- транспортной;
- аккумулирующей (складской);
- преобразующей (производственной);
- управляющей (службы логистической поддержки на региональном уровне);
 - координирующей (контроль за логистическими операциями);
 - выходной.

Данная модель является основополагающей при формировании единой системы логистического управления. Важную роль в этой системе играют логистические компании.

В модели РТЛС предлагается выделить по функциональному признаку 7 подсистем: управляющую, входную, выходную, общесетевой транспортный узел, производство, логистических посредников и распределительные центры. Для разработки программно-целевых мероприятий развития необходимо максимально учитывать особенности функционирования каждого элемента РТЛС (рис. 3).

Нахождение равновесия между различными потребностями, возникающими на операционном уровне, и составляет суть логистического процесса. Джеймс Л. Хэскетт из Гарвардского университета выделяет теорию управления логистической системой, цели которой заключаются в следующем[5]:

- прогнозирование спроса, определение транспортных и складских потребностей;
- разработка планов координации и интеграции логистических операций;
- преодоление различий между различными системами перемещения продукции.

Для комплексного развития РТЛС предлагаются программно-целевые мероприятия:

- увязать направления модернизации транспортной системы региона с перспективами развития всех отраслей экономики субъектов Свердловской области;
- отработать технологию создания единого информационного пространства для всех участников перевозок;
- модернизировать железнодорожные станции для обслуживания грузов и пассажиров с учетом международных требований;
- продолжить реконструкцию и развитие международного аэропорта Кольцово;
- обеспечить максимально благоприятные условия для работы российских перевозчиков при осуществлении международных автомобильных перевозок;
- сформировать Федеральный таможенный центр на базе международного транспортно-логистического терминального комплекса.

Мировая практика свидетельствует: перспективное развитие — это переход от конкуренции между отдельными видами транспорта к интермодальным, комбинированным перевозкам, к обслуживающим их крупным транспортным системам с единым центром организации и управления процессом доставки грузов. В таких транспортных системах резко возрастает роль оператора как организатора перевозок и функционирования мощных товаропроводящих систем. К сожалению, в нашей стране эта технология взаимодействия транспортников, с одной стороны, и потребителей их услуг — с другой, еще не применяется в должной степени и должна быть не только отработана, но и законодательно закреплена.

Литература

1. Основные итоги экономического и социального развития Свердловской области в первом полугодии 2005 года/ Министерство экономики и труда Свердловской области. — Екатеринбург, 2005.
2. Резер СМ. Логистика экспедирования грузовых перевозок. — М.: ВНИТИ РАН, 2002.
3. Карнаухов СБ. Логистические системы в экономике России. — М.: ООО «Фирма «Благовест-В», 2002.
4. Глобальные логистические системы: Учеб. пособие/ В.И. Сергеев, А. А. Кизим, П.А. Злыяшевич; Под общ. ред. В.И.Сергеева. — СПб.: Издательский дом «Бизнес-пресса», 2001.
5. James L Heskett, in: «Logistics: Essential to Strategy». — Harvard Business Review, November-December 1977.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ТР-1 ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИИ ВЛ11 НА СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ



Игорь Станиславович
Цихалевский, к.т.н., доцент
кафедры электрической тяги,
УрГУПС



Ольга Ивановна Ветлугина,
инженер, УрГУПС



Дмитрий Леонидович Худояров,
инженер, УрГУПС

В статье рассматривается возможность выполнения текущего ремонта и технического обслуживания тягового подвижного состава на пятилетнюю перспективу, согласно указаниям ОАО «РЖД» по реструктуризации локомотивного хозяйства дороги. Дано обоснование пополнения технологического оборудования для выполнения процессов, связанных с введением в базовых ремонтных депо текущего и среднего ремонта локомотивов.

Локомотивное депо Свердловск-Сортировочный является базовым на Свердловской железной дороге по средним и текущим ремонтам электровозов ВЛ11. Оно оборудовано в соответствии с технологическими регламентами, утвержденными ЦТ ОАО «РЖД». Однако большая текучесть кадров ремонтников и отсутствие необходимого резерва квалифицированных рабочих ставит вопрос о перенесении текущего ремонта ТР-1 в другое депо.

Службой локомотивного хозяйства Свердловской железной дороги предложено передать 900 текущих ремонтов ТР-1 электровозов ВЛ11 в локомотивное депо Смычка, где имеется значительный и регулярно пополняемый резерв рабочей силы.

В настоящее время в локомотивном депо Смычка производится техническое обслуживание Т0-2 600 электровозов ВЛ11 (3, 4 секции); ежемесячное техническое обслуживание Т0-3 16 электровозов ВЛ11, работающих в пассажирском движении; в оборотном депо Кушва (цех депо) выполняется 440 текущих ремонтов ТР-1 электровозов ВЛ11 (3, 4 секции).

Для реализации предложения о передаче текущего ремонта ТР-1 в локомотивное депо Смычка требуется детальное изучение современных объемов и организации ремонта; требований к механизации работ, диагностированию, оборудованию и др.; необходимых капитальных вложений.

Текущий ремонт ТР-1 по своему назначению включает обмывку, диагностирование и осмотр, ревизии и ремонт электровоза, а также техническое обслуживание Т0-4, при котором производится обточка бандажей колесных пар и замена неисправных колесно-моторных блоков (КМБ). Правилами проектирования предусмотрено дублирование станков для обточки колесных пар без выкатки и скатоподъемников, но вследствие близкого расположения аналогичных депо (цех Кушва, локомотивное депо Свердловск-Сортировочный) такого дублирования нет.



Количество стойловых участков (стойл) непосредственно по осмотру, ревизии и ремонту оборудования при текущем ремонте зависит от многих факторов (простоев в ремонте, продолжительности смен, фонда рабочего времени стойла, равномерности постановки в ремонт) и определяется по формуле

$$C_{TP1} = \frac{N_{TP1} \cdot t_{TP1}}{K \cdot \Phi \cdot t_{см} \cdot n_{см}} \cdot \Psi \quad (1)$$

где N_{TP1} – количество ремонтов ТР-1;

t_{TP1} – норма простоя электровоза в ремонте, ч;

K – переводной коэффициент учета секционности электровоза;

Φ – фонд времени работы стойла, сут;

$t_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$n_{см}$ – число смен;

Ψ – коэффициент, учитывающий неравномерность постановки.

При расчете принималось, что комплексные бригады работают по 12 ч. При этом возможны три варианта работы.

1. Круглосуточно без выходных и праздничных дней; $\Phi = 365$ сут.

2. Круглосуточно за вычетом праздничных дней; $\Phi = 353$ сут.

3. Круглосуточно с выходными и праздничными днями; $\Phi = 249$ сут.

Согласно приказу начальника Свердловской железной дороги «О мерах по улучшению технического состояния локомотивов» № 255/н от 29.04.05, норма простоя в текущем ремонте ТР-1 электровозов ВЛ11 (4 секции) установлена 24 ч.

Кроме стойловых участков для осмотра, ревизий и ремонта электровозов, при текущих ремонтах должны предусматриваться специальные стойла для диагностирования оборудования. Такие стойла имеют локомотивные депо Свердловск-Сортировочный и Свердловск-Пассажирский.

Согласно распоряжению ОАО «РЖД» № 3р от 17.01.05 «О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов ОАО «РЖД» для вибродиагностики установлена норма 0,5 ч на один КМБ. Время для диагностирования другого оборудования определяется техническими опи-

саниями устройств. Ориентировочно оно составляет 4 — 5 ч. Общее время для диагностирования электровоза ВЛ11 (4 секции) можно принять 12 ч.

Количество стойловых участков, необходимых для диагностирования и производства текущего ремонта ТР-1, приведено в таблице 1.

Длина стойловых участков L определяется по формуле

$$L = A + C, \quad (2)$$

где A – значение, зависящее от габаритных размеров локомотива и его сборочных единиц;

C – постоянная величина, зависящая от вида ремонта, типа здания и принятой технологии.

Длина стойловых участков электровозного депо для электровозов ВЛ11 (3 секции) определяется по формулам:

а) для сквозных путей $L = l + 15,70$ м;

б) для тупиковых путей $L = l + 14,45$ м.

Отсюда:

$$L_{сз} = 49,26 + 15,70 = 64,96 \text{ м};$$

$$L_{тз} = 49,26 + 14,45 = 63,71 \text{ м}.$$

Таким образом, исходя из строительного шага 6 м длина стойловых участков для электровоза ВЛ11 (3 секции) составит 66 м.

Длина стойловых участков электровозного депо для электровозов ВЛ11 (4 секции) определится из выражений:

а) для сквозных путей $L_{сз} = l + 17,20$ м;

б) для тупиковых путей $L_{тз} = l + 15,95$ м.

Отсюда:

$$L_{сз} = 65,68 + 17,20 = 82,88 \text{ м};$$

$$L_{тз} = 65,68 + 15,95 = 81,63 \text{ м}.$$

При строительном шаге 6 м длина стойловых участков L для электровозов ВЛ11 (4 секции) при текущем ремонте ТР-1 должна быть 84 м.

Длина стойл технического обслуживания ТО-4 определится из выражения

$$L_{ТО4} = 2(l - k) + C, \quad (3)$$

где l – длина локомотива, м;

k – расстояние от оси автосцепки до центра оси колесной пары ($k = 2,96$ м);

C – постоянная величина (для сквозных путей — 11,3 м, для тупиковых путей — 10,5 м).

Таблица 1 – Количество стойловых участков для текущего ремонта ТР-1

Наименование	Фонд рабочего времени стойл, сут		
	365	353	249
Количество стойловых участков текущего ремонта ТР-1	1,36	1,40	2,24
Количество стойловых участков для диагностирования	0,68	0,70	0,99

Отсюда для ВЛ11:

а) $L_{ТО4} = 2(32,84 - 2,96) + 11,30 = 58,80 + 11,30 = 70,10$ м;

б) $L_{ТО4} = 2(32,84 - 2,96) + 10,50 = 58,80 + 10,50 = 69,38$ м.

Таким образом, длина $L_{ТО4}$ для ВЛ11 из условий строительного шага составляет 72 м.

Длина стойлового участка для выкатки колесно-моторного блока равна длине $L_{ТО4}$ и составляет 72 м.

Рекомендованные нормы длин участков стойловой части локомотивных депо при проектировании и строительстве новых зданий для текущего ремонта ТР-1 электровозов ВЛ11 (3 секции) – 84 м, технического обслуживания ТО-4 ВЛ11 (3 секции) – 120 м.

Для электровозов ВЛ11 (4 секции), ВЛ10 длина стоек определится по тем же формулам и составит:

а) для сквозных путей $L_{ТО4} = 2(65,68 - 2,96) + 11,30 = 125,44 + 11,30 = 136,74$ м;

б) для тупиковых путей $L_{ТО4} = 2(65,68 - 2,96) + 10,50 = 125,44 + 10,50 = 135,94$ м.

Длина стоек ВЛ11 (4 секции) из условий кратности строительному шагу должна быть 142 м.

В то же время в реконструируемых зданиях депо можно предусматривать расстояние от обреза канавы до торцевой стены 1,8—2,3 м вместо 4,25 м и расстояние от обреза канавы до оси автосцепки 1,2 м вместо 1,4 м, что уменьшает расчетную длину стойловых участков на 4,4 м. Следовательно, расчетные длины канав ТО-4 будут составлять 132,3—131,54 м. Поэтому исходя из строительного шага длина стоек будет 132 м.

В перспективе количество стоек может быть снижено, если выполнять на стойле работы по осмотру и ревизии оборудования в течение одной смены, за 12 ч. Это возможно, поскольку, согласно «Сборнику типовых технически обоснованных времен на слесарные

работы при техническом обслуживании и текущем ремонте электровозов», время на выполнение самой длительной работы не превышает 7 ч. В этом случае критический путь сетевого графика с учетом приемки не выйдет за пределы 12 ч.

Для сокращения количества стойловых участков при внедрении боковых агрегатов для быстрого вывешивания КМБ; применении вращателей, которые исключают подачу напряжения тяговым двигателям через аппараты высоковольтной камеры, дают возможность выполнения там работ и обеспечивают стабильное нужное число оборотов; оборудовании системы испытания тормозов (СИТОЛ) на путях под контактным проводом вполне возможно организовать диагностирование параллельно с работами по текущему ремонту ТР-1.

Таким образом, для производства текущего ремонта ТР-1 900 электровозов ВЛ11 (4 секции) при современных методах ремонта требуются:

1. Закрытые стойла для продувки электрооборудования, обмывки кузова, механического оборудования, подогрева и сушки изоляции тяговых двигателей;

2. Испытательная станция локомотивов для диагностирования, организованная на стойловом участке;

3. Стойловые участки в количестве 1,3—2,2 для текущего ремонта ТР-1 длиной 84 м;

4. Стойловые участки для технического обслуживания ТО-4 и выкатки КМБ длиной 142 м.

Согласно «Нормативам затрат рабочей силы (трудоемкости) на техническое обслуживание ТО-3 и текущий ремонт тягового подвижного состава» (1996 г.), трудоемкость работ по тяговым двигателям и вспомогательным машинам при ТР-1 электровозов ВЛ11 составляет 7 — 8 человеко-

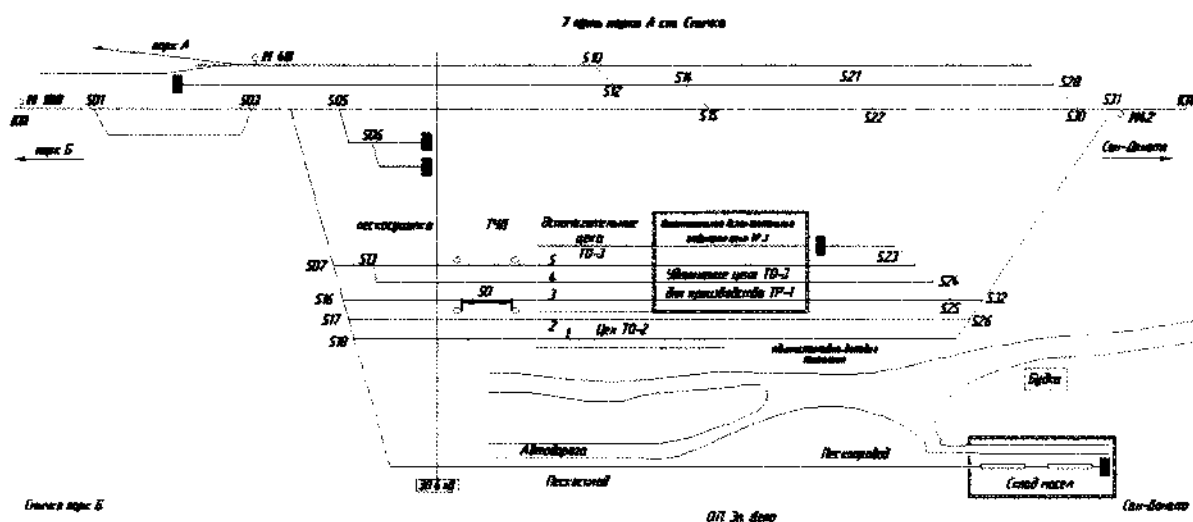


Рисунок 1 – План локомотивного депо Смычка после реконструкции



часов, а при ТР-2 — 10—12 человеко-часов, хотя правилами ремонта предусмотрен одинаковый объем ремонтных работ.

Норматив площади на ремонт электродвигателей при текущем ремонте ТР-1 определяли из соотношения

$$S_{эл-1} = S_{эл-3} \cdot \frac{T_{ТР1,2}}{T_{ТР3}}, \quad (4)$$

где $S_{эл-3}$ — норма площади электромашиного цеха при текущем ремонте ТР-3;

$T_{ТР1,2}, T_{ТР3}$ — трудоемкости ремонта тяговых двигателей при текущих ремонтах ТР-1,2, ТР-3.

$$S_{эл-1} = (970 + 200) \cdot \frac{12}{360} = 39 \text{ м}^2.$$

С учетом расстановки оборудования и ремонта электрических машин, которые имеются в каждом локомотивном депо, можно принять норму площади электромашиного участка для локомотивных депо, производящих текущий ремонт ТР-1, 40—60 м².

План локомотивного депо, ремонтные стойла и их назначение приведены на схеме (рис. 1). Как видно из этого рисунка, стойла технического обслуживания Т0-2 длиной 81 м в основном обеспечивают существующий технологический процесс, но не оснащены полностью современным оборудованием и диагностическими устройствами. Отсутствуют канавные и боковые агрегаты, кран-балка, устройства для автоматического измерения параметров гребней бандажей, проката и др.

При производстве текущего ремонта ТР-1 электровозов ВЛ11 в объеме 900 ед. в локомотивном депо Смычка программа ремонта ВЛ11 на перспективу до 2010 г. будет следующей (таблица 2).

Предлагается произвести сравнение экономической целесообразности двух вариантов:

— варианта производства ТР-1 парка электровозов серии ВЛ11 в планируемых объемах по существующей схеме, то есть в трех локомотивных депо;

— варианта производства текущего ремонта ТР-1 электровозов ВЛ11 в объеме 900 ед. в локомотивном депо Смычка с его реконструкцией.

Расчет оценочных показателей выполнен в программе «АЛБТ-Инвест» в текущих ценах.

Реконструкцию локомотивного депо планируется произвести в 2005 г. Производство ремонтов в объ-

емах и по схеме, рассматриваемой в данной работе, предполагается выполнять с 2006 г.

Полные инвестиционные затраты (оборудование пятой амортизационной группы) составят 111189,96 тыс. руб. без НДС, в том числе 22100 тыс. руб. — на приобретение технологического оборудования согласно требованиям технического регламента ОАО «РЖД», 5977,3 тыс. руб. — на постройку стойла для продувки, обмывки электровозов ВЛ11 (4 секции), 83112,66 тыс. руб. — на удлинение существующей секции (3, 4, 5 пути).

Расчет выполнен по принципу сравнения вариантов производства ремонтов электровозов серии ВЛ11 в объеме ТР-1 до реконструкции и после реконструкции локомотивного депо.

В качестве состояния «до реконструкции» принято производство ремонтов электровозов серии ВЛ11 в объеме ТР-1 по существующей схеме производства ремонта в локомотивных депо Смычка, Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная. Под состоянием после реконструкции подразумевается производство ремонта ТР-1 электровозов ВЛ11 в локомотивных депо Смычка (с увеличением годовой программы ремонта до 900 единиц), Свердловск-Сортировочный, Пермь-Сортировочная.

В программе «АЛБТ-Инвест» затраты по варианту до реконструкции показаны отрицательной величиной (со знаком «-»), а затраты по варианту после реконструкции представлены положительной величиной (со знаком «+»).

Эффектообразующими факторами в данной работе являются:

- снижение себестоимости производства ТР-1 электровозов ВЛ11;
- уменьшение перепростоев на 20% при производстве ТР-1 электровозов ВЛ11.

Рассчитанная экономическая эффективность приравнивается к отраслевой, т.к. эффектообразующим фактором выступает снижение затрат на производство ремонта, что является отраслевой задачей.

Оценочные показатели проекта:

- простой срок окупаемости — 5 лет;
- дисконтированный срок окупаемости — 6,4 года при норме дисконта 10%;
- чистый дисконтированный доход — 53435 тыс. руб. при горизонте расчета 10 лет, ставке дисконта 10%;
- внутренняя норма доходности — 22%.



Таблица 2 – Программа текущего ремонта ТР-1 на перспективу до 2010 г.

Серия локомотива	Вид ремонта	Депо	План ремонта, ед.					
			2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
ВЛ11	ТР-1	ТЧ-1	900	900	900	900	900	900
		ТЧ-5	826	1094	1176	1247	1291	1357
		ТЧ-17	1080	1063	1107	1163	1218	1255
		Итого	2806	3057	3183	3310	3409	3512

Литература

1. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. - М.: Транспорт, 1994. -208 с.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» № 3 от 17.01.03 «О системе технического обслуживания и ремонта локомотивов». — М. — 11 с.
3. Приказ начальника Свердловской ж. д. № 255 /н от 29.04.05 «О мерах по улучшению технического состояния локомотивов». — Екатеринбург. — 20 с.
4. Текущий ремонт ТР-1 электровозов ВЛ10в/и, ВЛ11, ВЛ80в/и: Технический регламент РД 32 ЦТ 513-00. Утвержден 24.02.00. — 14 с.
5. Технические указания по проектированию тепловозных и электровозных депо и экипировочных устройств /Трансэлектропроект. — М., 1969. — 636 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Ползун на колесе. Этот дефект образуется, когда колесо скользит по рельсу, вместо того чтобы катиться по нему. Ползун чаще всего возникает при резких торможениях, сопровождающихся проскальзыванием. Колеса с ползунами могут оказывать большие ударные нагрузки на рельс. Кроме того, ползун постепенно приводит к образованию некруглости колеса.

Рекомендации по исключению дефекта:

- избегать резких и затяжных торможений;
- не допускать работу с неисправными устройствами переключения груженого и порожнего режимов торможения.
- определить на основе критериев ударной нагрузки предельно допустимые величины некруглости колес, ползунов и своевременно осуществлять обточку колес, у которых эти величины выходят за пределы допустимого.

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса/Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, СМ. Захаров, Дж. Лангрен, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.

ДИНАМИКА УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ



Рашит Яхьяевич Сулейманов, к.т.н.,
УрГУПС

На начальных этапах разработки тиристорных регуляторов основное внимание уделялось силовым схемам. Однако опыт показал, что значительную роль в реализации всех возможностей тягового двигателя постоянного тока при импульсном регулировании играет система управления.

Появление в 60-х годах мощных полупроводниковых приборов — тириستоров — открыло широкие возможности в области экономичного регулирования силового оборудования и, в частности, тягового привода. В технической литературе имеется много публикаций как по тиристорному асинхронному приводу, так и по приводу постоянного тока. В разработке асинхронного привода иностранные фирмы достигли значительных успехов. Имеется широкая номенклатура компактных преобразователей.

По приводу постоянного тока работы постепенно свернулись. Основной причиной, возможно, является некоторое усложнение всего устройства и снижение на этом этапе его надежности, что в условиях подвижного состава особенно нежелательно. Следует отметить, что на начальных стадиях разработки тиристорных регуляторов основное внимание уделяли силовым схемам, в то время как системами управления занимались менее всего. Но опыт показал, что именно система управления играет значительную роль в реализации всех возможностей тягового двигателя постоянного тока при импульсном регулировании [1].

На подвижном составе все оборудование, в том числе и система управления, работает в сложных условиях: сильная тряска, непостоянство температуры, значительные помехи, отсутствие привычного питающего напряжения 220 В и др.

Чтобы получить устройство управления, способное противодействовать всем дестабилизирующим

факторам и обеспечивающее надлежащее качество процессов регулирования, целесообразно рассматривать систему управления, разложив ее на части, отличающиеся по функциональным признакам. Это позволяет применить в каждой части элементную базу (или программный блок), наиболее приспособленную для выполнения соответствующего рода функций. С этой точки зрения сам процесс управления целесообразно разделить на три уровня: а) формирование в необходимой последовательности импульсов для управления тиристорами преобразователя; б) регулирование средних значений токов, скорости или других выходных параметров; в) управление взаимодействием всех устройств.

Такое разделение сразу облегчает задачу анализа и синтеза системы управления и выбора необходимой элементной базы. Например, становится очевидным, что для формирования импульсов необходимо применение элементов дискретной логики, для регулирования выходных параметров требуются решающие устройства — или операционные усилители, или микропроцессорные устройства. Ввиду однократности процессов управление взаимодействием всей аппаратуры возможно на базе электромеханических реле или программируемой логики.

Рассмотрим вопросы регулирования выходных параметров. Система регулирования выходных параметров должна обладать устойчивостью и надлежащим качеством процессов регулирования [2]. Выбор структуры и параметров системы регулирования в со-

ответствии с требованиями качества может осуществляться различными методами. Автор использовал метод, который можно назвать методом компенсации регулятором больших постоянных времени объекта регулирования [3]. Согласно этому методу передаточная функция регулятора определяется как

$$G_{рег}(p) = \frac{1}{pb\sigma G_o(p)}, \quad (1)$$

где $G_o(p)$ — передаточная функция объекта регулирования;

b — коэффициент демпфирования ($b \approx 2$);

σ — сумма малых постоянных времени.

В этом случае обеспечивается регулирование по так называемому «оптимуму по модулю». Это значит, что обеспечивается достаточный запас по устойчивости, а перерегулирование составляет всего 5—7%, что наиболее благоприятно для тягового привода, подверженного срывам сцепления колес с рельсами.

Главным регулируемым параметром у тягового привода является ток якоря, так как он напрямую связан с силой тяги. Наиболее приемлемым является алгоритм поддержания его заданного значения, поскольку этот алгоритм обеспечивает реализацию наибольшего значения силы тяги и торможения.

С точки зрения авторегулирования тиристорный преобразователь с формирователем импульсов является непрерывным усилительным звеном. В данном случае это усилительное звено имеет линейную регулировочную характеристику. Непрерывность же обусловлена высокой частотой импульсного цикла (400 Гц) и низкой частотой процессов регулирования. Считается, что тиристорный регулятор (ТИР) имеет постоянную времени, равную половине периода импульсного цикла ($T_j = T_H/2$).

Для синтеза системы регулирования необходимо определить передаточные функции тягового двигателя как объекта авторегулирования во всех режимах его работы. Анализ показывает, что тяговый привод подвижного состава имеет несколько режимов работы (рис. 1). Это прежде всего тяговый режим с регулированием подводимого напряжения до выхода на естественную характеристику и работа на этой характеристике. Регулирование возбуждения здесь обычно не производится (не считая ступенчатого ослабления поля). В тормозном режиме имеется четыре зоны. Зона высоких скоростей (зона 1), где ограничивается коэффициент ослабления поля (β) по условиям коммутации. Зона регулирования тока якоря через ток возбуждения (зона 2). Зона низких скоростей, где производится импульсное регулирование при номинальном возбуждении (зона 3), и зона, где ток падает до нуля при практически закороченной якорной цепи.

Известно [2], что передаточная функция определяется как отношение изображения сигнала на выхо-

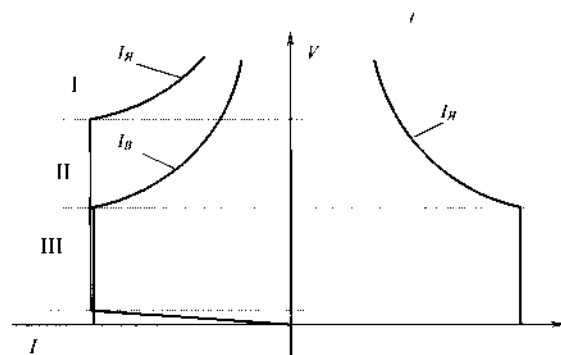


Рисунок 1 — Диаграмма работы тягового привода в моторном и тормозном режимах

де звена (Y) к изображению сигнала на входе (X) при нулевых начальных условиях

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (2)$$

Передаточную функцию якорной цепи можно получить, записав дифференциальное уравнение

$$L_j \frac{di_a}{dt} + R_j i_a + C_e \Phi V = u_{\partial B}, \quad (3)$$

где L_j , R_j — эквивалентные индуктивность и сопротивление якорной цепи (допуская, что они постоянны);

C_e — электрическая постоянная;

$u_{\partial B}$ — напряжение, подводимое к двигателю.

Влияние вихревых токов учитывается путем решения дифференциальных уравнений, составленных для двух индуктивно-связанных контуров — для контура, содержащего обмотку возбуждения, и контура вихревых токов:

$$u_B = i_B R_B + L_B \frac{di_B}{dt} - M \frac{di_{B.T.}}{dt}; \quad (4)$$

$$0 = i_{B.T.} R_{B.T.} + L_{B.T.} \frac{di_{B.T.}}{dt} - M \frac{di_B}{dt}, \quad (5)$$

где i_B , $i_{B.T.}$ — соответственно ток обмотки возбуждения и эквивалентный вихревой ток;

L_B , R_B , $L_{B.T.}$, $R_{B.T.}$ — параметры обмотки возбуждения и контура вихревых токов соответственно.

Решение этих уравнений в операторной форме дает выражения [3]:

$$I_B(p) = \frac{U_B(p)}{R_B} \cdot \frac{pT_{B.T.} + 1}{p(T_B + T_{B.T.}) + 1}, \quad (6)$$



$$\Phi(p) = I_a(p) \frac{K_\phi}{pT_{\text{в.т}} + 1}, \quad (7)$$

где $T_{\text{в.т}}$ – постоянная времени цепи возбуждения ($T_{\text{в.т}} = L_{\text{в.т}} / R_{\text{в.т}}$);

$T_{\text{в.т}}$ – постоянная времени цепи вихревых токов при шихтованных станинах $T_{\text{в.т}} = (0,2—0,3) T_{\text{в.т}}$ [3];

$K_\phi = \Delta\Phi / \Delta I$ – дифференциальная нелинейная зависимость потока от тока возбуждения.

Так как в моторном режиме ток возбуждения равен якорному току, уравнение (3) с учетом (7) примет вид в операторной форме

$$I_a(p)R_a(pT_a + 1) = U_{\text{дв}}(p) - \frac{C_e K_\phi V}{pT_{\text{в.т}} + 1} I_a, \quad (8)$$

где $T_a = L_a / R_a$.

Считая в соответствии с уравнением (2) входным сигналом $U_{\text{дв}}(p)$, а выходным сигналом $I_a(p)$, передаточную функцию якорной цепи можно записать исходя из уравнения (8)

$$W_a(p) = \frac{1}{R_a(pT_a + 1) + \frac{C_e K_\phi V}{pT_{\text{в.т}} + 1}}. \quad (9)$$

В статическом режиме производные равны нулю, т.е. переменные p можно приравнять к нулю. Тогда получится статический коэффициент усиления

$$K_{\text{ст}} = \frac{1}{R_a + C_e K_\phi V}. \quad (10)$$

Правильность полученного выражения подтверждается классическими формулами электрической тяги.

Наличие в знаменателях уравнений (9), (10) параметра V говорит о том, что статический коэффициент усиления зависит от скорости движения – с увеличением скорости коэффициент уменьшается.

Изменение статического коэффициента усиления применительно к тяговому приводу метрополитена можно определить следующим простым способом, не прибегая даже к характеристикам магнитной цепи. При $V=0$ $R_a = 0,27 \text{ Ом}$, $K_{\text{ст}} = I / K_\phi = 3,7 \text{ Ом}^{-1}$. При $V = V_{\text{гр}}$ ($V_{\text{гр}}$ – граничное значение скорости движения, при котором происходит переход на естественную характеристику) $I_a = I_n = 200 \text{ А}$, $U_{\text{дв}} = U_n = 850 \text{ В}$, $K_{\text{ст}} = \Delta I / \Delta U = 200 / 850 = 0,25 \text{ Ом}^{-1}$. Коэффициент изменяется почти в 15 раз.

В тормозном режиме в зоне высоких скоростей входной величиной является ЭДС двигателя, в то время как сетевое напряжение остается без изменения. В свою очередь, ЭДС зависит от магнитного потока, а магнитный поток — от тока возбуждения. Поэтому

линеаризованная зависимость тока якоря от тока возбуждения для малых отклонений будет иметь вид

$$I_a(p)(pT_a + 1)R_a = \frac{U_{\text{дв}}(p)K_\phi V}{pT_{\text{в.т}} + 1} I_a. \quad (11)$$

Заменяя ток возбуждения его значением согласно выражению из уравнения (6), получим

$$I_a(p)(pT_a + 1)R_a = \frac{U_{\text{дв}}(p)K_\phi V}{R_b} \cdot \frac{1}{p(T_b + T_{\text{в.т}}) + 1}. \quad (12)$$

Тогда передаточная функция якорной цепи в тормозном режиме, если считать за входной сигнал напряжение, прикладываемое к обмотке возбуждения, будет иметь вид:

$$W_a(p) = \frac{C_e K_\phi V}{R_b R_a} \cdot \frac{1}{(pT_a + 1)(p(T_b + T_{\text{в.т}}) + 1)}; \quad (13)$$

$$K_{\text{ст}} = \frac{C_e K_\phi V}{R_b R_a}. \quad (14)$$

Из этих выражений видно, что статический коэффициент уже пропорционален скорости движения.

В режиме торможения в зоне низких скоростей ток возбуждения поддерживается на неизменном уровне. Здесь

$$I_a(p)(pT_a + 1)R_a = U_{\text{дв}}(p) - C_e \Phi V. \quad (15)$$

Входной величиной является ЭДС двигателя $E_{\text{дв}}(p) = C_e \Phi V$, поэтому имеем линеаризованное уравнение для малых отклонений

$$I_a(p) = \frac{E_{\text{дв}}(p)}{R_a(pT_a + 1)} \quad (16)$$

и передаточную функцию

$$W_a(p) = \frac{1}{R_a(pT_a + 1)}. \quad (17)$$

Для определения передаточной функции регулятора и его структуры в контуре регулирования тока якоря в режиме тяги воспользуемся принципиальной схемой (рис. 2) и функциональной схемой (рис. 3) привода. Исходя из этого можно записать передаточную функцию объекта регулирования без учета внутренней обратной связи по ЭДС и изменения коэффициента усиления. Исключение обратной связи по ЭДС возможно ввиду большой инерционности тягового привода с массой подвижного состава

$$G_o(p) = \frac{K_{\text{гир}} K_{\text{лпн}}}{R_a(pT_a + 1)(pT_{\text{в.т}} + 1)(pT_b + 1)}. \quad (18)$$

где $K_{\text{ТНР}}$ – коэффициент усиления тиристорного регулятора со схемой импульсного управления ($K_{\text{ТНР}} = \Delta U_{\text{им}} / \Delta U_{\text{рес}} \approx 800 / 8 = 100$);

$K_{\text{ДТЯ}}$ – коэффициент передачи датчика тока якоря;

T_i, T_u – постоянные времени устройства импульсного управления и тиристорного регулятора ($T_i = 0$) соответственно, в данном случае малые постоянные времени, не компенсируемые регулятором.

Без учета малых постоянных (T_i, T_u) уравнение (18) примет вид

$$G_0(p) = \frac{K_{\text{ТНР}} K_{\text{ДТЯ}}}{R_2(pT_2 + 1)}. \quad (19)$$

Тогда, согласно уравнению (1), регулятор должен иметь передаточную функцию

$$G_{\text{РТЯ}}(p) = K_{\text{РТЯ}} \frac{pT_2 + 1}{p}, \quad (20)$$

где $K_{\text{РТЯ}} = R_2 / K_{\text{ТНР}} K_{\text{РТЯ}}$ вС.

Это пропорционально-интегральный регулятор. Такую передаточную функцию имеет и операционный усилитель с соответствующей обратной связью (см. рис. 3). Если $Z_1(p) = R_{0C}$, $Z_0(p) = 1/pC_0$, то

$$W(p) = \frac{Z_0(p)}{Z_1(p)} = \frac{pR_0C_0 + 1}{pR_1C_0}. \quad (21)$$

Это значит, что должно быть

$$K_{\text{РТЯ}} = \frac{1}{R_{0C}C_0}, \quad T_2 = C_0R_0. \quad (22)$$

Замкнутый контур регулирования с таким регулятором по отношению к выходу датчика тока якоря будет иметь вид

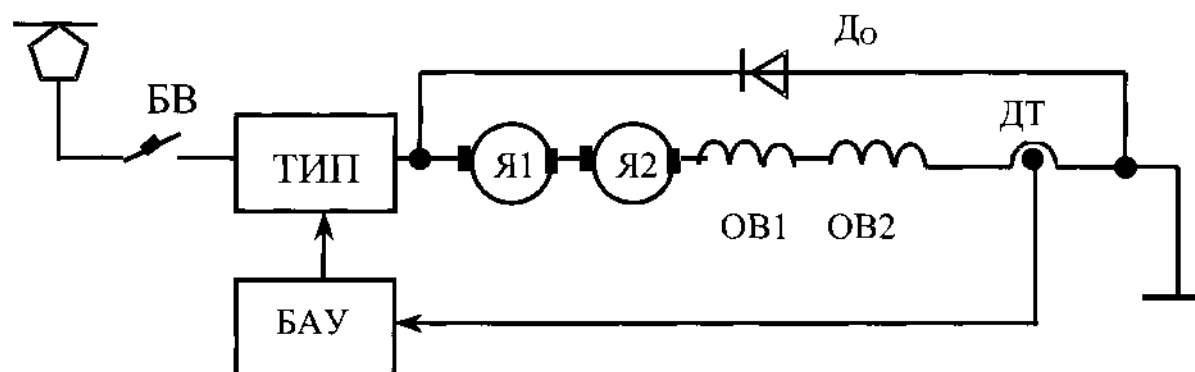


Рисунок 2 — Принципиальная схема тягового привода

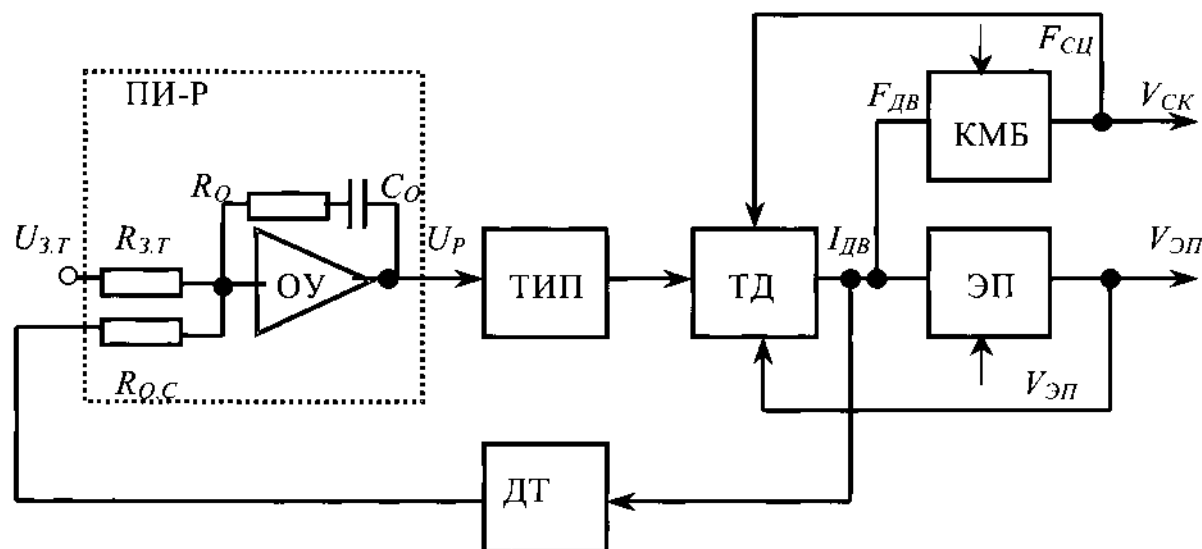


Рисунок 3 — Функциональная схема тягового режима в моторном режиме



$$G_i(p) = \frac{1}{p\sigma + 1}. \quad (23)$$

Так как в этом уравнении имеется только малая постоянная времени (σ), то быстродействие системы приближается к быстродействию тиристорного регулятора ($\sigma = T_{\mu}$).

В тормозном режиме, в связи с четырехзонным способом регулирования (см. рис. 1), составляется несколько функциональных и, соответственно, структурных схем. Наиболее простой схемой обладает тяговый привод в зоне скоростей ниже критической, где система распадается на два независимых контура регулирования – на контур регулирования тока якоря и контур стабилизации тока возбуждения независимо от тока якоря.

Так же, как в моторном режиме, регулировочная характеристика тиристорного регулятора линейна. Поэтому, считая ТИР непрерывным звеном и отбрасывая внутреннюю обратную связь по ЭДС якоря ввиду малости приращения скорости в интервале регулирования, составляется структурная схема регулирования, аналогичная контуру регулирования в тормозном режиме. Поэтому передаточная функция регулятора может быть принята такой же, как в моторном режиме, уравнение [см. (20)].

Как было сказано выше, здесь реализуется независимое возбуждение двигателя в силу особенностей тиристорного регулятора. Передаточная функция цепи возбуждения с учетом влияния вихревых токов на основании уравнения (6) имеет вид

$$G_{\text{в.к}}(p) = \frac{K_{\text{тир.к}} K_{\text{д.к}} (pT_{\text{в.т}} + 1)}{R_{\text{в}} [p(T_{\text{в}} + T_{\text{в.т}}) + 1]}, \quad (24)$$

где $K_{\text{тир.к}}$ — коэффициент усиления ТИР с системой управления по каналу регулирования тока возбуждения;

$K_{\text{д.к}}$ — коэффициент передачи датчика тока возбуждения (реально $K_{\text{д.к}} = K_{\text{д.т.к}}$).

Задачей контура регулирования тока возбуждения является поддержание магнитного потока. В переходных режимах магнитный поток отстает при своем изменении от тока возбуждения из-за вихревых токов. С другой стороны, ток возбуждения имеет форсировку по той же причине и компенсирует отставание магнитного потока. Эта форсировка определяется членом $(pT_{\text{в.т}} + 1)$ в уравнении (24).

Очевидно, если необходимо регулировать только ток возбуждения как таковой, то этот член должен быть скомпенсирован регулятором. В данном случае задачей регулирования является поддержание магнитного потока, поэтому член $(pT_{\text{в.т}} + 1)$ компенсации не подлежит. Тогда в цепь обратной связи (в цепь датчика тока возбуждения) необходимо включить звено с функцией,

обратной рассматриваемому, $1 / (pT_{\text{в.т}} + 1)$. А это есть функция фильтрующего звена

$$G_{\text{ф}}(p) = \frac{1}{pT_{\text{в.т}} + 1}. \quad (25)$$

Передаточная функция регулятора возбуждения с учетом полученных выражений может быть записана в виде

$$G_{\text{р.т.к}}(p) = \frac{R_{\text{в}}}{K_{\text{тир.к}} K_{\text{д.к}} \sigma} \cdot \frac{[p(T_{\text{в}} + T_{\text{в.т}})]}{p}, \quad (26)$$

где σ — малая постоянная того же порядка, что и в контуре регулирования тока якоря.

Для дальнейших рассуждений понадобится передаточная функция замкнутого контура регулирования тока возбуждения. По отношению к выходу датчика тока она определяется выражением, аналогичным уравнению (23). По отношению к самому току, т. е. к управляемой величине, в общем случае имеем [1]

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}, \quad (27)$$

где $W_1(p)$ — передаточная функция в цепи прямой связи;

$W_2(p)$ — то же в цепи обратной связи.

Имея в виду под $W_1(p)$ произведение функции регулятора $G_{\text{р.т.к}}(p)$ и объекта регулирования $G_{\text{о.к}}(p)$, а под $W_2(p)$ — функцию датчика с фильтром, получим передаточную функцию по отношению к току возбуждения

$$G_{\text{т.к}}(p) = \frac{pT_{\text{в.т}} + 1}{(p\sigma + 1)K_{\text{д.к}}}. \quad (28)$$

Согласно [3], передаточная функция двигателя по отношению к ЭДС — $W_{\text{к}}(p) = K_{\text{ф}} V / (pT_{\text{в.т}} + 1)$. С учетом этого получим передаточную функцию контура регулирования тока возбуждения по отношению к ЭДС

$$G_{\text{к}}(p) = \frac{C_{\text{к}} K_{\text{ф}} V}{K_{\text{д.к}}} \cdot \frac{1}{(p\sigma + 1)}. \quad (29)$$

В зоне высоких скоростей регулирование по цепи якоря не производится. Воздействие на ток якоря осуществляется путем регулирования тока возбуждения. Здесь возможны два варианта регулирования: по одноконтурной и двухконтурной схеме. По одноконтурной схеме контролируется только ток якоря. В этом случае объект регулирования имеет передаточную функцию

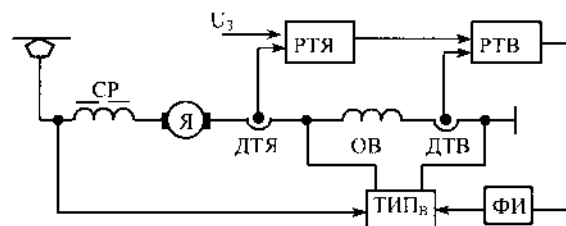
$$G_{\text{а}}(p) = \frac{K_{\text{тир.к}} K_{\text{д.к}} C_{\text{к}} K_{\text{ф}} V}{[p(T_{\text{в}} + T_{\text{в.т}}) + 1] pT_{\text{в.т}} + 1}. \quad (30)$$

$$G_o(p) = \frac{[p(T_n + T_{n+1}) + 1][pT_{n+1} + 1]}{K_{THP,n} K_{ATR} \frac{C_s K_\phi V}{R_n R_o}} \cdot \frac{1}{\sigma \Sigma} \quad (31)$$

Контур регулирования тока возбуждения в этом случае является внутренним контуром и ничем не отличается от контура регулирования в зоне низких скоростей. Следовательно, и регулятор имеет ту же передаточную функцию. В замкнутом виде этот контур является звеном, входящим во внешний контур с передаточной функцией

При последовательном соединении этого звена и звена, учитывающего влияние тока возбуждения на э.д.с., а в конечном счете и на ток якоря, множители $(pT_{\Sigma T} + 1)$ сокращаются, и тогда передаточная функция объекта регулирования для регулятора тока якоря будет иметь вид

$$G_{O,B}(p) = \frac{C_e K_\phi \sqrt{K_{ATB}} \cdot R_T}{R_2 R_B K_{ATB} R_{T,T}} \cdot \frac{1}{[pT_2 + 1]}. \quad (34)$$

$$G_{a,b}(p) = \frac{pT_2 + 1}{p\theta\sigma \frac{C_c K_\phi V K_{III} R_T}{R_0 K_{III} R_{12}}}, \quad (35)$$


The diagram shows a control system for a two-link manipulator. The input U_T is summed with a feedback signal from K_{DT} to produce U_{PT} . U_{PT} is summed with a feedforward signal U_{PTB} to produce U_{PB} . U_{PB} is the input to the plant, which is a two-link manipulator model with transfer functions $\frac{K_{PB}}{pT_B + 1}$ and $\frac{K_{PT}}{pT_A + 1}$. The output U_B is summed with a feedback signal from K_{PT} to produce U_{PB} . The output U_B is also summed with a feedforward signal U_{PTB} to produce U_{PT} . The output U_B is also summed with a feedback signal from K_{DT} to produce U_T .

Сравнение двух рассмотренных вариантов при торможении в зоне высоких скоростей показывает, что регулятор в двухконтурной схеме проще и имеет структуру ПИ-регулятора, в то время как в одноконтурной схеме требуется более сложный в наладке ПИД-регулятор. Поэтому предпочтительнее использование двухконтурной схемы, у которой к тому же структура регулятора тока якоря совпадает со структурой регулятора в других режимах.

На основе рассмотренного анализа автором разработана система управления тиристорным тяговым приводом [4] для такого уникального объекта, как поезд-пылесос, проработавший успешно около года на Ленинградском метрополитене, и аккумуляторного электровоза [1]. Рассмотрение конкретного исполнения полученной системы управления выходит за пределы данной статьи. Следует лишь



отметить, что сами регуляторы и вспомогательные элементы реализованы на операционных усилителях и все переходы из режима в режим происходят

в автоматическом режиме. Блок управления после изготовления и в процессе эксплуатации не требует настройки и наладки.

Литература

1. Сулейманов Р.Я. Аккумуляторный электровоз для метрополитена // Транспорт Урала. — 2005. — № 2 (5). — С. 52 - 55.
2. Теория автоматического управления / Под ред. А. В. Нетушила. — М.: Высшая школа, 1968. — 422 с.
3. Лебедев Е.Д. и др. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. — М.: Энергия, 1970. — 120 с.
4. А.С. № 1332508. Устройство для управления тяговым электроприводом / Р.Я. Сулейманов. Оpubл. 23.08.87. — Б.И. N2 31.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Навары (наволакивание) металла колес. Навары на поверхности катания имеют место в результате смещения металла при скольжении колеса. Наволакивание на поверхности происходит вследствие того, что на колесо попадают частицы изнашивания рельса, колеса и тормозных колодок. Считается, что навары чаще всего происходят в условиях повышенной влажности, особенно в зимнее время, когда рельсы покрыты снегом.

Рекомендации по исключению дефекта:

- совершенствовать систему осмотра колес;
- своевременно обтачивать колеса;
- своевременно проверять тормозные воздухораспределители на утечку и соблюдение режимов работы.

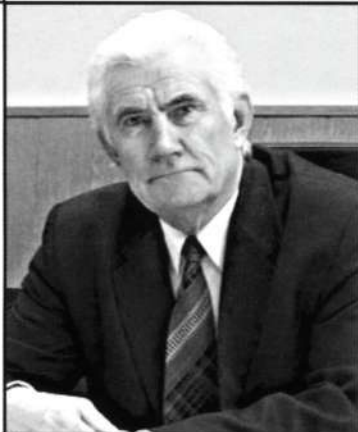
Для снижения вредного воздействия ползунов, наваров и некруглости колес рекомендуется внедрять детекторы дефектных колес.

Встречаются и другие дефекты колес, которые могут потребовать их замены. Это треснувший или сложенный обод, кольцевые выработки, тонкий обод, тонкий гребень, вертикальный подрез гребня. Имеются соответствующие средства измерений, определены предельные значения для каждого вида дефекта, которые приведены в руководящих документах железной дороги.

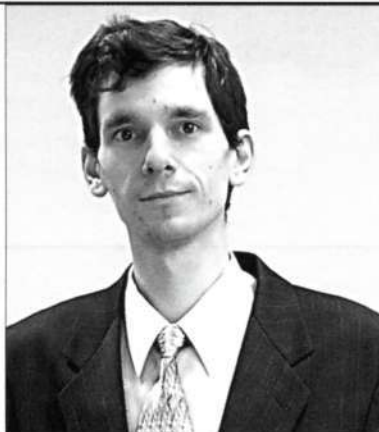
Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, СМ. Захаров, Дж. Лангрэн, Х. Турне, В. Зберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.



ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА



Александр Сергеевич Мазнев, д.т.н.,
проф., зав. каф. «Электрическая
тяга», ПГУПС



Андрей Михайлович Евстафьев,
магистр, каф. «Электрическая тяга»,
ПГУПС

В статье рассмотрены принципы построения схемы и компьютерной модели электронного шунта для тягового двигателя постоянного тока.

ВВЕДЕНИЕ

На железных дорогах России к середине 90-х годов начала обостряться проблема старения тягового подвижного состава. Фактический износ электропоездов достиг 65%, тепловозов — 73%, 28-летний нормативный срок службы выработали 42% электропоездов, из них 20% — со сроком службы свыше 35 лет. Состояние тягового подвижного состава характеризуется высокой степенью физического и морального износа, высокой энергоемкостью и малой энергоэффективностью. Применение морально устаревших энергоустановок первого и второго поколений (в мире внедряется уже четвертое поколение) с низкими конструктивными и эксплуатационными КПД влечет за собой не только повышенный расход энергии на рабочих режимах, но и дополнительные энергозатраты на эксплуатацию и ремонт.

Программа «Создание и освоение производства новых локомотивов в 2004-2010 годах» предусматривает два основных направления: капитальный ремонт с продлением срока службы (КРП) и строительство нового подвижного состава. Новые электропоезда выпускаются Демиховским машиностроительным и Торжокским вагоностроительным заводами, освоившими производство отечественных электропоездов с 1993 г. Их суммарные мощности позволяют выпускать не более 250 секций электропоездов в год. Принимая во внимание прогнозируемый рост объемов пригородных перевозок к 2010 г., машиностроители должны выдавать не менее 405 секций электропоездов в год.

В приписном парке Октябрьской железной дороги находится 1164 секции электропоездов, причем основную часть приписного парка составляют электропоез-

да серии ЭР2. В период 2004 — 2007 гг. выработают нормативный срок службы 503 секции ЭР2 (74%), 186 электропоездов серии ВЛ10 (70%). В указанный период планируется приобретать по 10 новых электропоездов и проводить КРП 30 электропоездов в год. Кроме того, для обеспечения потребности парка грузовых электропоездов постоянного тока ВЛ10 требуется восстановление 68 разукomплектованных электропоездов из запаса через КРП в условиях заводов Желдорремаш. Поэтому затраты на КРП приобретают решающее значение в выполнении программы. КРП позволяет модернизировать подвижной состав, увеличивая срок эксплуатации отработавших нормативный ресурс электропоездов на 10—15 лет. Стоимость КРП составляет до 40% от цены нового поезда. Программой развития локомотивного хозяйства Октябрьской железной дороги на 2004 — 2007 гг. предусмотрены затраты на приобретение новых электропоездов (рис. 1) и проведение КРП электропоездов (рис. 2). Модернизация силовой схемы электропоездов предполагает замену

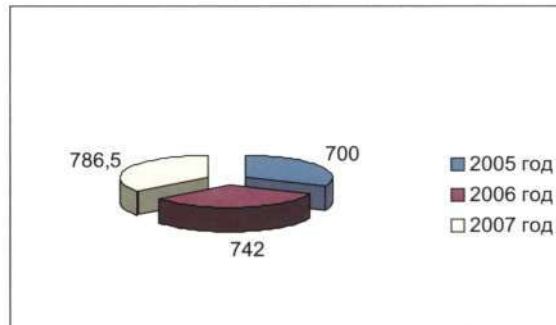


Рисунок 1 — Затраты Октябрьской железной дороги на приобретение новых электропоездов в период 2005—2007 гг. (млн руб.)

где R_i – сопротивление в цепи силового ключа младшего разряда. Соответственно сопротивления в старших разрядах ЦАП:

$$R_2 = \frac{R_1}{2}; R_3 = \frac{R_1}{4}; R_4 = \frac{R_1}{8}. \quad (7)$$

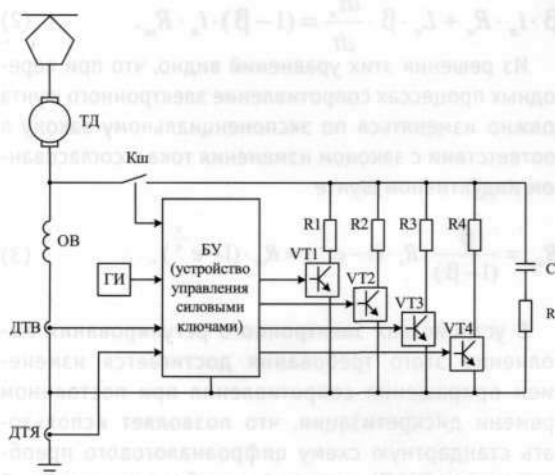


Рисунок 3 — Функциональная схема электронного шунта

Время, в течение которого состояние ЦАП изменится от минимального значения $z_{min} = 0$ до максимального $z_{max} = z^n + z^{n-1} + \dots + z^1 + z^0$, должно соответствовать времени переходного процесса в индуктивном шунте, согласованном с тяговым двигателем,

$$T_{ЦАП} = 3 \cdot \tau = \frac{3 \cdot \beta \cdot L_a}{(1 - \beta) \cdot R_a}. \quad (8)$$

Так как величина z изменяется от минимального до максимального значения за 2^n -тактов, то период импульсов управления будет

$$T_{имп.упр.} = \frac{T_{ЦАП}}{2^n}. \quad (9)$$

Учитывая (9),

$$T_{имп.упр.} = \frac{3 \cdot \beta \cdot L_a}{2^n \cdot (1 - \beta) \cdot R_a}. \quad (10)$$

При выбранном $n = 4$ величина z изменит свое значение в диапазоне $0 \leq z \leq 15$.

При увеличении тока тягового двигателя больше допустимой величины $I_a > I_{a, max}$ или уменьшении коэффициента ослабления возбуждения до пороговой величины

$$\beta_{порог} < \frac{\beta_{min}}{k} \quad (11)$$

блок управления ЦАП должен ограничить ток в цепи шунтирования обмотки возбуждения, выключив силовые ключи VT1-VT4, при этом весь ток тягового двигателя пойдет через обмотку возбуждения. Такой режим не опасен для тягового двигателя, так как при этом двигатель работает на полном возбуждении, а ослабление возбуждения произойдет постепенно при последующих циклах изменения состояния ЦАП от Z_{min} до Z_{max} . В формуле (11) k – коэффициент запаса.

3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ШУНТА

Исследования работы схемы электронного шунта проводились с помощью прикладного пакета Multisim. Модель электронного шунта была выполнена с помощью программы MatLab 6.5. На рис. 4 приведен график нарастания тока в электронном шунте. На рис. 5 представлена полученная зависимость изменения коэффициента ослабления возбуждения $\beta(z)$ для электропоезда ЭР2. Аналогичные результаты получены для модели схемы ослабления возбуждения электропоезда ЭТ2.

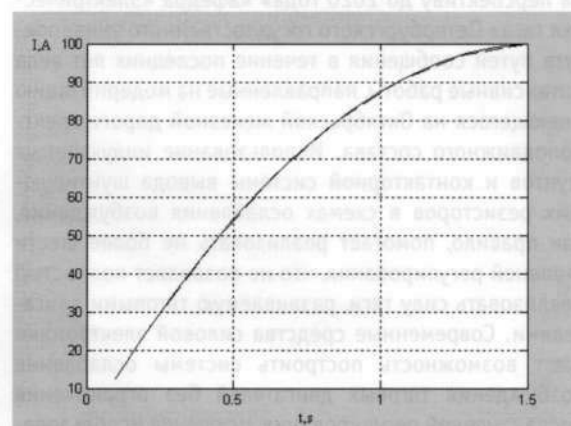


Рисунок 4 — График нарастания тока в электронном шунте

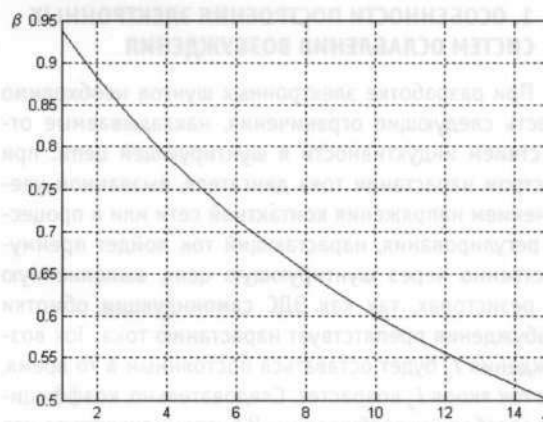


Рисунок 5 — Зависимость изменения коэффициента ослабления возбуждения $\beta=f(z)$



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый электронный шунт обеспечивает главное регулирование коэффициента ослабления возбуждения, вследствие чего можно повысить реализуемую силу тяги электропривода. За счет исключения индуктивного шунта и контакторов повышается

надежность схем ослабления возбуждения. Рассмотрены особенности расчета параметров схемы управления и резисторов ослабления возбуждения тяговых двигателей. Компьютерное моделирование электронного шунта выполнено в программах MatLab 6.5 и Multisim.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сварочные дефекты рельса. Проблемы, связанные со сваркой, могут составлять до 20% всех дефектов рельсов. Эти дефекты могут быть разделены на дефекты сварки на рельсосварочных заводах и в пути.

Существует несколько методов сварки рельсов: контактная, термитная и газопрессовая. Железные дороги стран ИНАА применяют различные комбинации технологий сварки на заводах и в пути. На железных дорогах Северной Америки используются преимущественно контактная электросварка в заводских условиях и термитная сварка в пути. Термитная сварка в пути применяется вследствие значительно меньшей стоимости в сравнении с контактной электросваркой, требующей дорогого передвижного оборудования.

Российские железные дороги применяют контактную электросварку как на заводах, так и в пути. Для того чтобы избежать снижения твердости в сварочной зоне, в 1970-х годах разработали технологию термической и механической обработки сварных стыков, которая позднее была усовершенствована с созданием технологии дифференцированного термического упрочнения и механической обработки сварных стыков.

Технология контактной электросварки с последующей термообработкой индуктивным методом была разработана и успешно применена в Китае для сварки термоупрочненных по всей длине рельсов массой 75 кг/м, предназначенных для линий с тяжеловесным движением.

При контактной сварке бывают расслоения шейки рельса. При термитной сварке возникают дефекты многих видов, начиная с усадочной пористости или включений, приводящих к расслоению шейки рельса и последующему разрушению, и кончая образованием подповерхностных раковин на головке рельса, ведущих к быстрому повреждению рабочей зоны выкружки головки рельса.

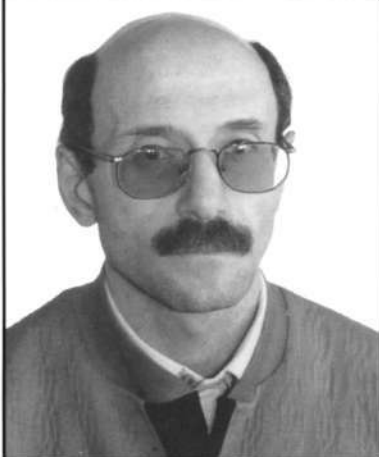
При сварке в пути возникает проблема, связанная с разницей в твердости основного рельса и сварного соединения. Сварное соединение, которое может быть тверже или мягче, чем основной рельс, создает соответственно выпуклость или углубление на головке рельса. Это одна из причин образования волнообразного износа. Кроме того, более твердые или мягкие сварные соединения подвержены контактно-усталостным повреждениям.

Сварные соединения, выполненные в пути с помощью термитной сварки, также вызывают некоторые проблемы. Одна из них — концентрация напряжений в подошве рельса из-за особенностей сварочного процесса, которая может приводить к выходу рельса из строя. Для решения этой проблемы ведутся работы по интенсификации перемешивания жидкого металла в форме.

Для снижения склонности к повреждению сварного шва при термитной сварке предложена технология широкого сварного шва (40 — 80 мм вместо 25 мм). Большой размер шва позволяет осуществлять ремонт рельсов с дефектами, заменяя дефектную часть рельса одним швом, вместо того чтобы делать рельсовую вставку с двумя обычными швами.

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, СМ. Захаров, Дж. Лангрен, Х. Турне, В. Эберсен. - М.: Интекст, 2002. - 408 с.

ДВУМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННОГО НАГРЕВА



Лев Абрамович Фишбейн,
к.ф.-м.н., доцент каф. физики, УрГУПС



Виталий Константинович Першин,
д.ф.-м.н., зав. каф. физики, УрГУПС

При расчетах тормозных характеристик подвижного состава необходимо знать температуру поверхности колеса, так как от нее зависит сила трения между колесом и колодкой. Обычно для теоретических оценок этой температуры используют одномерную полубесконечную модель колеса. При наличии угловой симметрии данная модель (радиус колеса $R \rightarrow \infty$) является

предельным случаем любой конечной модели ($R = \text{const}$) при временах торможения $t \rightarrow 0$. Для относительно больших времен, когда существенную роль играют геометрические размеры колеса, эта модель неприменима. Более реалистичная двумерная модель позволяет учесть элементы геометрии колеса и рассмотреть процесс его нагревания во всем интервале времен торможения.

МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕСА И КОЛОДКИ

Пусть колесо представляет собой диск радиуса R . Пренебрежем тепловыми потоками в поперечном направлении из-за их малости по сравнению с тепловыми потоками, направленными к центру колеса. Будем считать, что из-за достаточно большой скорости движения источника тепла по поверхности колеса тепловой поток равномерно размазан по поверхности катания. Пренебрежем поверхностным охлаждением колеса и будем считать, что вся работа силы трения колодки о колесо переходит в тепло. Тогда превышение температуры колеса T над начальной обладает угловой симметрией и зависит только от r и t , где r — пространственная переменная, направленная от центра колеса к поверхности ($r=R$ — поверхность трения), t — время движения колеса от начала торможения до остановки. Определим поверхностную плотность теплового потока, т.е. количество тепла, переносимое через единицу поверхности катания колеса в единицу времени по направлению к центру,

как $q(t) = \gamma v F_{\text{тр}} / S = q_0 f(t)$. Здесь γ — коэффициент распределения теплового потока между колесом и колодкой; $F_{\text{тр}}$ — сила трения колодки о колесо; S — площадь колодки; v — скорость поступательного движения колеса; q_0 — плотность теплового потока при $t = 0$; $f(t)$ — безразмерная функция времени, $f(0)=1$. Тогда нестационарное уравнение теплопроводности с нулевыми начальными и граничными условиями II рода имеет вид [1—4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} &= a \left(\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right); \\ \lambda \frac{\partial T(R,t)}{\partial r} &= q_0 f(t); \\ \lambda \frac{\partial T(0,t)}{\partial r} &= 0; \\ T(r,0) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$



Здесь $a = \lambda / \rho c$ — температуропроводность; λ — теплопроводность; c — теплоемкость; ρ — плотность; t — время, отсчитываемое от начала торможения.

ПОСТОЯННЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

Пусть $f(t)=1$. Решение системы уравнений (1) для этого случая имеет вид [1, 4]

$$T(r, t) = \frac{2q_0 R}{\lambda} \left[\frac{at}{R^2} + \frac{r^2}{4R^2} - \frac{1}{8} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n r/R)}{J_0(\alpha_n)} \frac{e^{-\alpha_n^2 at}}{\alpha_n^2} \right], \quad (2)$$

где J_0 — функция Бесселя первого рода нулевого порядка; α_n — нули функции Бесселя первого порядка, т.е. $J_1(\alpha_n) = 0$ ($\alpha_1 = 3.8317$, $\alpha_2 = 7.01559$, $\alpha_3 = 10.17347$ и т.д. [5]). Введем безразмерную температуру $\vartheta = T\lambda / q_0 R$, время $\tau = at / R^2$ (число Фурье) и пространственную переменную $l = r / R$ ($0 \leq l \leq 1$). Тогда зависимости $T(r, t)$ соответствует уравнение

$$\vartheta(l, \tau) = 2\left(\tau + \frac{l^2}{4} - \frac{1}{8} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n l)}{J_0(\alpha_n)} \frac{e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2}\right). \quad (3)$$

Температуры поверхности колеса $\vartheta^F(l=1)$ и центра $\vartheta^C(l=0)$ соответственно равны:

$$\vartheta^F = \vartheta(1, \tau) = 2\left(\tau + \frac{1}{8} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2}\right); \quad (4)$$

$$\vartheta^C = \vartheta(0, \tau) = 2\left(\tau - \frac{1}{8} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\alpha_n^2 \tau}}{J_0(\alpha_n) \alpha_n^2}\right). \quad (5)$$

Рассмотрим зависимость температуры поверхности колеса ϑ^F в приближении больших ($\tau \gg 1$) и малых ($\tau \ll 1$) чисел Фурье и сравним ее с аналогичной зависимостью для одномерной полубесконечной модели. Для оценки относительной близости функции f_1 к f_2 на некотором интервале их общего аргумента введем величину

$$\Delta(f_1, f_2) = \left| \frac{f_1 - f_2}{f_2} \right| 100\%. \quad (6)$$

Будем условно полагать, что первая функция хорошо описывает вторую, если Δ этих функций не превышает 3%. Для получения абсолютных временных оценок рассмотрим следующие физические характеристики колеса [6, 7]: $\lambda = 38$ Вт/(мК), $\rho = 7770$ кг/м³, $c = 480$ Дж/(кгК).

Для $\tau \gg 1$, оставим в выражении (4) конечное число членов

$$\vartheta_{\max}^F = 2\left(\tau + \frac{1}{8} - \frac{e^{-\alpha_1^2 \tau}}{\alpha_1^2} - \frac{e^{-\alpha_2^2 \tau}}{\alpha_2^2} - \frac{e^{-\alpha_3^2 \tau}}{\alpha_3^2} - \frac{e^{-\alpha_4^2 \tau}}{\alpha_4^2} - \dots\right). \quad (7)$$

Для $\tau \ll 1$ из уравнения (4) невозможно получить соответствующее приближение. Применим к системе уравнений (1), записанной в безразмерных переменных, преобразование Лапласа по τ ($\tau \rightarrow p, \vartheta(l, \tau) \rightarrow \bar{\vartheta}(l, p)$). В результате имеем обыкновенное дифференциальное уравнение, решением которого являются модифицированные функции Бесселя нулевого порядка $I_0(\sqrt{p}l)$ и $K_0(\sqrt{p}l)$. Так как $K_0(\sqrt{p}l)$ расходитс в нуле, то с учетом граничных условий для $l=1$ имеем

$$\bar{\vartheta}(1, p) = \frac{I_0(\sqrt{p})}{p^{3/2} I_1(\sqrt{p})}.$$

Раскладывая модифицированные функции Бесселя в ряд для больших p , получаем выражение [5]

$$I_n(\sqrt{p}) = \frac{\exp(\sqrt{p})}{\sqrt{2\pi\sqrt{p}}} \left[1 + \sum_{n=1}^N A_{n,n} p^{-n/2} + O(p^{-N+1}) \right],$$

где

$$A_{n,n} = (-1)^n \frac{(4n^2 - 1^2)(4n^2 - 3^2)(4n^2 - 5^2) \dots (4n^2 - (2n-1)^2)}{n!(8)^n}.$$

Делая обратное преобразование Лапласа, получаем приближение для ϑ^F в виде ряда по τ

$$\begin{aligned} \vartheta_{\min}^F &= 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \left[1 + \sum_{n=2}^N (C_{2n-2} \frac{2^{n-1} \tau^{n-1}}{(2n-1)!!} + C_{2n-3} \frac{\tau^{n-2} \sqrt{\pi\tau}}{2(n-1)!}) \right] = \\ &= 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \left(1 + \frac{\sqrt{\pi\tau}}{4} + \frac{\tau}{4} + \frac{3\tau\sqrt{\pi\tau}}{32} + \frac{2\tau^2}{160} + \frac{9\tau^2\sqrt{\pi\tau}}{128} + \dots \right). \quad (8) \end{aligned}$$

Здесь $C_n = A_{n,0} - \sum_{j=1}^{n-1} A_{n-j,0} C_j - A_{n,4}$, $C_1 = A_{1,0} - A_{1,1}$.

На рис. 1 на интервале τ от 0 до 0,18 (~65 мин) представлены: временные зависимости температуры поверхности и середины колеса для двумерной ϑ^F и ϑ^C (построены для $n = 1000$) и одномерной $\vartheta_{\min}^F$ и $\vartheta_{\min}^C$

моделей, приближения малых $\vartheta_{\min}^F = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \left(1 + \frac{\sqrt{\pi\tau}}{4} + \frac{\tau}{4} \right)$

(три члена в разложении (8)) и больших

$\vartheta_{\max}^F = 2\left(\tau + \frac{1}{8} - \frac{e^{-\alpha_1^2 \tau}}{\alpha_1^2}\right)$ (3 члена в разложении (7))

чисел Фурье зависимости ϑ^F . Как показывают расчеты, $\Delta(\vartheta_{\max}^F, \vartheta^F) \leq 3\%$ при $\tau \geq 0,037$ (~14 мин) для трех членов, при $\tau \geq 0,016$ (~6 мин) для четырех и при $\tau \geq 0,009$ (~3,5 мин) для пяти членов и т.д. в разложении (7). Величина $\Delta(\vartheta_{\min}^F, \vartheta^F) \leq 3\%$ при $\tau \leq 0,253$ (~1 ч 30 мин) для трех членов, при $\tau \leq 0,377$ (~2 ч 20 мин) для четырех, при $\tau \leq 1,247$ (~7,5 ч) для пяти членов и т.д. в разложении (8). Следовательно, приближения больших и малых чи-

сел Фурье совместно хорошо описывают зависимость ϑ^F во всем интервале времен торможения.

Для одномерной полубесконечной ($0 \leq r \leq \infty$) модели колеса [8, 9] температуры поверхности ϑ_{inf}^F и «центра» (на расстоянии $r=R$ от поверхности) колеса ϑ_{inf}^C , выраженные в указанных выше безразмерных переменных, равны

$$\vartheta_{\text{inf}}^F = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}, \quad (9)$$

$$\vartheta_{\text{inf}}^C = 2\left(\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}e^{-4\tau} - \frac{1}{2}\operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2\sqrt{\tau}}\right)\right). \quad (10)$$

Сравнивая выражения (9) и (8), отметим, что точное выражение для температуры поверхности колеса для одномерной полубесконечной модели есть первый член ряда приближения малых чисел Фурье для двумерной конечной модели.

Как показывают расчеты (рис. 1), величина $\Delta(\vartheta^F, \vartheta_{\text{inf}}^F)$ растет с увеличением времени торможения, достигая 3% уже при $\tau=0,006$ (~2 мин), 12% при $\tau=0,055$ (~20 мин) и 25% при $\tau=0,18$ (~65 мин). Величина

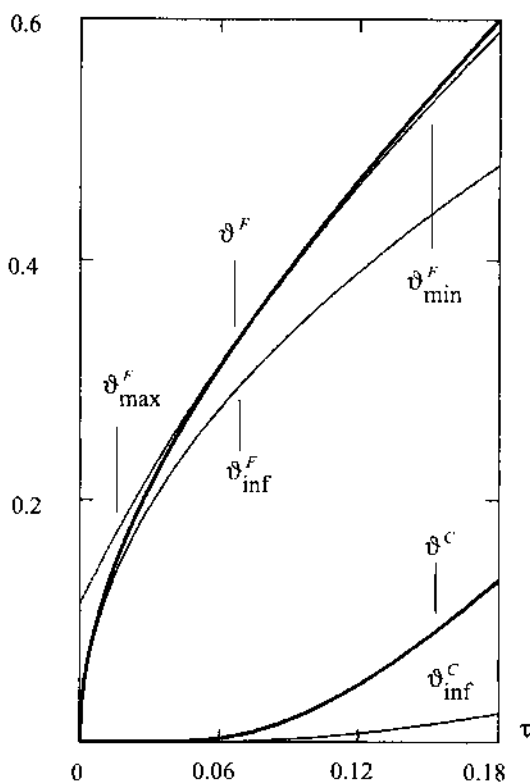


Рисунок 1 — Временные зависимости температуры поверхности и середины колеса для двумерной ϑ^F и ϑ^C и одномерной ϑ_{inf}^F и ϑ_{inf}^C моделей, приближения малых ϑ_{min}^F и больших ϑ_{max}^F чисел Фурье температуры ϑ^F

$\Delta(\vartheta^F, \vartheta_{\text{inf}}^F)$ падает с ростом температуры, достигая 750% при $\tau=0,055$ (~20 мин) и 460% при $\tau=0,18$ (~65 мин). Таким образом, температура середины колеса для двумерной модели на указанном временном интервале больше температуры «середины» колеса для одномерной полубесконечной модели более чем на два порядка.

ЛИНЕЙНО УМЕНЬШАЮЩИЙСЯ СО ВРЕМЕНЕМ ТЕПЛОВЫЙ ПОТОК

Используя теорему Дюамеля [1, 4], определим температуру колеса при произвольной временной зависимости плотности потока $q(t) = q_0 f(t)$

$$T'(r, t) = \frac{2q_0 a}{\lambda R} \left(\int_0^t f(\zeta) d\zeta + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n r/R)}{J_0(\alpha_n)} \int_0^t f(\zeta) e^{-\alpha_n^2 \frac{a(t-\zeta)}{R^2}} d\zeta \right). \quad (11)$$

Пусть $f(t) = (1 - t/t_k)$, где t_k — время полного торможения. Тогда выражение (11) имеет вид

$$T'(r, t) = \frac{2q_0 R}{\lambda} \left[\frac{at}{R^2} \left(1 - \frac{t}{t_k} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n r/R)}{\alpha_n^2 J_0(\alpha_n)} \cdot \left(1 - e^{-\alpha_n^2 \frac{at}{R^2}} - \frac{t}{t_k} + \frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \frac{at}{R^2}}}{\alpha_n^2 \frac{at}{R^2}} \right) \right]. \quad (12)$$

Перейдя к безразмерным переменным, получаем

$$\vartheta'(t, \tau) = 2\left[\tau \left(1 - \frac{\tau}{2t_k} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_0(\alpha_n t)}{\alpha_n^2 J_0(\alpha_n)} \left(1 - e^{-\alpha_n^2 \tau} - \frac{\tau}{t_k} + \frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2 \tau_k} \right) \right]. \quad (13)$$

Отметим, что при $t_k \rightarrow \infty$ выражение (13) совпадает с выражением (3). Температуры поверхности колеса ϑ^F и его центра ϑ^C соответственно равны

$$\begin{aligned} \vartheta^F = \vartheta'(1, \tau) &= 2\left[\tau \left(1 - \frac{\tau}{2t_k} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2} \left(1 - e^{-\alpha_n^2 \tau} - \frac{\tau}{t_k} + \frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2 \tau_k} \right) \right] = \\ &= 2\left[\tau \left(1 - \frac{\tau}{2t_k} \right) + \frac{1}{8} \left(1 - \frac{\tau}{t_k} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2} \left(\frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2 \tau_k} - e^{-\alpha_n^2 \tau} \right) \right], \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \vartheta^C = \vartheta'(0, \tau) &= 2\left[\tau \left(1 - \frac{\tau}{2t_k} \right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{J_0(\alpha_n) \alpha_n^2} \left(1 - e^{-\alpha_n^2 \tau} - \frac{\tau}{t_k} + \frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \tau}}{\alpha_n^2 \tau_k} \right) \right]. \end{aligned}$$

Рассмотрим зависимость температуры поверхности колеса ϑ'^F в приближении больших и малых чисел Фурье и сравним ее с аналогичной зависимостью для одномерной полубесконечной модели. Для $\tau \gg 1$ оставим в выражении (14) конечное число членов

$$\begin{aligned} \vartheta'_{\max} = & 2\left[\tau\left(1 - \frac{\tau}{2\tau_k}\right) + \frac{1}{8}\left(1 - \frac{\tau}{\tau_k}\right) + \frac{1}{\alpha_1^2}\left(\frac{1 - e^{-\alpha_1^2\tau}}{\alpha_1^2\tau_k} - \right.\right. \\ & \left. - e^{-\alpha_1^2\tau}\right) + \frac{1}{\alpha_2^2}\left(\frac{1 - e^{-\alpha_2^2\tau}}{\alpha_2^2\tau_k} - e^{-\alpha_2^2\tau}\right) + \\ & \left. + \frac{1}{\alpha_3^2}\left(\frac{1 - e^{-\alpha_3^2\tau}}{\alpha_3^2\tau_k} - e^{-\alpha_3^2\tau}\right) + \frac{1}{\alpha_4^2}\left(\frac{1 - e^{-\alpha_4^2\tau}}{\alpha_4^2\tau_k} - e^{-\alpha_4^2\tau}\right) + \dots\right]. \quad (15) \end{aligned}$$

Для $\tau \ll 1$ применим к системе уравнений (1) преобразование Лапласа, аналогичное преобразованию, использованному при получении выражений (8). Для $\tau \approx 1$ имеем

$$\vartheta'_{\min} = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left[1 - \frac{2\tau}{3\tau_k} + \sum_{n=2}^{\infty} (C_{2n-2} \frac{2^{n-1}\tau^{n-1}}{(2n-1)!!} (1 - \frac{2\tau}{(2n+1)\tau_k}) + \right.$$

$$\begin{aligned} & \left. + C_{2n-3} \frac{\tau^{n-2}\sqrt{\pi\tau}}{2(n-1)!} (1 - \frac{\tau}{n\tau_k})\right] = \\ & = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left[\left(1 - \frac{2\tau}{3\tau_k}\right) + \frac{\sqrt{\pi\tau}}{4}\left(1 - \frac{\tau}{2\tau_k}\right) + \frac{\tau}{4}\left(1 - \frac{2\tau}{5\tau_k}\right) + \frac{3\tau\sqrt{\pi\tau}}{32} \cdot \right. \\ & \left. \cdot \left(1 - \frac{\tau}{3\tau_k}\right) + \frac{2\tau^2}{160}\left(1 - \frac{2\tau}{7\tau_k}\right) + \frac{9\tau^2\sqrt{\pi\tau}}{128}\left(1 - \frac{\tau}{4\tau_k}\right) + \dots\right]. \quad (16) \end{aligned}$$

Для одномерной полубесконечной модели колеса [8, 9] температуры поверхности $\vartheta'_{\inf}$ и «центра» колеса ϑ'^c выраженные в указанных выше безразмерных переменных, равны:

$$\vartheta'_{\inf} = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left(1 - \frac{2\tau}{3\tau_k}\right); \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \vartheta'^c = & 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}}\left(e^{-\frac{1}{4\tau}}\left(1 - \frac{2\tau}{3\tau_k} - \frac{1}{6\tau_k}\right) - \right. \\ & \left. - \frac{\sqrt{\pi}}{2\sqrt{\tau}} \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2\sqrt{\tau}}\right)\left(1 - \frac{\tau}{\tau_k} - \frac{1}{6\tau_k}\right)\right). \quad (18) \end{aligned}$$

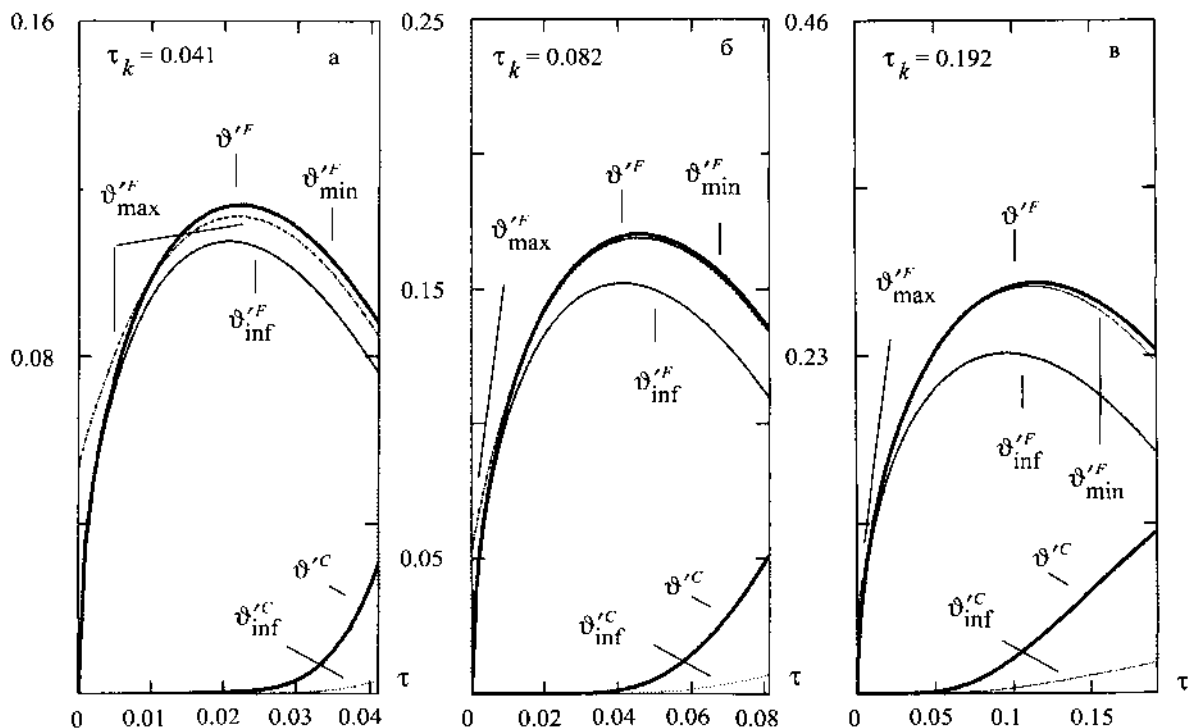


Рисунок 2 — Временные зависимости температуры поверхности и середины колеса для двумерной ϑ'^F и ϑ'^c и одномерной $\vartheta'_{\inf}$ и $\vartheta'^c_{\inf}$ моделей, приближения малых $\vartheta'_{\min}$ и больших $\vartheta'_{\max}$ чисел Фурье температуры ϑ'^F для трех значений времени полного торможения: а) $\tau_k = 0,041$ (~15 мин); б) $\tau_k = 0,082$ (~30 мин) и в) $\tau_k = 0,192$ (~70 мин)

Сравнивая выражения (17) и (16), отметим, что точное выражение для температуры поверхности колеса для одномерной полубесконечной модели есть первый член ряда приближения малых чисел Фурье для двумерной конечной модели.

На рис. 2 для трех значений времени полного торможения $\tau_k = 0,041$ (~15 мин), $0,082$ (~30 мин) и $0,192$ (~70 мин) представлены: временные зависимости температуры поверхности и середины колеса для двумерной ϑ'' и ϑ''_{inf} ($n=1000$) и одномерной ϑ''_{inf} и ϑ''_{inf} моделей, приближение малых

$$\vartheta''_{min} = 2\sqrt{\frac{\tau}{\pi}} \left[\left(1 - \frac{\tau}{3\tau_k}\right) + \frac{\sqrt{\pi\tau}}{4} \left(1 - \frac{\tau}{2\tau_k}\right) + \frac{\tau}{4} \left(1 - \frac{2\tau}{5\tau_k}\right) \right]$$

(разложение (16) вплоть до третьей круглой скобки) и больших

$$\vartheta''_{max} = 2\left[\tau \left(1 - \frac{\tau}{2\tau_k}\right) + \frac{1}{8} \left(1 - \frac{\tau}{\tau_k}\right) + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_i^2} \left(\frac{1 - e^{-\alpha_i^2 \tau}}{\alpha_i^2 \tau_k} - e^{-\alpha_i^2 \tau} \right) \right]$$

(разложение (15) вплоть до пятой круглой скобки) чисел Фурье зависимости ϑ'' . Для $\tau_k=0,041$ $\Delta(\vartheta''_{min}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ на всем временном интервале, а $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ только на интервале $0,007 \leq \tau \leq 0,035$. Для $\tau_k=0,082$ $\Delta(\vartheta''_{min}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ на всем временном интервале, а $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ — на интервале $0,008 \leq \tau \leq 0,082$. Для $\tau_k=0,192$ $\Delta(\vartheta''_{min}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ на интервале $0 \leq \tau \leq 0,182$, а $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ — на интервале $0,009 \leq \tau \leq 0,192$. Отметим, что для разных τ_k приведенная температура ϑ'' нормирована на разные значения $q_0(\tau_k)$. Если считать, что временная зависимость плотности теплового потока целиком определяется временной зависимостью скорости, то для равнозамедленного движения имеем $\frac{q_0(\tau_{k1})}{q_0(\tau_{k2})} = \frac{\tau_{k2}}{\tau_{k1}}$.

Величина $\Delta(\vartheta''(\tau), \vartheta''_{inf}(\tau))$ растет со временем и достигает максимума в точке останова. Для $\tau_k=0,041$ она составляет 16% и для $\tau_k=0,082$ — 24%, а для $\tau_k=0,192$ — 42%. Температуры центра колеса ϑ'' и ϑ''_{inf} для малых времен торможения существенно меньше температур поверхности трения. На рис. 2а их значения увеличены в сто, а на рис. 2б — в пять раз. Величины $\Delta(\vartheta''_{inf}, \vartheta''_{inf})$ для $\tau_k=0,041, 0,082$ и $0,192$ в точке останова падают с ростом времени полного торможения и достигают соответственно значений 930, 670 и 440%. Таким образом, как и для постоянного теплового потока, температура середины колеса для двумерной модели на указанном временном интервале больше температуры «середины» колеса для одномерной модели более чем на два порядка.

На рис. 3 построены области значений переменных $\tau, \tau_k \leq 0,25$ (~1,5 ч), для которых величины $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ и $\Delta(\vartheta''_{min}, \vartheta'')$ меньше или равны 3%. Кривые 1 и 1' соответствуют трем членам (три круглые скобки) в разложении (15) приближения больших чисел Фурье,

кривые 2 и 2' — четырем и кривые 3 и 3' — пяти членам. С ростом τ_k кривые 1', 2' и 3' переходят друг в друга и в прямую $\tau=\tau_k$. Величина $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ при соответствующем представлении ϑ''_{max} (15) для значений τ , лежащих между кривыми 1 и 1', 2 и 2', 3 и 3'. Для любого представления приближения больших чисел Фурье для любых τ_k всегда существует область значений τ , примыкающая к 0, для которой $\Delta(\vartheta''_{max}, \vartheta'')$ $> 3\%$. Это связано с тем, что ϑ''_{max} справедливо только для больших τ . В частности, ϑ''_{max} не стремится к нулю при $\tau \rightarrow 0$. Для любого представления приближения больших чисел Фурье всегда существует также значение τ_k , начиная с которого ϑ''_{max} хорошо описывает точное решение в интервале от некоторого значения τ до τ_k , т.е. до точки останова.

Кривая 4 соответствует двум членам (две круглые скобки) в разложении (16) приближения малых чисел Фурье, кривая 5 — трем членам в этом разложении. Для относительно малых τ_k кривые 4 и 5 имеют общее начало — прямую $\tau=\tau_k$. Величина $\Delta(\vartheta''_{min}, \vartheta'')$ $\leq 3\%$ при соответствующем представлении ϑ''_{min} (16) для значений τ , лежащих между кривыми 4, 5 и осью $\tau=0$. Для любого представления приближения малых чисел Фурье всегда существует свое значение τ_k , до которого

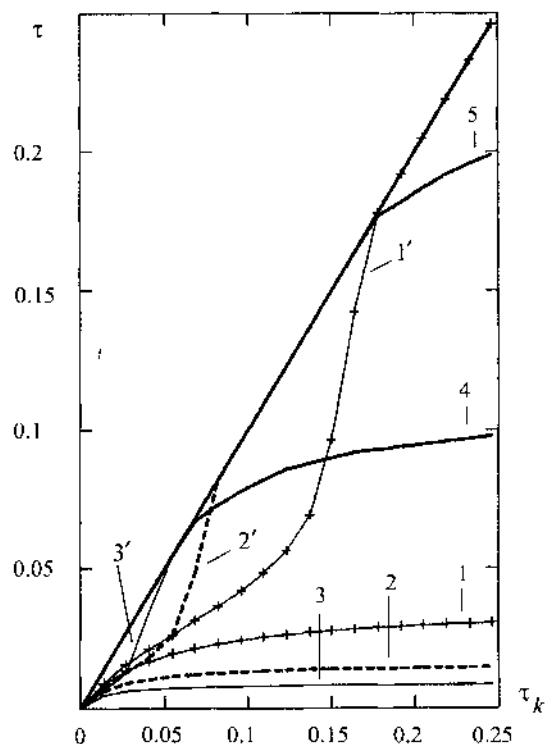


Рисунок 3 — Области значений переменных τ, τ_k для которых приближения больших ϑ''_{max} (кривые 1, 1', 2, 2', 3, 3') и малых ϑ''_{min} (кривые 4, 5) чисел Фурье хорошо описывают зависимость температуры поверхности колеса ϑ'' от времени



приближение малых чисел Фурье хорошо описывает точное решение на всем интервале значения τ от 0 до τ_k , т.е. до точки останова. При больших значениях τ_k на конечном временном отрезке, примыкающем к τ_k , для любого приближения малых чисел Фурье $\Delta(\theta'_{\min}, \theta'_{\max}) > 3\%$. Это связано с тем, что $\theta'_{\min}$ справедливо только для малых τ . Из приведенного выше анализа (см. рис. 3) следует, что приближения больших и малых чисел Фурье совместно хорошо описывают зависимость θ' во всем интервале времен торможения.

Основной особенностью выражений (13, 14) является наличие максимума температуры колеса в момент времени, в общем случае не совпадающий с моментом его остановки. Найдем из условий

$$d\theta' / d\tau = 0$$

время $\tau_{\max}$ достижения максимума температуры поверхности колеса

$$1 - \frac{\tau_{\max}}{\tau_k} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2} (\alpha_n^2 e^{-\alpha_n^2 \tau_{\max}} - \frac{1}{\tau_k} + \frac{e^{-\alpha_n^2 \tau_{\max}}}{\tau_k}) = 0. \quad (19)$$

Подставив найденное значение в уравнение (14), получим выражение для максимальной температуры поверхности колеса

$$\theta'_{\max} = 2(\tau_{\max}(1 - \frac{\tau_{\max}}{2\tau_k}) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_n^2} (1 - e^{-\alpha_n^2 \tau_{\max}} - \frac{\tau_{\max}}{\tau_k} + \frac{1 - e^{-\alpha_n^2 \tau_{\max}}}{\alpha_n^2 \tau_k})). \quad (20)$$

Для полубесконечной одномерной модели время достижения максимальной температуры поверхности колеса $\tau_{\inf \max}$ и значение $\theta'_{\inf \max}$ равны соответственно

$$\tau_{\inf \max} = \frac{\tau_k}{2} \quad (21)$$

$$\theta'_{\inf \max} = \frac{4}{3} \sqrt{\frac{\tau_k}{2\pi}}. \quad (22)$$

Расчеты показывают, что $\Delta(\tau_{\max}, \tau_{\inf \max})$ и $\Delta(\theta'_{\max}, \theta'_{\inf \max})$ растут с ростом времени полного торможения, достигая соответственно 11 и 12% при $\tau_k = 0,082$ (~30 мин) и 20 и 21% при $\tau_k = 0,192$ (~70 мин).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании решения нестационарной задачи теплопроводности для двумерной модели колеса и двух типов тепловых режимов, возникающих при трении колодки о колесо, получены простые аналитические приближения для температуры поверхности колеса на всем интервале времен торможения. Показано, что область корректного использования одномерной полубесконечной модели колеса для расчетов температуры его поверхности ограничена временем порядка 25—30 мин.

Авторы признательны В.Н. Муртазину за интерес к работе и обсуждение результатов.

Литература

1. Карслоу Т., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука. — 1964. — 487 с.
2. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы теории теплопроводности. Ч. 1. — М.: Высшая школа. — 1982. — 327 с.
3. Доронин И. С. Определение пространственно-временных тепловых полей при торможении подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. — 1985. — № 4. — С. 41—43.
4. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. — М.: Высшая школа, 2001. — 550 с.
5. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовица и И. Стиган. — М.: Наука. — 1979.
6. Балакин В.А., Галай Э.И. Тепловой режим фрикционного тормоза электропоезда при скоростном регулировании силы нажатия колодок // Трение и износ. — 1997. — 18. — № 25. — С. 636—642.
7. Балакин В.А., Галай Э.И. Расчет температурных полей в дисковом тормозе железнодорожного подвижного состава // Трение и износ. — 1998. — 19. — № 3. — С. 323—330.
8. Першин В. К., Фишбейн Л. А. Моделирование тепловых режимов при фрикционном взаимодействии колеса и тормозной колодки // Транспорт Урала. — 2005. — № 1(4). — С. 34—44.
9. Фишбейн Л. А., Першин В. К. Расчет температурных характеристик тормозной колодки // Трение и износ. — 2003. — № 24. — С. 371—377.

ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ С ТРАВЕРСАМИ



Юрий Дмитриевич Силуков, д.т.н.,
профессор каф. транспорта и
дорожного строительства, УГЛУ



Александр Михайлович Боровских,
к.т.н., УГЛУ

В гусеничных тракторах применяются следующие типы подвесок. Балансирная, или эластичная, когда масса трактора передается на гусеницу и почву через опорные катки, упруго соединенные с остовом трактора. Например, у тракторов ДТ-75, ДТ-74, Т-150. При этом оси опорных катков объединены в каретки — которые одним жестким шарниром соединяются с остовом трактора.

Подвеска трактора осуществляется четырьмя балансирами каретками, по две с каждой стороны, которые устанавливаются на концах поперечных брусьев рамы.

Эластичная подвеска [1, 2] обеспечивает гусеницам возможность приспосабливаться к неровностям пути, а толчки амортизируются упругими элементами подвески. Однако такой тип подвески увеличивает затраты мощности на передвижение самого трактора, копируя все неровности почвы.

При торсионной подвеске каждый каток или группа катков крепятся на концах рычагов, соединенных с торсионным валом, один конец которого установлен в трубе балансира, а второй заделан в противоположном лонжероне рамы. Такую подвеску имеют тракторы Т-140, Т-180 и многие специальные машины.

Полужесткая подвеска. Она применяется на тракторах типа Т-130, Т-170, Т-100М. Такая подвеска имеет две тележки, соединенные с корпусом заднего моста шарнирно — каждая в двух точках. Тележки имеют возможность качаться в вертикальной плоскости независимо друг от друга, а трехточечное соединение шарнирами с рамой трактора и тележками гусениц предохраняет раму от перекосов.

Полужесткая подвеска тракторов Т-130, Т-100М и Т-170 обеспечивает снижение мощности, необходимое на перекачивание самого трактора, но при переезде препятствий (бревна, поваленного дерева, бугра) трактор, перевалившись через препятствие, сильно ударяется передней частью гусениц о почву.

Это вызывает усиленный и быстрый износ некоторых частей и создает весьма неприятные условия для работы тракториста.

Таким образом, движитель с полужесткой подвеской не обеспечивает плавности хода, которая является важным эксплуатационным качеством машины. Для характеристики плавности пользуются величиной ускорения. Этот показатель удобный и достаточно точный. За основной количественный показатель интенсивности колебаний принимаются вертикальные ускорения остова в зоне центра тяжести и в местах крепления передних и задних кареток. Эти колебания характеризуют динамическую нагруженность узлов ходовой части трактора. При выборе конструкции всей подвески и кареток важнейшим показателем является коэффициент динамичности K , который представляет собой отношение максимальной нагрузки R_{max} на опору в движении к статической нагрузке R_{cm} [3]

$$K = \frac{R_{max}}{R_{cm}}.$$

В этой работе исследовали макетный образец скоростного трактора Э-151. В процессе опытов применяли три приведенных жесткости пружины и каретки. Установлено, что увеличение жесткости привело к возрастанию частоты вертикальных и угловых колебаний. Отмечено также, что вертикальные ускорения возрастают с увеличением скорости. На эти ускорения оказывает влияние и фон дороги. Так, при движении по пашне во время пахоты коэффициент динамичес-



ти оказался для передней подвески 1,16—1,38, а для задней 1,8—2,3, при движении по грунтовой дороге он составил соответственно 1,26—1,54 и 1,65—2,33. Установлено, что уменьшение жесткости кареток снижает величину вертикальных ускорений. Наиболее тяжелые условия эксплуатации движителя наблюдались при движении по грунтовой дороге.

Желательно иметь такую подвеску, которая сохраняла бы достоинства двигателя с эластичной, балансирующей или торсионной подвеской [4] в отношении плавности работы и преимущества двигателя с полужесткой подвеской в отношении снижения усилия на перекачивание самого трактора. Такой тип подвески был предложен в УГЛУТУ в 2004 г. Трактор с этой подвеской имеет две независимые тележки. Каждая опирается через две траверсы на опорные катки (рис. 1) [5]. Траверсы 1 крепятся к рамам тележек 3 через оси 2 и кронштейны 4. Опорные катки 5 установлены в траверсах 1 на своих осях. Количество катков 3 может быть и больше. Так, для обеспечения допустимого воздействия на почву для гусеничных тракторов Т-150 и ДТ-175С необходимо увеличение числа опорных катков с одной стороны с четырех до восьми. По шесть катков имеет ходовая система трактора Т-90С, но катки объединены в три обычных балансирующие каретки.

На рис. 1а показан переезд гусеничного трактора через препятствие. Трактор имеет обычную полужесткую подвеску. На рис. 1б показана схема переезда через препятствие (небольшая горка) предлагаемого трактора. Естественно, что трактор, имеющий такую подвеску, будет двигаться более плавно, испытывать меньшие удары при переезде препятствий, например поваленных деревьев.

Одновременно нужно отметить, что при преодолении незначительных препятствий (борозд, небольших бугров) трактор будет иметь достоинство трактора с полужесткой подвеской, особенно при увеличении опорных катков с трех до четырех или пяти. Как видно из схем, устойчивость тележки повышается с увеличением количества катков одной тележки. Так, если число катков в тележке всего три, то при положении первого катка над впадиной неподвижное положение траверсы относительно своей оси вращения сохранится только в том случае, если момент от действия гусеницы на первый опорный каток будет больше, чем момент от действия толкающего усилия от рамы трактора, (рис. 2, 3).

Если число катков в тележке четыре, то способность ее к переезду через впадины значительно выше, так как пока второй (по движению трактора) каток не окажется над впадиной, тележка не изменит своего положения относительно рамы трактора весьма значительно от горизонтального положения. Но после

этого отклонения машина ударяется о землю после переезда через препятствие.

Расстояние, на которое поднимается передняя часть, можно вычислить по величине угла отклонения и половины базы опорной длины гусениц, т.е.

$$H = \frac{L}{2} \cdot \sin \alpha,$$

где H — величина максимального подъема гусеницы над землей, передней части (рис. 1а);

L — длина опорного участка гусеницы.

Скорость приземления передней части трактора

$$Y = g \cdot H,$$

где g — земное ускорение.

Сила удара энергии, определяется как

$$E = \frac{m \cdot V^2}{2},$$

где m — масса половины трактора (считаем, что центр тяжести расположен на середине трактора).

Принимаем условие, что удар производится мгновенно, то есть $t = 0$.

Таким образом, уменьшение ударной нагрузки является главной задачей, а применение гусеничного трактора с комбинированной подвеской в какой-то степени позволяет решить эту задачу.

Учитывается, что при обработке полей удельное давление тракторов на почву должно быть 0,045 МПа. Для современных гусеничных тракторов рекомендуется применение восьмикатковой ходовой системы, с опусканием ведущего и направляющего колеса на почву. При такой ходовой системе плавность хода улучшается и удельное давление на почву становится еще меньше.

Схема сил, действующих на каретки с тремя и четырьмя катками, представлена на рис. 2, 3. На рис. 3а показана схема трехкатковой каретки при переезде канавки или борозды. Как видно из схемы, на катки действуют силы P от массы трактора, сила Q , с которой рама трактора действует на ось каретки, реакции почвы S , силы F сопротивления качению, силы T натяжения гусеницы и силы R , равнодействующие от натяжения гусеницы. Кроме этих сил, действуют моменты инерции катков, силы трения в их подшипниках. Нужно определить, при каких условиях каретка сохранит горизонтальное положение при переезде через канаву или борозду и не повернется вокруг своей оси, какую ширину этой канавы она сможет преодолеть без изменения своего горизонтального положения. Рассмотрим работу трехкатковой каретки. Вторая каретка на рис. 3а не показана, так как она будет работать аналогично первой. Естественно, что, пока все катки находятся на почве, каретка со-

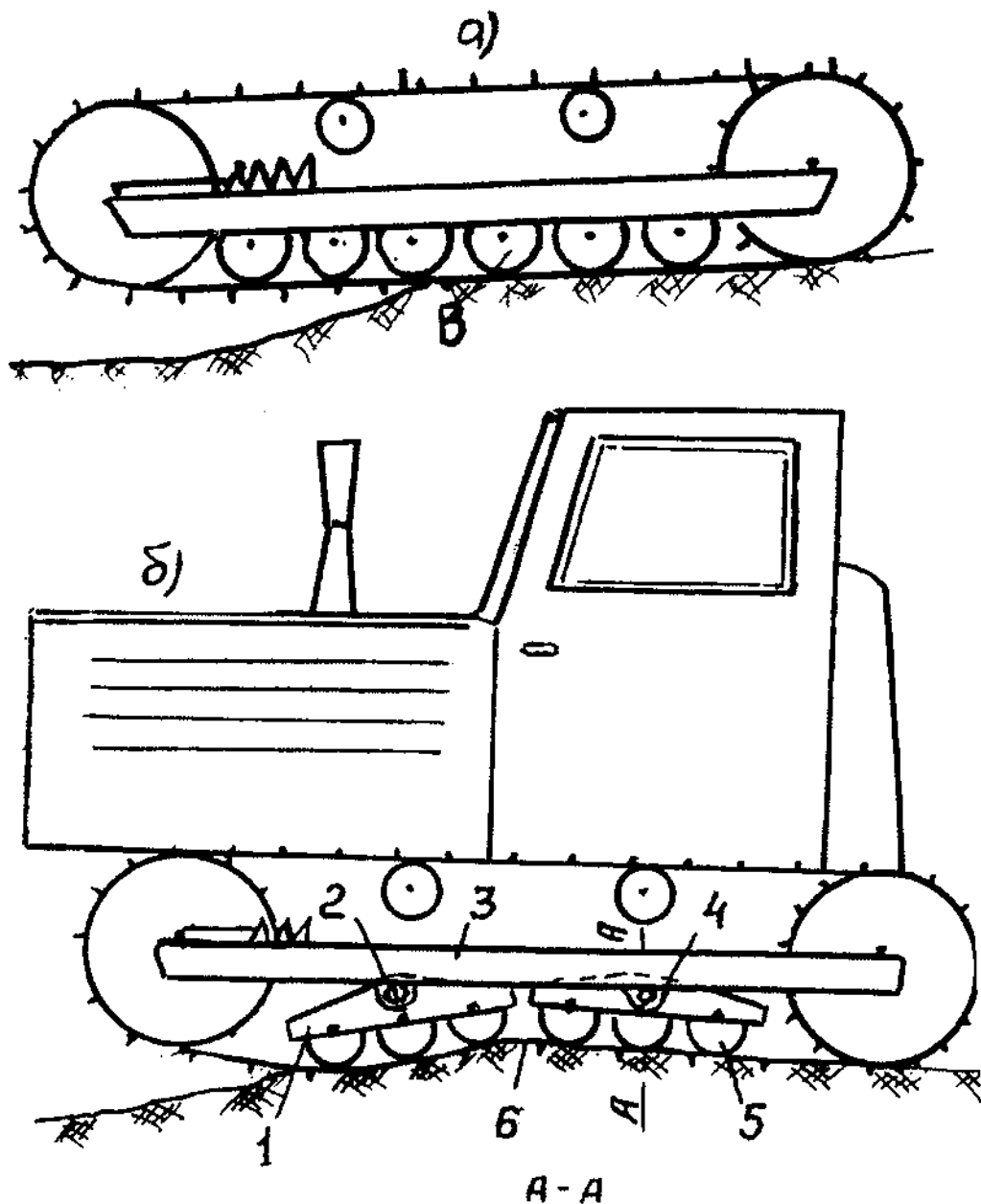
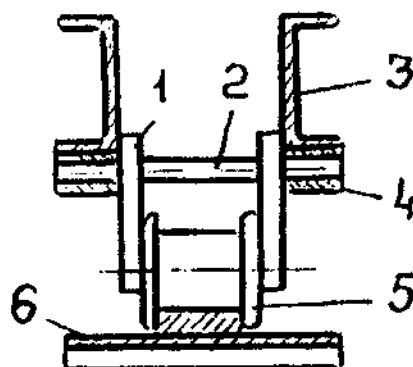


Рисунок 1 — Движение для гусеничных машин:

а) положение гусениц перед препятствием; б) переезд через препятствие.

1 — траверса; 2 — ось траверсы;
3 — рама трактора; 4 — опора;
5 — опорные катки; 6 — гусеница





храняет свое положение, но как только первый каток окажется над канавой, положение каретки будет определяться взаимодействием всех сил, действующих на нее. Чтобы определить, когда каретка начнет поворачиваться, рассмотрим ее положение при движении трактора и в статическом состоянии, на ровной дороге, когда первый каток находится на почве (рис. 2а). В статическом состоянии ось каретки должна быть на одной вертикали с осью среднего катка (рис. 2б), чтобы обеспечить одинаковое давление на опорные катки каретки. При разгоне картина несколько меняется. Сила трения F создает момент, который стремится повернуть траверсу каретки против часовой стрелки. Этому препятствует только дополнительная сила S_1 под первым катком. Для ее определения составим уравнение моментов относительно точки O

$$S_1 \cdot a - \sum_1^n F \cdot h - \sum_1^n \frac{M_r \cdot h}{r_k} - \sum_1^n \frac{M_j \cdot h}{r_k} - P_j \cdot (h - h_1) = 0,$$

где F — сила трения качения одного катка по гусенице;

h — высота от гусеницы до оси каретки;

h_1 — высота до центра тяжести каретки;

n — число катков;

M_r — момент трения в подшипниках опорного катка;

r_k — радиус катка;

M_j — момент инерции катка при разгоне трактора;

P_j — сила инерции самой каретки при увеличении скорости трактора.

Тогда сила S_1 определится

$$S_1 = \frac{\sum_1^n F \cdot h + \sum_1^n \frac{M_r \cdot h}{r_k} + \sum_1^n \frac{M_j \cdot h}{r_k} + P_j \cdot (h - h_1)}{a}.$$

Эта сила добавляется при разгоне машины к силе реакции почвы S на первый каток, когда он находится на почве, а не над канавой.

При равномерном движении формула для определения S_1 упростится. Силы инерции при этом будут равны нулю, то есть

$$S_1 \cdot a - \sum_1^n F \cdot h - \sum_1^n \frac{M_r \cdot h}{r_k} = 0,$$

откуда

$$S_1 = \frac{\sum_1^n F \cdot h + \sum_1^n \frac{M_r \cdot h}{r_k}}{a}.$$

Эта сила добавляется к силе S_1 воздействия катка на почву (дополнительная сила).

При торможении трактора уравнение движения каретки примет вид

$$S_1 \cdot a - \sum_1^n F \cdot h - \sum_1^n \frac{M_r}{r_k} + \sum_1^n \frac{M_j}{r_k} + P_j \cdot (h - h_1) = 0,$$

откуда

$$S_1 = \frac{\sum_1^n F \cdot h + \sum_1^n \frac{M_r}{r_k} - \sum_1^n \frac{M_j}{r_k} - P_j \cdot (h - h_1)}{a}.$$

Но сила S_1 при равномерном движении увеличивает давление на первый каток и снижает его на последний, т.е. давление на опорные катки при движении становится неодинаковым, что увеличивает сопротивление на перекачивание трактора. Чтобы нейтрализовать действие дополнительной силы S_1 , ось траверсы каретки нужно сместить вправо. Величина этого смещения при равномерном движении определится из уравнения относительно точки O

$$Q \cdot C = \sum_1^n F \cdot h + \sum_1^n \frac{M_r}{r_k},$$

где Q — масса трактора, приходящаяся на одну каретку;

отсюда

$$C = \frac{\sum_1^n F \cdot h + \sum_1^n \frac{M_r}{r_k}}{Q}.$$

Таким образом, чтобы обеспечить равную нагрузку на опорные катки, ось каретки должна быть смещена назад на величину C . Естественно, в статическом состоянии нагрузка на катки будет различная. Зато при работе давление на опорные катки будет одинаково, а значит, уплотнение почвы минимальное и меньше сопротивление на перекачивание.

Рассмотрим переезд трактора (рис. 3) через канаву или борозду. При этом первый каток оказывается без опоры, но гусеница своим натяжением T будет частично удерживать его от провала. Силу T можно взять как половину предварительного натяжения амортизатора. Оно равно

$$P_n = G \cdot \sin \alpha,$$

где G — масса трактора;

α — уклон, на котором должен стоять заторможенный трактор, $\alpha \geq 35^\circ$.

Так как натяжение гусеницы приходится на две ветви, то сила T

$$T = \frac{G \cdot \sin \alpha}{2}.$$

Натяжение T создает равнодействующую силу R , которая определяется из выражения

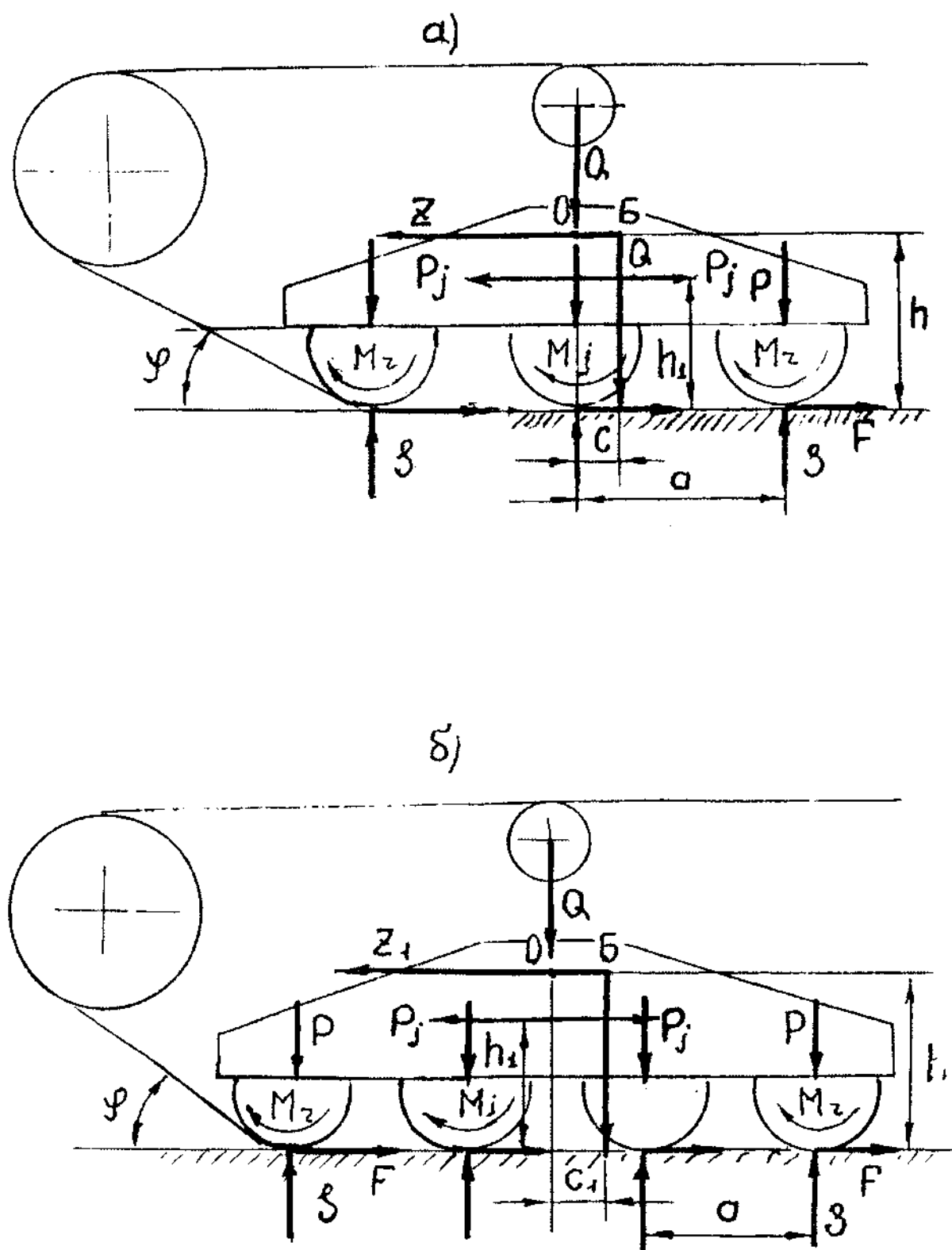


Рисунок 2 — Переезд трактора через борозды:
а) с трехкатковой системой; б) с четырехкатковой

$$R = 2T \cdot \frac{\sin \varphi}{2},$$

где φ — угол между гусеницей и дорогой.

Тогда вертикальная сила X от R , противодействующая силе P , определяется из формулы

$$X = R \cdot \cos \frac{\varphi}{2}.$$

Эта сила будет частично поддерживать каток, чтобы он не провалился в канаву. Одновременно этому же будет препятствовать сила Q — масса трактора, приходящаяся на одну из четырех кареток. То есть на каретку приходится в среднем

$$Q = \frac{G}{4},$$

где G — масса трактора.

При движении Q может изменяться в зависимости от многих факторов: наличия навесных орудий, крюкового усилия и др.

При равном распределении нагрузки на один каток приходится сила P от массы трактора, т. е. при четырех каретках

$$P = \frac{G}{12},$$

где G — масса всего трактора;

12 — число опорных катков.

Так как ось каретки смещена относительно оси среднего катка назад, то даже с учетом сил F давление на катки одинаково. Если бы гусеницы не было, то при наезде первого катка на канавку и отсутствии под ним почвы создалось бы крайне неустойчивое положение каретки относительно оси Б. Тогда вполне возможен поворот каретки против часовой стрелки. Но есть гусеница, и как только передний каток начнет проваливаться в канавку, сразу же резко увеличивается сила R , так как угол φ возрастет. Она будет препятствовать повороту каретки. Незначительное сопротивление этому явлению может оказать и смещение центра тяжести от каретки назад относительно оси среднего опорного катка. Особенно это скажется на хорошей дороге, где коэффициент качения незначительный и усилие Z снижается. Таким образом, первый каток может провалиться до такой глубины, при которой сила X будет равна силе P , т. е. условием равновесия каретки будет $X \geq P$.

Рассмотрим случай, когда каретка имеет четыре опорных катка (рис. 26). Чтобы давление катков на почву при равномерном движении трактора было одинаковым, определим величину смещения от каретки относительно середины второго и третьего катка. Сно-

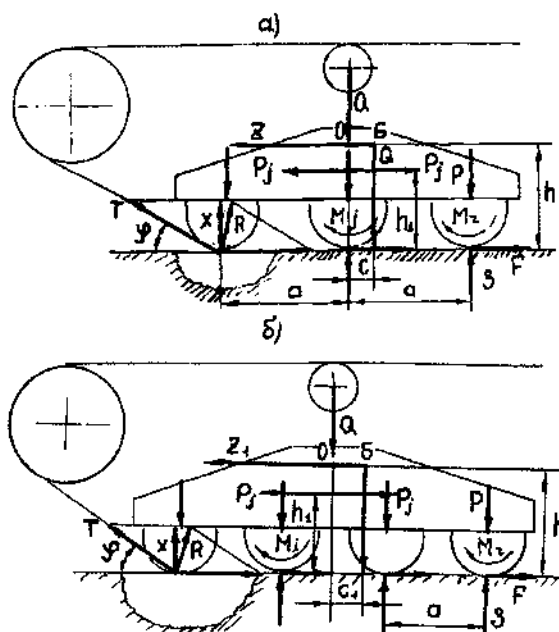


Рисунок 3 — Переезд трактора через канаву:

а) с трехкатковой кареткой;

б) с четырехкатковой

ва составим уравнение сил, действующих на каретку относительно точки О (рис. 26)

$$Q \cdot C_1 = \sum F_i \cdot h + \sum \frac{M_r}{r_k}.$$

В данном случае $F_i > F$, так как катков стало четыре. Откуда

$$C_1 = \frac{\sum F_i \cdot h + \sum \frac{M_r}{r_k}}{Q},$$

где C_1 — величина смещения оси каретки относительно ее середины;

$\sum F_i$ — сумма сил трения качения четырехкатковой каретки.

Рассмотрим переезд трактора через канаву при четырехкатковых каретках (рис. 36). Разумеется, пока первый каток заехал на канаву, а три находятся на почве, каретка не изменит своего положения. Да и гусеница своим натяжением поддерживает первый каток. Но если ширина канавы будет больше, чем расстояние между катками, и второй каток тоже окажется над канавой, каретка наклонится против часовой стрелки. Величина поворота будет ограничиваться только гусеницей, которая будет действовать на два опорных катка почти так же, как и в предыдущем слу-

40

чае на один. Подытоживая вышесказанное, нужно отметить следующее.

1. Плавность хода трактора с комбинированной подвеской, состоящей из четырех независимых кареток, с катками, жестко закрепленными на них, будет лучше, чем у тракторов с полужесткой подвеской. Сопротивление на перекачивание трактора снижается по сравнению с трактором, имеющим балансирные подвески.

2. Ось кареток нужно делать по возможности ниже. При этом снижается момент от сил трения качения катков по гусенице.

3. Ширина преодолеваемой канавки без изменения положения каретки будет больше у четырехкатковой тележки по сравнению с трехкатковой, а плавность хода лучше.

4. Ось каретки должна быть смещена от ее середины назад на величину C (рис. 3а) для облегчения условий переезда через канавки и нейтрализации действия сил от трения качения катков на поворот каретки.

5. Применение четырехкатковых кареток по сравнению с трехкатковыми снижает удельное давление трактора на почву.

6. Ширина преодолеваемой канавки без изменения положения каретки равна расстоянию между катками для четырехкатковой каретки. Для трехкатковой при одинаковых данных положение каретки при переезде неустойчиво.

7. Объединение восьми катков в две тележки, как предлагается заявкой УГЛТУ, даст еще больший эффект при переезде через препятствие. При этом колебание трактора и удары о почву значительно снизятся.

ВЫВОДЫ

1. Объединение шести катков, а тем более восьми в две каретки сохраняет частичные достоинства балансирной подвески и в то же время распределяет давление массы трактора на почву более равномерно, тем самым сохраняя достоинства полужесткой подвески.

2. Установка двух тележек на общей раме значительно улучшит плавность хода трактора по сравнению с трактором, имеющим полужесткую подвеску, и значительно снизит удары передней части трактора о почву при переезде через препятствия.

Литература

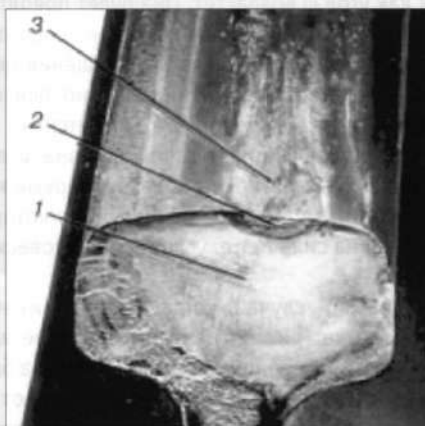
1. Васильев А. В., Шокин О. П. Исследование плавности хода гусеничного трактора с полужесткой ходовой частью // Труды НАТИ. — 1952. — Вып. 6. — 80 с.
2. Пономаренко В. М. Исследование плавности хода трактора ДТ-75 // Труды НАТИ. — 1975. — Вып. 240. — 73 с.
3. Кутин Л. Н., Попов Е. Г. Экспериментальное исследование плавности хода гусеничного трактора. — 1969. — 123 с.
4. Нигородов В. В., Токарев Д. И. Повышение долговечности гусениц тракторов // ЦНИИТЭИ В/О Сельхозтехники, 1971. — 45 с.
5. Пат. N245702 РФ Движитель для гусеничных машин / А. М. Боровских, Е. Г. Кучумов. — Оpubл. 27.05.05. — Бюл. № 15. — 2 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Пробоксовка колес. Скольжение колес по рельсам вызывает повреждение (прижог) поверхности рельса. Из-за интенсивного трения температура поверхности рельса может превысить температуру структурных превращений эвтектоидной перлитной стали в аустенит, что может привести к образованию мартенситных слоев. При неблагоприятных условиях из-за этого могут возникать поперечные трещины (рис. 3.28).

Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Лангрен, Х. Турне, В. Эберсен. — М.: Интекст, 2002. — 408 с.

Рис. 3.28. Поперечная трещина в рельсе 1, возникшая от повреждения поверхности 2,3 из-за пробоксовки колес по рельсам



ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ДИНАМИКИ ВИБРОТРАНСПОРТИРУЮЩИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ



Сергей Алексеевич Румянцев,
д.т.н., профессор каф. прикладной
математики, УрГУПС



Евгений Борисович Азаров,
инженер, УрГУПС

Статья посвящена исследованию нестационарной динамики ВТМ с использованием математической модели электромеханической системы «вибромашина - электропривод» в случае привода от асинхронных двигателей различных типов.

В статье [1] описаны принцип работы вибротранспортирующих машин (ВТМ) и дифференциальные уравнения движения электромеханической системы «вибромашина – электропривод» в случае независимо вращающихся вибровозбудителей (ВВ). В качестве приводных двигателей для ВТМ могут быть использо-

ваны асинхронные двигатели как основного исполнения, так и их модификации.

Система дифференциальных уравнений ВТМ с асинхронными двигателями получена в работе [1] в виде

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{1}{M} \left[-k_x \dot{x} - k_{x\varphi} \dot{\varphi} - c_x x - c_{x\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i (\ddot{\varphi}_i \sin \varphi_i + \dot{\varphi}_i^2 \cos \varphi_i) \right], \\
 \ddot{y} &= \frac{1}{M} \left[-k_y \dot{y} - k_{y\varphi} \dot{\varphi} - c_y y - c_{y\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i (\dot{\varphi}_i^2 \sin \varphi_i - \ddot{\varphi}_i \cos \varphi_i) - F_{y\text{эл}} \right], \\
 \ddot{\varphi} &= \frac{1}{J} \left[-k_{x\varphi} \dot{x} - k_{y\varphi} \dot{y} - k_\varphi \dot{\varphi} - c_{x\varphi} x - c_{y\varphi} y - c_\varphi \varphi + \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i r_i [\dot{\varphi}_i^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \ddot{\varphi}_i \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi)] + M_{y\text{эл}} \right], \\
 \ddot{\varphi}_i &= \frac{1}{J_i} [A_i (\psi_{i2} \psi_{i3} - \psi_{i1} \psi_{i4}) - R_i(\dot{\varphi}_i)] + \\
 &\quad + \frac{m_i \varepsilon_i}{J_i} [\ddot{x} \sin \varphi_i - \ddot{y} \cos \varphi_i - g \cos \varphi_i - r_i \ddot{\varphi} \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - r_i \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi)] \\
 \psi_{i1} &= U_m \cos(\omega_c t + \alpha) - K_{i1} \psi_{i1} + K_{i2} \psi_{i3}; \\
 \psi_{i2} &= U_m \sin(\omega_c t + \alpha) - K_{i1} \psi_{i2} + K_{i2} \psi_{i4}; \\
 \psi_{i3} &= -K_{i3} \psi_{i3} + K_{i4} \psi_{i1} - p_i \dot{\varphi}_i \psi_{i4}; \\
 \psi_{i4} &= -K_{i3} \psi_{i4} + K_{i4} \psi_{i2} + p_i \dot{\varphi}_i \psi_{i3}; \\
 &\quad (i = 1, \dots, n).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Коэффициенты $K_{i1} - K_{i4}$ определяются по формулам

$$K_{i1} = \frac{r_{is} L_{ir}}{L_{is} L_{ir} - M_i^2}; \quad K_{i2} = \frac{r_{is} M_i}{L_{is} L_{ir} - M_i^2};$$

$$K_{i3} = \frac{r_{ir} L_{is}}{L_{is} L_{ir} - M_i^2}; \quad K_{i4} = \frac{r_{ir} M_i}{L_{is} L_{ir} - M_i^2}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ РЕАЛЬНОЙ ТРЕХФАЗНОЙ МАШИНЫ

В дифференциальные уравнения входят токи идеализированной двухфазной машины. Для расчета токов реальной трехфазной машины можно воспользоваться формулами обратных преобразований, которые для статорных и роторных величин имеют вид [2]:

$$i_A = i_{u1} \cos \omega_k t - i_{v1} \sin \omega_k t + i_{u0};$$

$$i_B = i_{u1} \cos(\omega_k t - 120^\circ) - i_{v1} \sin(\omega_k t - 120^\circ) + i_{u0};$$

$$i_C = i_{u1} \cos(\omega_k t + 120^\circ) - i_{v1} \sin(\omega_k t + 120^\circ) + i_{u0};$$
(2)

$$i_a = i_{u2} \cos(\omega_k t - \varphi) - i_{v2} \sin(\omega_k t - \varphi) + i_{u0};$$

$$i_b = i_{u2} \cos(\omega_k t - \varphi - 120^\circ) - i_{v2} \sin(\omega_k t - \varphi - 120^\circ) + i_{u0};$$

$$i_c = i_{u2} \cos(\omega_k t - \varphi + 120^\circ) - i_{v2} \sin(\omega_k t - \varphi + 120^\circ) + i_{u0};$$
(3)

где $i_{u1}, i_{v1}, i_{u2}, i_{v2}$ – токи статора и ротора по осям u и v ;
 ω_k – скорость вращения координатной системы u, v ;
 φ – угол между статором и ротором.

Для трехфазной системы ток i_0 равен току нулевой последовательности и при соединении обмоток в звезду и отсутствии нулевого провода он равен нулю [2].

Для системы координат α, β , неподвижной относительно статора, $\omega_k = 0$ и уравнения (2), (3) могут быть записаны в виде

$$i_A = i_{\alpha} \cos 0 - i_{\beta} \sin 0;$$

$$i_B = i_{\alpha} \cos(-120^\circ) - i_{\beta} \sin(-120^\circ);$$

$$i_C = i_{\alpha} \cos 120^\circ - i_{\beta} \sin 120^\circ;$$
(4)

$$i_a = i_{\alpha} \cos(0 - \varphi) - i_{\beta} \sin(0 - \varphi);$$

$$i_b = i_{\alpha} \cos(-\varphi - 120^\circ) - i_{\beta} \sin(-\varphi - 120^\circ);$$

$$i_c = i_{\alpha} \cos(-\varphi + 120^\circ) - i_{\beta} \sin(-\varphi + 120^\circ).$$
(5)

Для обмоток статора можно записать

$$i_A = i_{\alpha};$$

$$i_B = -0,5 i_{\alpha} + 0,866 i_{\beta};$$

$$i_C = -0,5 i_{\alpha} - 0,866 i_{\beta}.$$
(6)

Таким образом, ток i_{α} будет равен реальному фазному току одной из фаз статора трехфазной машины.

ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ВХОДЯЩИЕ В СИСТЕМУ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Важным этапом построения математической модели является определение числовых значений параметров, входящих в систему дифференциальных уравнений (1). В нее входят следующие величины: амплитуда питающего напряжения U_m , угловая частота напряжения сети $\omega_c = 2\pi f$, момент инерции ротора J , число пар полюсов i -го двигателя p , а также коэффициенты $K_{ir}, K_z, K_{is}, K_{is}, A_r$. Эти коэффициенты зависят от активных сопротивлений фаз статора и ротора r_s и r_r , собственных индуктивностей L_{is}, L_{ir} и взаимной индуктивности M_i [1].

Параметры сети (U_m, f) зависят от системы электроснабжения конкретного объекта промышленности, и, как правило, это система 220/380 В промышленной частоты 50 Гц. Амплитуда фазного напряжения в таком случае составляет

$$U_m = \sqrt{2} U = 311 \text{ В}.$$

Номинальные значения параметров двигателя, число пар полюсов, момент инерции ротора являются справочными и представлены в широком спектре литературы практически для всего диапазона выпускаемых двигателей.

Величины активных и индуктивных сопротивлений статора и ротора, а также сопротивление взаимной индуктивности могут быть получены расчетным путем, который является достаточно трудоемким. В справочниках эти величины представлены только для некоторых серий двигателей [3].

В настоящее время наиболее распространенной серией асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором является серия 4А. Она имеет широкий ряд модификаций и специализированных исполнений для максимального удовлетворения нужд электропривода.

В справочной литературе (например, [3]) параметры сопротивлений приведены в относительных единицах, т.е. в долях некоторых величин, принятых за базисные. За базисные величины принимаются [4] номинальный фазный ток статора $I_{1\phi}$ и номинальное фазное напряжение $U_{1\phi}$.

$$r_{o.e.} = r \frac{I_{1\phi}}{U_{1\phi}}, \quad X_{o.e.} = X \frac{I_{1\phi}}{U_{1\phi}}.$$
(7)

Номинальный фазный ток статора

$$I_{1\phi} = \frac{P_{2n}}{3 U_{1\phi} \eta \cos \varphi_a},$$
(8)

где P_{2n} – номинальная мощность двигателя;
 η и $\cos \varphi_a$ – значения КПД и коэффициента мощности двигателя при номинальной нагрузке.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВТМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

При помощи полученной модели исследованы режимы пуска системы «вибротранспортирующая машина – электропривод» и динамические процессы при ударе, вызванном падением на рабочий орган ВТМ монолита массой 2 т с высоты 2 м, с применением приводных двигателей различных типов.

Для моделирования динамики ВТМ типа ГПТ использованы несколько типов двигателей, отличающихся пусковыми характеристиками и номинальной мощностью. Параметры обмоток двигателей различного исполнения приведены в таблице 1.

Статические механические характеристики двигателей представлены на рис. 1. Следует отметить, что данные стационарные зависимости получены при решении динамической задачи и являются ее частным случаем.

На рис. 2—8 приведены графики зависимостей колебаний центра масс рабочего органа (РО), скорости вращения первого и второго ВВ, разность их фаз, а также токов статоров и роторов первого и второго двигателей от времени при пуске и при ударе [5] для случаев использования двигателей различных типов.

На графиках, описывающих динамику пускового переходного процесса ВТМ (а), цветные линии соответствуют следующим обобщенным координатам системы:

зеленая – горизонтальные колебания центра масс;

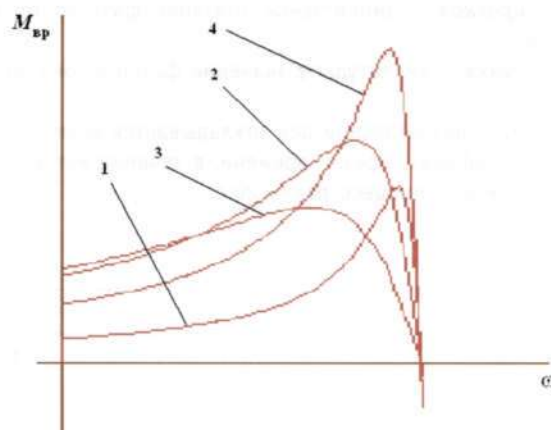


Рисунок 1 — Статические механические характеристики двигателей:

1 – основное исполнение, 45 кВт;

2 – с фазным ротором, 45 кВт;

3 – с повышенным скольжением, 36 кВт;

4 – основное исполнение, 75 кВт

красная – вертикальные колебания центра масс;

синяя – угол поворота РО относительно начального положения;

малиновая – скорость вращения первого ВВ;

светло-голубая – скорость вращения второго ВВ;

темно-серая – суммарная фаза ВВ (разность фаз).

На графиках, описывающих токи статора и ротора первого (b) и второго (c) двигателей, цветные линии соответствуют:

Таблица 1 – Параметры обмоток двигателя различных типов

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Сопротивление обмоток, Ом				
		r_s	r_r	X_1	X_2	X_{12}
4A250M8Y3 основное исполнение	45	0,0914	0,0395	0,2442	0,4193	6,412
4АНК250SB8Y3 с фазным ротором	45	0,0848	0,0942	0,2119	0,3061	6,123
4AC250S8Y3 с повышенным скольжением	36	0,1340	0,2244	0,3205	0,4080	9,325
4A280M8Y3 основное исполнение	75	0,0426	0,0320	0,1827	0,1979	3,958

красная – амплитудное значение фазного тока статора;

синяя – амплитудное значение фазного тока ротора.

По горизонтальной оси откладывается время. На всех графиках отрезки времени, в течение которого описывается процесс, равны 20 с.



Рисунок 2 — Динамика пускового переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей основного исполнения мощностью 45 кВт

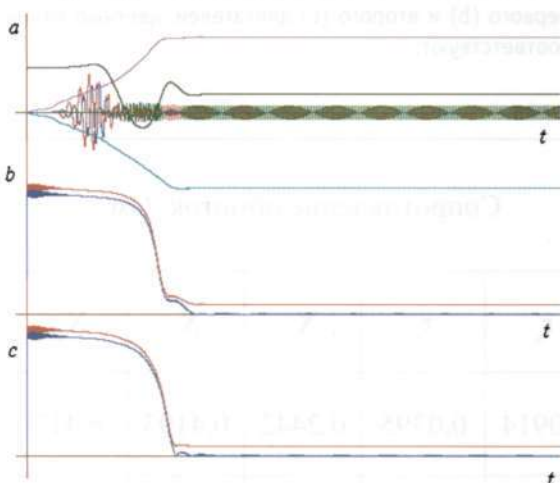


Рисунок 3 — Динамика пускового переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей с фазным ротором мощностью 45 кВт

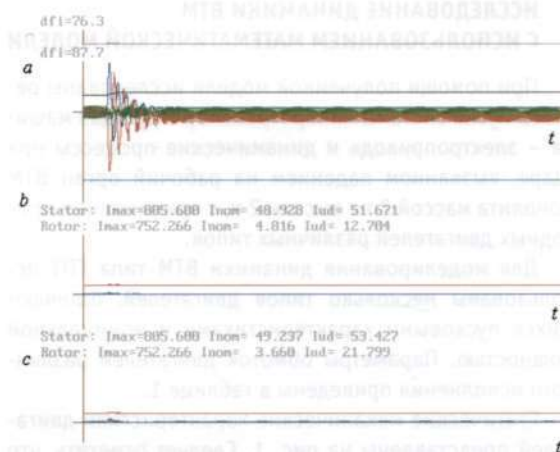


Рисунок 4 — Динамика переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей с фазным ротором мощностью 45 кВт при ударе

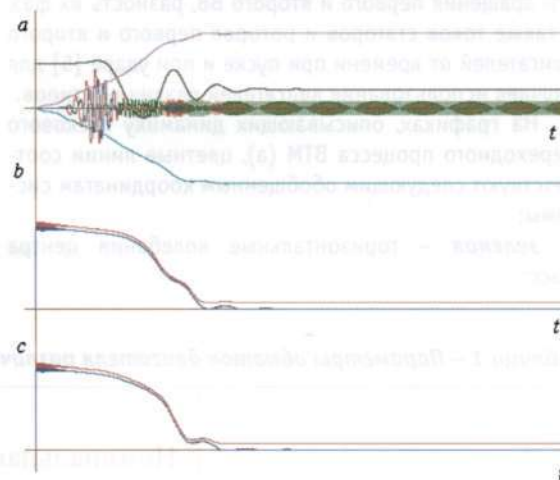


Рисунок 5 — Динамика пускового переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей с повышенным скольжением мощностью 36 кВт



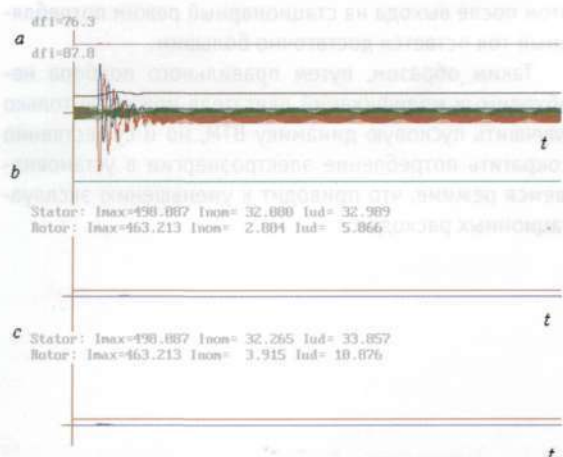


Рисунок 6 — Динамика переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей с повышенным скольжением мощностью 36 кВт при ударе

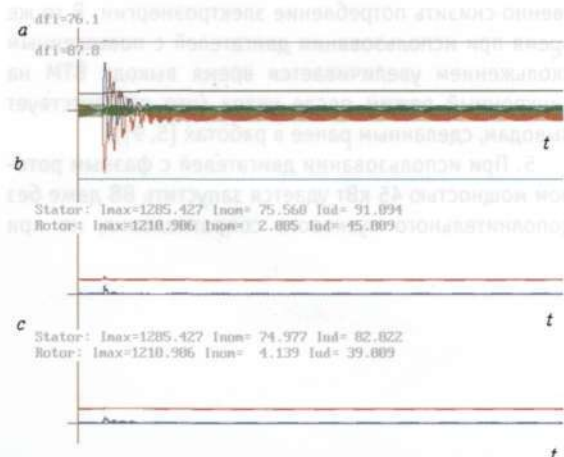


Рисунок 8 — Динамика переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей основного исполнения мощностью 75 кВт при ударе

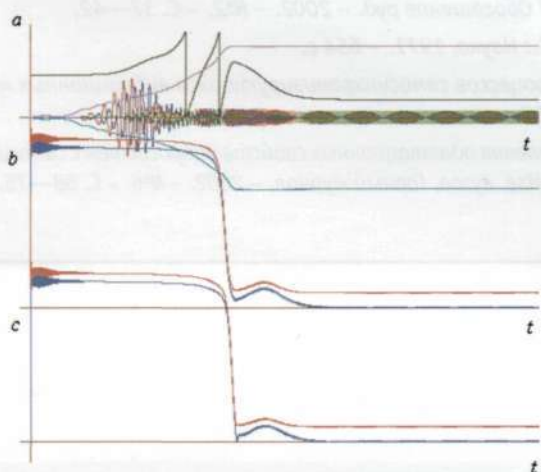


Рисунок 7 — Динамика пускового переходного процесса ВТМ (а), токи статора и ротора первого (b) и второго (с) двигателей с использованием двигателей основного исполнения мощностью 75 кВт

Анализ этих рисунков позволяет сделать следующие важные заключения.

1. Наиболее тяжелым режимом работы для приводных двигателей ВТМ является ее пуск, т.е. выход вибромашины из состояния покоя на режим самосинхронизации ВВ [6—8]. После установления этого явления двигатели работают в режиме, близком к холостому ходу, и большая мощность двигателей не требуется.

2. Падение монолитной массы на РО ВТМ не вызывает значительных бросков тока в двигателях, способных привести к выходу их из строя.

3. При использовании двигателя основного исполнения мощностью 45 кВт пуск ВТМ не происходит (см. рис. 2), т.е. пусковой момент этого двигателя недостаточен для раскручивания ВВ из состояния покоя.

Следует отметить, что на практике применение двигателей основного исполнения мощностью 45 кВт позволяет, хоть и с большими усилиями, осуществить пуск машины, т.е. линейные дифференциальные уравнения недостаточно точно описывают процессы, происходящие в двигателях. Для более точного описания системы требуется строить нелинейную модель, учитывающую изменение активного сопротивления ротора вследствие нагрева его обмоток, эффекта вытеснения тока в глубоких пазах [4] и т.д.

4. Использование двигателей с повышенным скольжением меньшей мощности (36 кВт), чем основного исполнения (45 кВт), позволяет легко осуществить пуск вибровозбудителей. При этом после выхода на стационарный режим токи в таких двигателях снижаются более чем в 1,5 раза по сравнению с двигателями основного исполнения, что позволяет успеш-

твенно снизить потребление электроэнергии. В то же время при использовании двигателей с повышенным скольжением увеличивается время выхода ВТМ на синхронный режим после удара (что соответствует выводам, сделанным ранее в работах [5, 9]).

5. При использовании двигателей с фазным ротором мощностью 45 кВт удастся запустить ВВ даже без дополнительного пускового сопротивления, но при

этом после выхода на стационарный режим потребляемый ток остается достаточно большим.

Таким образом, путем правильного подбора необходимых модификаций двигателя можно не только улучшить пусковую динамику ВТМ, но и существенно сократить потребление электроэнергии в установившемся режиме, что приводит к уменьшению эксплуатационных расходов.

Литература

1. Румянцев С.А., Азаров Е.Б. Математическая модель нестационарной динамики системы «вибромашина - электропривод» в случае привода от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором // Транспорт Урала. - 2005. - №21. - С. 2-7.
2. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе / Соколов М.М., Петров Л.П., Мандилов Л.Б., Ладензон В.А. — М.: Энергия, 1967. - 200 с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик и др. - СПб.: 000 «Бурса», 2002. - 504 с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. - М.: Энергия, 1980. - 928 с.
5. Румянцев С. А. Динамика переходных процессов и самосинхронизация движений вибрационных машин. - Екатеринбург: УрО РАН. - 2003. - 135 с.
6. Мальцев В.А., Румянцев С.А., Косолапов А.Н., Юдин А.В. Стабильность фазировки самосинхронизирующихся вибровозбудителей карьерных вибропитателей-грохотов // Обогащение руд. - 2002. - №2. - С. 37—42.
7. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. - М.: Наука, 1971. - 654 с.
8. Румянцев С. А. Моделирование динамики переходных процессов самосинхронизирующихся вибрационных машин // Изв. вузов. Горный журнал. - 2003. - №6. - С. 111—118.
9. Мальцев В. А., Румянцев С. А., Юдин А. В. Особенности проявления адаптационных свойств вибросистем с самосинхронизированным приводом в условиях ударного нагружения // Изв. вузов. Горный журнал. - 2002. - №26. - С. 68—75.

ОШИБКИ, ЗАМЕЧЕННЫЕ В ПРЕДЫДУЩЕМ НОМЕРЕ

1. Техническая информация, приведенная на страницах 20 и 39, взята из:
Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / Пер. с англ.; У. Дж. Харрис, СМ. Захаров, Дж. Лангрэн, Х. Турне, В. Эберсен. - М.: Интекст, 2002. - 408 с.
2. Заголовок на странице 45 следует читать: Совершенствование тормозных устройств промышленного железнодорожного транспорта.



ВИБРОШУМОПОГЛОЩАЮЩИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ

Конструкция железнодорожного пути с железобетонными шпалами (или блоками), уложенными по балластному слою, наиболее долговечна в эксплуатации (50—60 лет), но является чрезмерно жесткой ($E=200-250$ МПа), тяжелой и поэтому требует более высокого балластного слоя, а также вызывает повышенный износ рельсов и креплений их к шпалам. Кроме того, здесь требуются повышенные затраты на содержание и ремонты пути, связанные с восполнением и очисткой балластной призмы и подъемкой пути.



Борис Петрович Пасынков, к.т.н., профессор каф. «Строительные конструкции», УрГУПС

В целом шпальная укладка пути обладает весьма принципиальным и существенным недостатком [1]. Дискретное распределение нагрузки на основание — балластный слой — вызывает концентрацию напряжений под шпалами и создает условия для быстрого накопления различных по величине, неравномерных остаточных деформаций в балластном слое. Вследствие этого между рельсами, шпалами и балластным слоем образуются зазоры, создающие неровности пути, которые, в свою очередь, вызывают повышенные динамические нагрузки на балластный слой и еще более интенсивно разрушают его, создавая при этом повышенный шум и ускоренный износ рельсов, креплений, подвижного состава и искусственных сооружений [1—3].

Более совершенным конструктивным решением с этой точки зрения является укладка рельсов по непрерывному основанию из сборных железобетонных блоков, которые устанавливаются тоже на балластный слой. При этом нагрузки на балластный слой передаются более равномерно, вследствие чего резко снижается концентрация напряжений и неравномерность осадок в основании. Однако в данном случае жесткость пути из-за сплошного железобетонного основания становится еще больше, чем при железобетонных шпалах. Это вызывает необходимость применения более высокой балластной призмы или введения под рельсовое основание специального амортизирующего слоя.

Снижение жесткости пути посредством введения между рельсом и железобетонным основанием упругоэластичных прокладок приводит к увеличению амплитуд изгибных напряжений в упругих креплениях рельса (клеммах), что вызывает ускоренное ус-

талостное разрушение клемм и клеммных болтов при эксплуатации. При этом чем больше приближается жесткость подрельсового основания к оптимальному значению модуля упругости ($E_{\text{опт}} = 60-80$ МПа), тем сложнее получается конструкция прокладок, выше их стоимость и меньше срок эксплуатации под поезными нагрузками [1, 3].

Автором статьи предложен железнодорожный путь (заявка №354157/11; 20.12.84) с железобетонным подрельсовым основанием с улучшенными жесткостными и динамическими характеристиками (рис. 1).

Железнодорожный путь (рис. 1, фиг. 1—4) включает рельсы 1, крепления 2, подрельсовое железобетонное основание 3, балластный слой 4, выполненный из балластного материала 5, помещенного в упругоэластичные оболочки 6 торобразной формы.

Для предотвращения взаимного смещения оболочек 6 в плане железобетонные блоки снабжены продольными бортиками 7, обращенными вниз. Сами оболочки — резинокордовые шины, бывшие в употреблении (утиль), дополнительно скреплены между собой стяжками-хомутами 8 из синтетических материалов.

Торообразные оболочки — автомобильные покрышки — боковыми поверхностями укладывают на выравнивающий слой 9, который может быть выполнен в виде тонкого слоя асбестового балласта или свежееуложенного мелкозернистого бетона (3—4 см). Затем внутреннее пространство 10 оболочек-шин заполняют сыпучим материалом — балластом 5 с одновременным уплотнением его, например, с помощью легкого вибратора. При этом свободное пространство

Октябрь 2005 г.

Октябрь / Декабрь

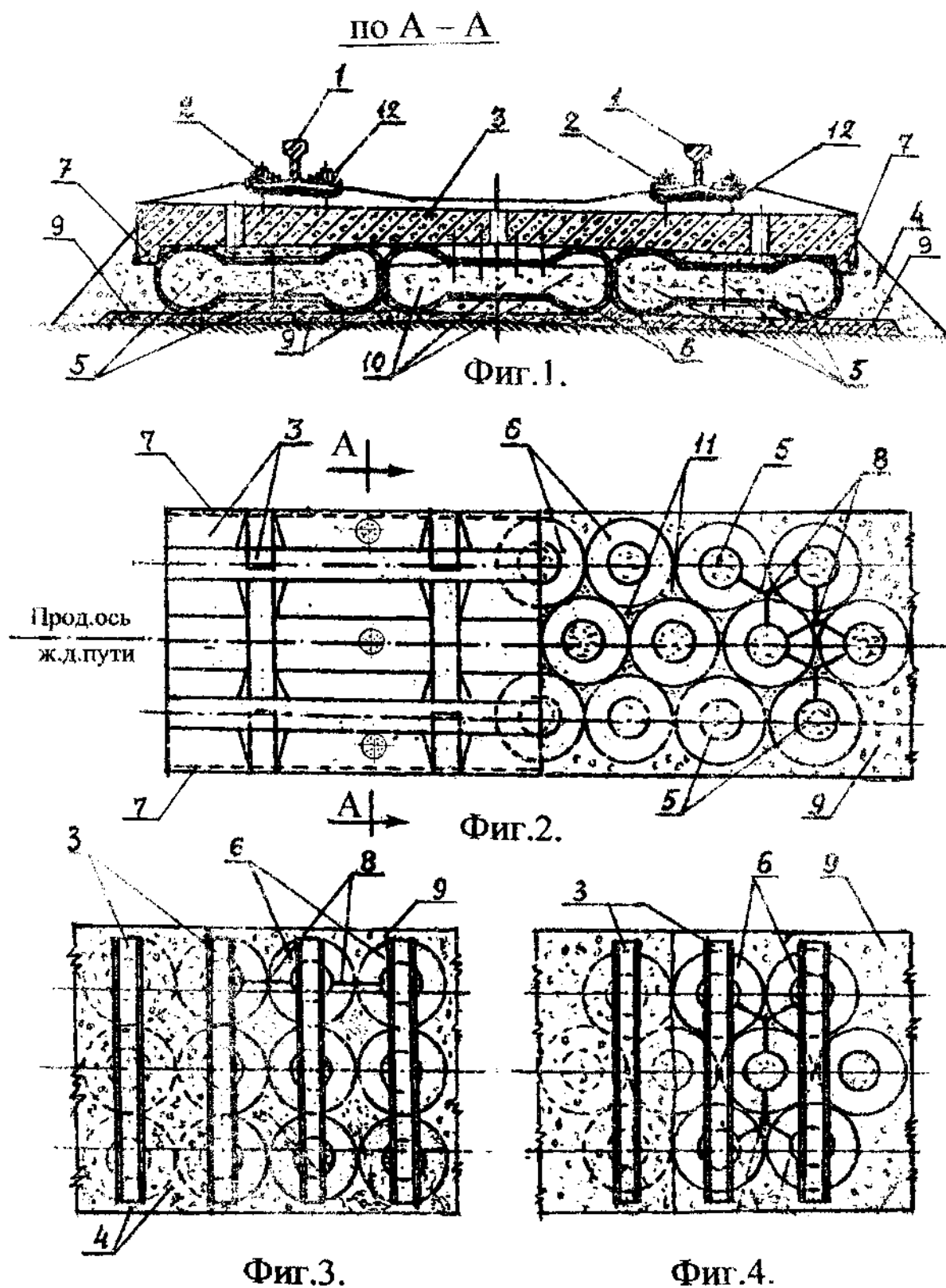


Рисунок 1 — Виброшумопоглощающий железнодорожный путь



11 между смежными оболочками 6 может быть тоже заполнено (частично или полностью) сыпучим материалом 5.

Сборные железобетонные блоки 3 укладывают на верхние боковые поверхности шин-оболочек 6, заполненных балластом. При этом на криволинейных участках пути железобетонные блоки или шпалы для восприятия тангенциальных и радиальных усилий, возникающих от подвижного состава в горизонтальной плоскости, могут быть скреплены непосредственно с верхними боковыми поверхностями шин при помощи клея или специальными нагельными штырями, выпущенными из бетонной плиты блока или шпалы, которые устанавливаются по внутреннему радиусу резинокордовой шины.

Выравнивание блоков 3 по вертикали осуществляется за счет выравнивающего слоя 9 или степенью заполнения внутреннего пространства 10 оболочек 6 балластом 5. При применении оболочек-шин 6 одинакового типоразмера специального выравнивания блоков 3 не требуется, так как здесь достаточно обеспечить необходимую ровность основания 9 и дозирование заполнения внутреннего пространства 10 заполнителем 5.

Расположение оболочек в плане (фиг. 2, 3, 4) должно быть симметричным относительно каждого блока или шпалы. При этом сами блоки могут быть расположены вплотную друг к другу или с некоторым зазором по типу расположения шпал.

Использование в качестве упругих оболочек отработавших по своему прямому назначению резинокордовых шин делает их почти бесплатными и не требует больших капиталовложений.

Как показывают выполненные исследования [4, 5], остаточная прочность их достаточна, чтобы работать в упругом основании на протяжении 80—100 лет при 80-кратном запасе остаточной прочности материала резинокордовых шин 6/у.

Жесткость основания можно регулировать до оптимальной (60—80 МПа) раскладной оболочек в плане (фиг. 2—4), а также степенью заполнения их балластом и видом заполнителя.

Новый виброшумопоглощающий путь позволит снизить интенсивность физического износа элементов пути, искусственных сооружений и подвижного состава. Это приведет к сокращению эксплуатационных затрат на ремонты и снижению уровня генерируемого шума на окружающую среду.

Как показывают наблюдения, проведенные в Японии, резинокордовые шины, закопанные в грунт или утопленные в воде, не гниют, не разлагаются и сохраняют упругость и прочность более 100 лет.

Опытные участки железнодорожных путей с мягким основанием особенно целесообразно использовать на мостах, в тоннелях, на перекрестках трамвайных путей, а также на железнодорожных магистралях, расположенных в пределах городов и населенных пунктов.

Опытные участки железнодорожных путей с мягким основанием уже сейчас могут быть просрочены без особого риска на перекрестках и магистральных линиях трамвайных путей, а также на участках пересечений с автодорогами.

Менее шумный, мягкий и более долговечный железнодорожный путь — это не только повышенный комфорт для миллионов пассажиров. Это еще и устойчивый, четкий график движения поездов с постоянно растущей интенсивностью движения и удельной нагрузкой от поездов.

Автор заранее выражает признательность и окажет научно-техническую помощь всем, кто пожелает внедрить предлагаемое решение даже на небольших опытных участках трамвайных, железнодорожных путей в метрополитенах, в тоннелях или на других железнодорожных линиях.

Литература

1. Золотаревский А.Ф., Евдокимов Б.А., Исаев Л.Г. и др. / Под ред. А.Ф. Золотаревского. - М.: Транспорт, 1980. - 270.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И. И. Динамика вагонов. - М.: Транспорт, 1978. - 352 с.
3. Кланов СИ. Железнодорожный путь на искусственных сооружениях. - М.: Транспорт, 1990. - 242 с.
4. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчеты и конструирование резиновых изделий. - Л.: Химия, 1977. - 393 с.
5. Снитко Н.К. Статическое и динамическое давление грунтов и расчет подпорных стенок. - Л. - М.: Стройиздат, 1963. - 233 с.

Октябрь / Декабрь

Октябрь / Декабрь

О НОВОМ МЕТОДЕ РАСЧЕТА СДВИГОВ И РИХТОВОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Предлагаемая программа производит расчет как больших сдвижек, так и обычных рихтовок для железнодорожных кривых; обеспечивает соблюдение основных проектных параметров, ограничений и допусков. Представлен пример конкретных исходных данных с результатами расчета.

**Виктор Тимофеевич Смольников,
к.т.н., УрГУПС**

**Татьяна Геннадьевна Пантелеева,
инженер, УрГУПС**



Н.В. Куприянов [3]. Ручная съемка натурных стрел не исключает расчеты на ЭВМ и машинную рихтовку пути. Однако, как упоминалось, они не обеспечивают проектное положение и очертание кривых. Изложенные недостатки по части расчетов исключает предлагаемая программа.

Большие боковые перемещения насыпей в период строительства и в первые пять лет постоянной эксплуатации характерны в горных условиях и в районах с вечной мерзлотой. Точность соблюдения проектных параметров особенно важна при строительстве высокоскоростных магистралей. И с тем, и с другим строители уже встречаются и будут встречаться в ближайшей перспективе. Неточность соблюдения проектного очертания рельсовых нитей и на промышленном транспорте с их малыми радиусами кривых (до 75 м при рельсах железнодорожного профиля [4]) существенно сокращает срок службы и колес, и рельсов.

Объем рассматриваемой программы составляет 55 Кб и 50 страниц. Применена ОС Windows XP, язык Basic, ЭВМ с частотой 750 МГц, используется принтер, обеспечивающий 300 dpi.

Программа содержит четыре подпрограммы:

«Ввод проектных данных, ограничений и допусков» (таблица 1);

«Ввод натурных стрел» (таблицы 2, 3);

«Расчет стрел, сдвигов и рихтовок» (рис. 1—4);

«График стрел изгиба» (рис. 5, 6).

Каждая предыдущая подпрограмма заканчивается файлами с данными, необходимыми для выполнения следующей подпрограммы. Это позволяет разным лицам и в разных местах (технический отдел, контора начальника участка, прорабский пункт и т.д.) выполнять любую подпрограмму.

Пример расчета в составе исходных данных и результатов, который для удобства клиентов (заказчиков расчетов) в компактном виде вместе с таблицами и рисунками (см. табл. 1—3 и рис. 1—6) помещены в конце статьи. (Для примера взяты действительные данные другого участка.) Натурные стрелы изгиба (FN) этой кривой имеют большие отклонения от проектных (83 мм) значений. Их максимальная величина достигла 191 мм (см. табл. 2, рис. 1 и 5), минимальный радиус соответственно — 262 м при проектном 600 м. Максимальный необходимый сдвиг (C2) для этой точки (15) оказался равным —207 см (минус — внутрь кривой).

Тут необходимо обратить внимание на единицу измерения для сдвигов. На указанных рисунках 1 и 2 она равна 1 см. Необходимые перемещения пути оказались большими. При сдвигах, превышающих 1 м, программа намеренно представляет сдвиги в необычном для путейцев виде — в сантиметрах. Промежуточ-

ные же расчеты производятся в миллиметрах и в их долях с большой точностью. То же с другими переменными. Число π , например, в расчетах имеет значение $\pi = 3,141592265358979$.

Понятно, что рассматриваемую кривую со сдвигами до 207 см невозможно выправить за один прием с миллиметровой точностью. Пока нет такой технологии. И представлять сдвиги с точностью до 1 мм бессмысленно. Для такого пути после первого расчета требуется перекладка или сдвигка его иным способом с соответствующим уширением земляного полотна. После сдвигки и после второго замера натурных стрел (см. табл. 3) программа производит расчет с представлением величин рихтовок (не сдвигек) и с точностью, как и положено, равной 1 мм (см. рис. 3, 4 и 6). Наибольшая рихтовка для точки 20 при втором расчете получилась равной 42 мм, наименьший радиус — 658 м. Напомним, что проектный — 600 м. Таким образом, и проектная кривизна обеспечена.

Как видно на рисунках, представленный расчет обеспечил выполнение всех проектных параметров, ограничений и допусков, все характерные места кривой совпадают с закрепленными на рельсах точками. Кроме того, он установил реальный угол поворота (13° 0,4'), который определился в результате натурных съемок.

Расчет фактического угла поворота производился по формулам

$$n = \frac{a}{2} \cdot \frac{\pi}{360 \cdot 60};$$

$$\sum f = 1,4545 \cdot \sum \phi'$$

предложенным Ф.Е. Резницким [5].

В целях завершения примера для второго расчета натурные стрелы заданы тоже предположительно на основании опыта первого автора на выправке кривых при строительстве железных дорог в Кузбассе, особенно на железнодорожных путях угольных разрезов с их малыми радиусами кривых. С большими сдвигками и повторными рихтовками ему пришлось встретиться неоднократно и на БАМе. Выход из положения часто находился с ухудшением эксплуатационных характеристик кривых — уменьшением радиусов, сокращением длин отводов кривизны, несовпадением характерных точек с разметкой на рельсах.

Пока предлагаемая программа не применялась на практике. Необходимо провести эксперимент на реальной кривой, после чего можно претендовать на ее признание.

В настоящее время намечен и частично осуществлен план расширения круга решаемых программой задач.

Октябрь / Декабрь

Октябрь / Декабрь

ПРИМЕР РАСЧЕТА*Исходные данные*

Дорога Свердловская, участок Свердловск – Н. Тагил, километр начала кривой 19, точка (NN) начала натурных съемок ПК 6 + 20,63, точка (K₁) начала кривой (НПК₁) по проекту 6 + 30,63.

Исходные данные представлены в табл. 1, 2 и 3

Таблица 1 — Проектные данные, ограничения и допуски

№ л/п	Наименование	Имя	Един. изм.	Значение
1	Часть угла поворота — градусы	G	'	19
2	Часть угла поворота — минуты	M	'	6
3	Радиус	R	м	600
4	Тангенс	T	"	151,05
5	Длина кривой	K	"	300
6	Длина отвода кривизны (длина переходной кривой)	L	"	100
7	Направление поворота кривой вправо (-1), влево (+1)	PO	—	—1
8	Расстояние между точками	LT	м	10
9	Наименьшее расстояние между началами отводов кривизны (между КПК ₁ и КПК ₂)	LK	"	50
10	Номер точки начала натурных съемок	NN	—	0
11	Километр, на котором находится точка (K ₁) начала кривой	KM	км	19
12	Номер последнего пикета перед началом кривой	PK	—	6
13	Расстояние от последнего пикета до точки K ₁ (плюс)	PL	м	20,63
14	Номер точки начала кривой — конец первого отвода кривизны	K1	—	1
15	Номер последней точки натурных съемок	NP	—	23
16	Наименьший допускаемый радиус кривой	RD	м	600
17	Допускаемая разность смежных стрел изгиба в прямых и в круговых кривых	CD	мм	4
18	Допускаемое отклонение в сторону увеличения от проектного нарастания стрел изгиба в пределах отвода кривизны	ND	мм	2
19	Принятое предельное отклонение стрелы изгиба от ее расчетного значения при корректировке	KD	мм	0,8

Таблица 2 — Натурные стрелы изгиба (FN) до сдвига пути, мм

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
FN	0	0	7	10	5	2	0	0	21	45	40	70	51	92	150	191	151	116	76	46
20	21	22	23																	
26	20	11	0																	

Таблица 3 — Натурные стрелы изгиба для рихтовки после сдвига пути, мм

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
FN	0	3	13	17	23	29	35	40	54	69	63	69	75	80	77	79	80	68	57	50
20	21	22	23	24	25	26	27													
41	36	30	23	17	7	0	0													



РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты расчета представлены на рисунках 1—6.

	N	FN	F2	C2	Пуск
По проекту	0	0	0	0	
Угол	1	0	1	9	
G M	2	7	8	17	
19 6	3	10	15	26	
R	4	5	23	33	
600	5	2	30	37	
K	6	0	38	36	
300	7	0	45	26	
NN	8	21	53	8	
0	9	45	60	-17	
K1	10	40	68	-44	
1	11	70	74	-77	
	12	51	75	-112	
	13	92	75	-150	
	14	150	75	-186	
	15	191	75	-207	
	16	151	74	-204	
	17	116	68	-186	

Рисунок 1 — Результаты расчета стрел и сдвигов (начало)

	N	FN	F2	C2	Пуск
По проекту	0	0	0	0	
Угол	1	3	1	-9	
G M	2	13	8	-14	
19 6	3	17	15	-8	
R	4	23	23	2	
600	5	29	30	12	
K	6	35	38	20	
300	7	40	45	22	
NN	8	54	53	13	
0	9	69	61	6	
K1	10	63	68	16	
1	11	69	74	16	
	12	75	76	5	
	13	80	76	-7	
	14	77	76	-10	
	15	79	76	-11	
	16	80	74	-5	
	17	68	68	12	

Рисунок 3 — Результаты расчета стрел и рихтовок (начало)

	N	FN	F2	C2	Пуск
По проекту	11	70	74	-77	
Угол	12	51	75	-112	
G M	13	92	75	-150	
19 6	14	150	75	-186	
R	15	191	75	-207	
600	16	151	74	-204	
K	17	116	68	-186	
300	18	76	60	-159	
NN	19	46	53	-128	
0	20	26	45	-99	
K1	21	20	38	-73	
1	22	11	30	-51	
	23	0	23	-33	
	24	0	15	-2	
	25	0	8	0	
	26	0	1	0	
	27	0	0	0	

Рисунок 2 — Результаты расчета стрел и сдвигов (окончание)

	N	FN	F2	C2	Пуск
По проекту	11	69	74	16	
Угол	12	75	76	5	
G M	13	80	76	-7	
19 6	14	77	76	-10	
R	15	79	76	-11	
600	16	80	74	-5	
K	17	68	68	12	
300	18	57	61	29	
NN	19	50	53	38	
0	20	41	45	42	
K1	21	36	38	37	
1	22	30	30	29	
	23	23	23	19	
	24	17	15	-6	
	25	7	8	-3	
	26	0	1	0	
	27	0	0	0	

Рисунок 4 — Результаты расчета стрел и рихтовок (окончание)

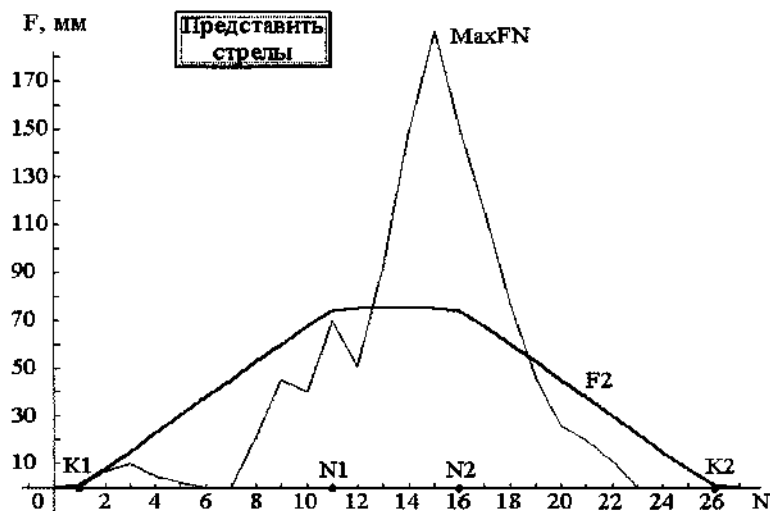


Рисунок 5 — График стрел изгиба после сдвижки

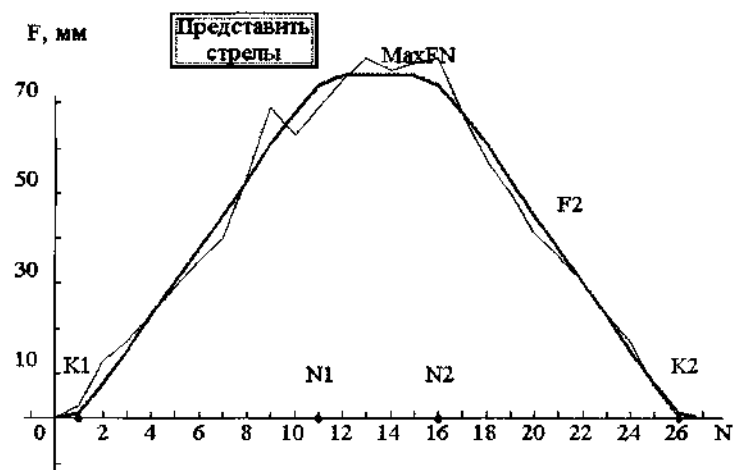


Рисунок 6 — График стрел изгиба после рихтовки

Литература

1. Смольников В. Т. Расчет выправки кривых с обеспечением наименьших затрат // Транспортное строительство. — 1989. — № 12. — С. 35–37.
2. Бредюк В. Б. Совершенствование автоматизированной выправки пути // Путь и путевое хозяйство. — 2004. — № 11. — С. 27.
3. Куприянов Н. В. Расчет кривой графическим способом // Путь и путевое хозяйство. — 2001. — № 5. — С. 15–17.
4. Садиков О. И. Трамвайные пути. Устройство, ремонт и содержание. — М.: Транспорт, 1976. — С. 126.
5. Резницкий Ф. Е. Инженерная геодезия: Учеб. пос. для студентов специальности 290900 «строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство». — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2000. — 120 с.

АРМ ИНЖЕНЕРА ПО ОХРАНЕ ТРУДА ЛОКОМОТИВНОГО ДЕПО БЕРЕЗНИКИ



Дмитрий Николаевич Волинский,
к.т.н., доцент каф. связи, УрГУПС



Игорь Владимирович Капгер,
инженер, УрГУПС

Для большинства средних и малых российских предприятий информационные решения с использованием сетей персональных компьютеров являются фактическим стандартом. В то же время прикладное программное обеспечение, используемое этими предприятиями (автоматизированные системы документооборота, системы уп-

равления промышленными и торговыми предприятиями, бухгалтерские системы и др.), создано при помощи инструментария предыдущего поколения и не способно эффективно использовать ресурсы, предоставляемые новыми технологиями. К современным информационным системам уровня предприятия предъявляются очень высокие требования по производительности, надежности, обеспечению целостности и безопасности данных, защите от системных и аппаратных сбоев, масштабируемости, возможности взаимодействия с другими системами.

Применение интернет-технологий в корпоративных интранет-сетях позволяет повышать эффективность функционирования сетей и работающих в них информационных систем. Приложения, построенные на основе интернет-технологий, характеризуются надежностью и масштабируемостью, открытостью архитектуры, простотой изучения и использования.

Широкое распространение получила новая технология построения баз данных «клиент-сервер». Эта технология дает ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с технологией предыдущего поколения — «файл-сервер». В частности, она предоставляет защиту данных от несанкционированного доступа и разграничение прав доступа и позволяет работать как в локальных сетях Интранет, так и в глобальных — Интернет. Системы, построенные на новой технологии «клиент-сервер», отличаются высокой степенью безопасности, территориальной независимостью и нетребовательностью к аппаратной мощности клиентских станций.

Персонал, работающий в локомотивном депо ст. Березники, должен периодически или внепланово (по требованию Госинспекции труда, при введении новых или переработанных нормативных актов и др.)

проходить проверку знаний по охране труда, электробезопасности и др., иначе он не может быть допущен к работе. Большое количество нормативных документов по всем видам аттестаций персонала, изменение существующих документов, выпуск новых затрудняет их изучение. В штате депо числится около 650 человек. Всему персоналу необходимо проходить проверку знаний по соответствующей специализации. Инженеру по охране труда следует проводить обучение и проверку знаний штата предприятия, а также контролировать приближающиеся сроки сдачи экзаменов персонала, однако из-за большого количества работников это невозможно сделать оперативно. Возникают случаи выхода на работу персонала, не подтвердившего свои знания в области техники безопасности, что недопустимо.

Руководством предприятия было принято решение о разработке системы АРМ инженера по охране труда с функциями тестирования и хранения нормативных документов, с возможностью их изучения посредством сети Интранет, возможностью персонала изучать документы и проходить обучение на рабочих местах. Главная цель — возможность оперативно получать информацию о приближающихся сроках экзаменов.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАЧИ

Разработать корпоративную систему тестирования и нормативно-технической информации, которая должна предоставлять:

- возможность тестирования работников по тем видам аттестаций, которые свойственны их специализации;
- возможность обучения (сдача пробного экзамена);
- ознакомление с нормативно-техническими документами;
- контроль прохождения обучения по различным темам и направлениям и срокам экзаменов;
- формирование отчетов;
- возможность разграничения прав доступа к разделам сайта между пользователями;
- ручной и автоматический ввод данных о подразделениях предприятия, данных о профессиях, данных о персонале предприятия;
- ручной ввод результатов экзамена;
- возможность создания тестов (конструктор).

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАРИЯ

На предприятии уже имеется web-сервер Apache. Также существует корпоративный сайт, функциониру-

ющий на Perl и MySQL. В связи с этим было решено разрабатывать систему тестирования и нормативно-технической информации с использованием данных технологий.

ДИАГРАММЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ

На рис. 1 приведена диаграмма прецедентов, где представлены возможные события, которые могут происходить в системе.

В структуре модели предусмотрено состояние пользователя как ПРЕТЕНДЕНТА, который может пройти авторизацию и в противном случае вернуться вновь в состояние ПРЕТЕНДЕНТА. Если авторизация пройдена, то ПРЕТЕНДЕНТ может получить статус АДМИНИСТРАТОРА или ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ. Главная возможность АДМИНИСТРАТОРА – это наделение индивидуальными привилегиями всех ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ в системе. Эта возможность включает в себя:

- добавление новых пользователей в систему с назначением привилегий (доступ к разделам системы);
- удаление существующих пользователей;
- изменение привилегий у существующих пользователей.

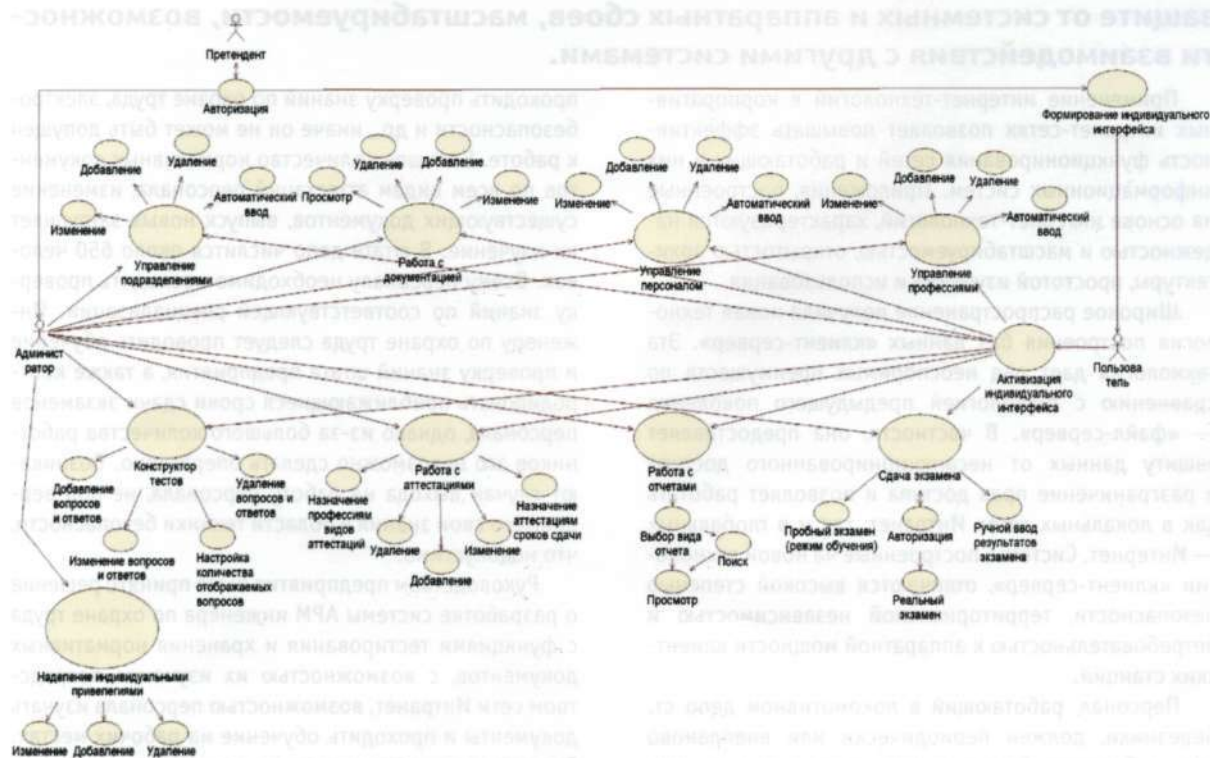


Рисунок 1 — Диаграмма прецедентов



ДЕЙСТВИЯ, СВЯЗАННЫЕ С АДМИНИСТРИРОВАНИЕМ СИСТЕМЫ

Управление подразделениями предоставляет возможности:

- добавления новых данных о подразделениях предприятия;
- изменения существующих данных о подразделениях;
- удаления данных о подразделениях;
- автоматического ввода данных о подразделениях.

Управление профессиями дает возможности:

- добавлять новые данные о профессиях;
- изменять существующую информацию о профессиях;
- удалять информацию о профессиях;
- вводить данные о профессиях в автоматическом режиме.

Когда имеется информация по подразделениям и профессиям, можно вводить данные по персоналу.

Управление персоналом позволяет:

- добавлять данные о персонале, работающем на предприятии;
- изменять информацию о персонале;
- удалять персонал из системы;
- вводить данные о персонале в автоматическом режиме.

Необходимо вводить разные виды аттестаций для сдачи экзаменов, поэтому работа с аттестациями предоставляет возможности:

- добавления аттестаций;
- изменения информации об аттестациях;
- удаления аттестаций;
- назначения аттестациям сроков сдачи экзамена;
- назначения профессиям видов аттестаций.

Для каждого вида аттестаций необходимо внести в систему ряд вопросов и ответов с указанием правильных. Конструктор тестов предполагает эту возможность, а именно:

- добавление вопросов и ответов;
- изменение существующих вопросов и ответов;
- удаление вопросов и ответов;
- настройку количества отображаемых вопросов при сдаче экзамена.

Сдача экзамена происходит тремя способами:

- пробный экзамен (режим обучения);
- после дополнительной авторизации предоставляется возможность сдачи экзамена, результаты которого вносятся в БД;
- ручной ввод результатов экзамена.

По результатам экзаменов необходимо формировать отчеты:

1. Отчет, характеризующий сдачу экзаменов за указанный год;
2. Отчет по персоналу, который не сдал экзамены в указанные сроки.

Работа с отчетами предусматривает:

- выбор вида отчета и просмотр;
- поиск по конкретной фамилии и просмотр статистики результатов.

Работа с документацией предназначена для хранения нормативно-технической информации по охране труда, электробезопасности и др., при этом возможно:

- добавление новых документов с возможностью создания разделов;
- изменение содержания документации, разделов;
- удаление разделов и всего документа;
- просмотр документов.

На этом возможности АДМИНИСТРАТОРА заканчиваются. Рассмотрим подробнее возможности ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ.

После авторизации для ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ происходит формирование индивидуального интерфейса, заключающееся в формировании доступа к разделам системы (индивидуальные привилегии, которые назначает АДМИНИСТРАТОР).

Далее происходит активизация индивидуального интерфейса — это, собственно, и есть доступ к разделам. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ теоретически может иметь доступ ко всем разделам, кроме наделения индивидуальными привилегиями, к которому имеет доступ только АДМИНИСТРАТОР. В этом заключается существенная разница между ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ и АДМИНИСТРАТОРОМ.

Информационная структура проекта представляет собой базу данных, в которой хранится информация для функционирования системы и данные (результаты экзаменов), накапливаемые в процессе постоянной работы проекта.

Для устранения избыточности данных базу данных необходимо нормализовать. В проекте была использована третья нормальная форма, которая позволяет вынести в другие таблицы часто повторяющуюся информацию и исключить при этом большой объем избыточных данных.

Структура состоит из 14 принципиальных сущностей (рис. 2).

Три сущности «Разделы», «Пользователи» и «Статус» нужны для хранения информации о пользователях системы и разделов, которые для них доступны.

Сущность «Профессии» содержит в себе наименование профессий работников предприятия; «Подразделения» — названия цехов на предприятии. Для хранения информации о персонале используется сущ-

ность «Персонал», которая связана с профессиями и подразделениями.

Вопросы и ответы к экзаменам хранятся в связанных сущностях «Вопросы» и «Ответы».

Документы хранятся в сущностях «Название документа», «Название раздела» и «Документ».

Наименование аттестаций и сроки сдачи экзаменов хранятся в сущности «Вид аттестации». Каждой профессии присуще несколько видов аттестаций, что предусмотрено в сущности «Аттестация профессий».

Вся информация о результатах экзаменов вносится в «Журнал аттестаций», который связан с сущностью «Вид аттестации».

Рассмотрим функционирование интерфейсной модели с учетом таблиц и атрибутов (рис. 3).

Для хранения информации о пользователях используется три таблицы. Таблица *t_users* (id, login, password, prava_bd, fk_status_id) содержит имя, пароль, права доступа к БД, статус. Она связана с таблицей *t_prava* (id, prava, fk_users_id), в которой хранятся номера разделов, к которым есть доступ у пользователей и с таблицей *t_status* (id, nazvanie), содержащей названия статусов.

Документы расположены в трех таблицах. Названия документов хранятся в таблице *t_nazv_doc* (id, nazvanie); таблица *t_nazv_razdel* (id, nazvanie) пред-

назначена для хранения названий разделов; собственно документ находится в *t_document* (id, fk_nazv_doc_id, fk_nazv_razdel_id, txt), связанной с *t_nazv_doc* и *t_nazv_razdel*.

Служебная информация предприятия (подразделения, профессии) расположена в таблицах *t_podrazd* (id, nazvanie), *t_prof* (id, nazvanie), которые связаны с таблицей *t_personal* (id, fam, imya, otche, tab_nomer, fk_podrazd_id, fk_prof_id) содержащей информацию по персоналу.

Виды аттестаций расположены в таблице *t_vid_attestat* (id, nazvanie, srok, kolvo_otvet), содержащей названия, сроки аттестаций и количество ответов, отображаемых при сдаче экзамена.

Вопросы и ответы хранятся в двух таблицах. В таблице *t_vopros* (id, vopros, fk_vid_attestat_id) находятся названия вопросов для каждого вида аттестаций. Ответы вынесены в отдельную таблицу *t_otvet* (id, otvet, prav, fk_vopros_id), в которой хранятся варианты ответов с указанием, какие из них правильные, и указанием, какому вопросу принадлежит ответ. Таблица *t_vopros* связана с таблицей *t_otvet* и *t_vid_attestat*.

Каждой профессии соответствует определенное количество видов аттестаций, поэтому в таблице *t_attestat_prof* (id, fk_prof_id, fk_vid_attestat_id) предус-

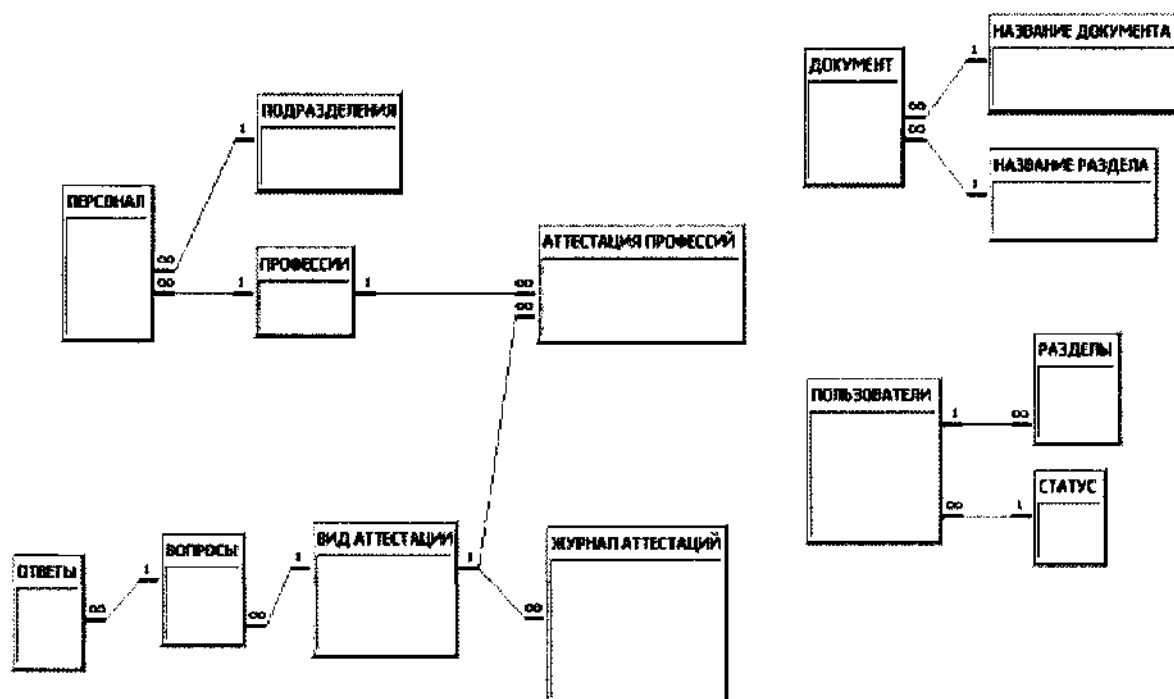


Рисунок 2 — Информационная структура. Сущности

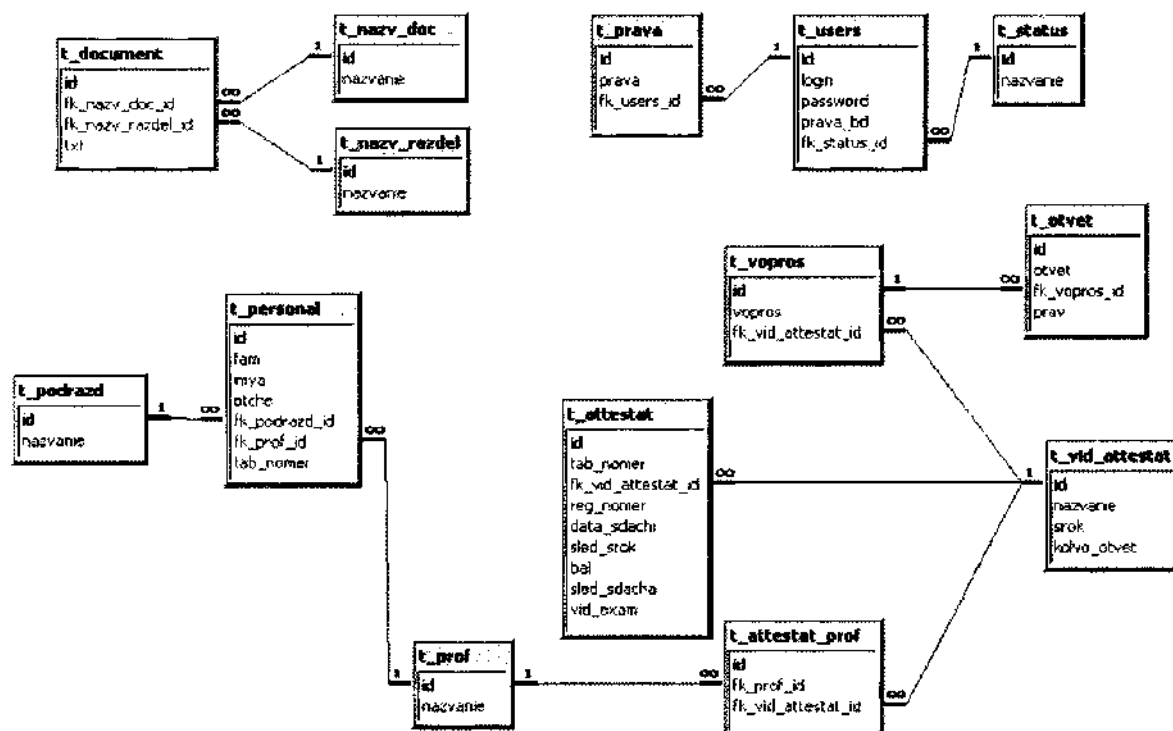


Рисунок 3 — Таблицы и атрибуты

мотрена ссылка на профессии и соответствующие им виды аттестаций.

Журнал аттестаций представляет собой собрание сведений о результатах экзаменов – табельный номер, регистрационный номер (для нумерации журнала; каждый год обнуляется и представляется в формате номер/год), дата сдачи экзамена, следующий срок, оценка, вид экзамена (очередной, внеплановый), вид аттестации. Таблица состоит из атрибутов `t_attestat` (`id`, `tab_nomer`, `reg_nomer`, `data_sdachi`, `sled_srok`, `bal`, `sled_sdacha`, `vid_exam`, `fk_vid_attestat_id`). Таблица `t_attestat` связана с таблицей `t_vid_attestat`.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА

Рассмотрим функциональную структуру серверных сценариев на примере сценария сдачи экзамена (рис. 4). Сценарий (`exam.pl`) получает следующие параметры методом POST:

- `id` – идентификатор пользователя в зашифрованном виде;
- `personal_id` – идентификатор человека, сдающего экзамен, в зашифрованном виде;
- `n` – название текущего раздела;
- `otvet` – ответ, который выбрал пользователь;
- `tek_vopros` – текущий вопрос;
- `vopros` – вопрос, на который отвечает пользователь;

- `vid_attestat` – вид аттестации, по которой заменяется пользователь.

В самом начале функционирования сценария подгружается модуль `function.pl`, в котором находятся функции, используемые почти всеми сценариями проекта. В рассматриваемом сценарии применяются следующие функции:

- `f_unshifr` — используется для расшифровки идентификаторов;
- `f_head` — построение шапки страницы;
- `f_auth` — производит авторизацию (допускает или не допускает пользователя к сдаче);
- `f_error` — вывод сообщений об ошибках;
- `f_get_date` — получение текущей даты в определенном формате;
- `f_foot` — построение конца страницы.

В самом сценарии определены следующие функции:

- `f_list_vopros_create` — запускается только в первый раз работы сценария и формирует список вопросов для текущего вида аттестаций, список вопросов действует на протяжении всего экзамена, чтобы вопросы не повторялись;
- `f_list_vopros` — индикатор процесса экзаменования, указатель текущего этапа;
- на которые пользователь еще не отвечал;
- `f_otvet_prav` — проверка правильности ответа, который дал пользователь;



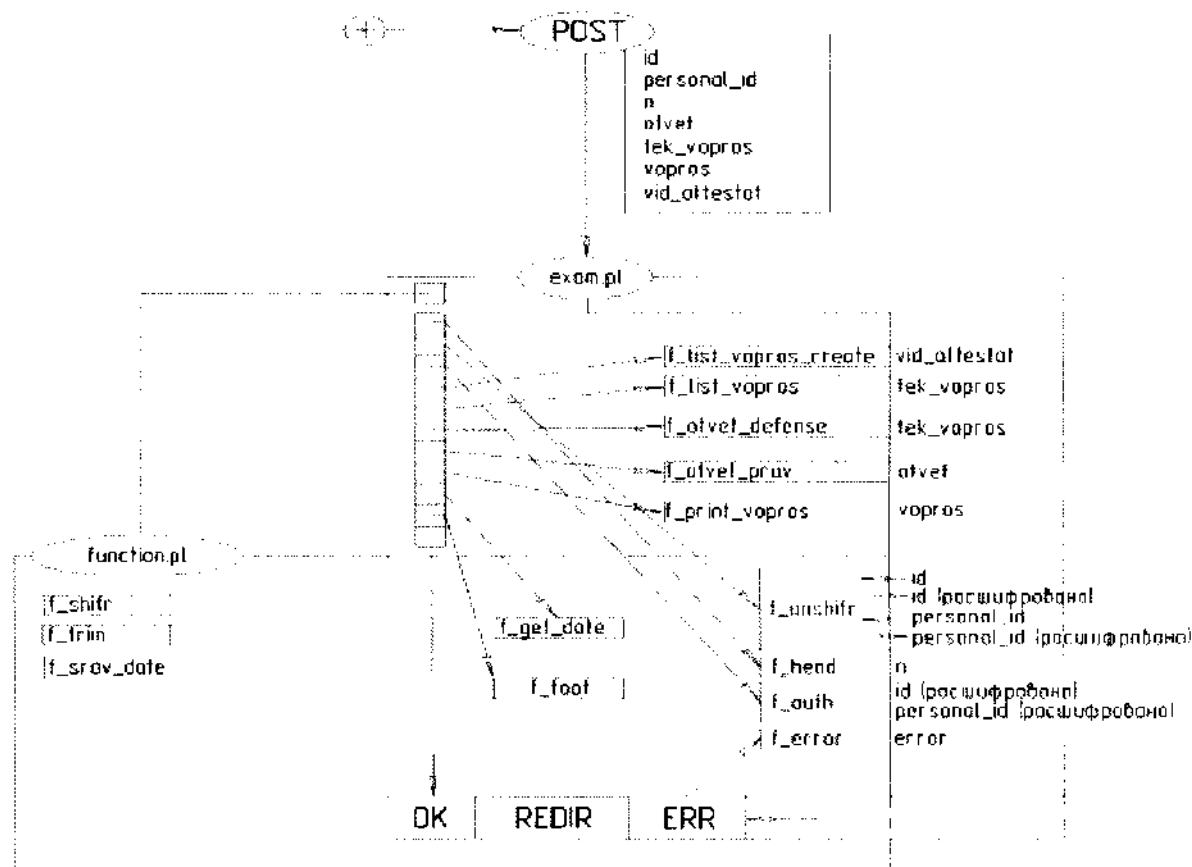


Рисунок 4 — Сценарий сдачи экзамена

- f_print_vopros — отображение на экране текущего вопроса и ответов к нему.

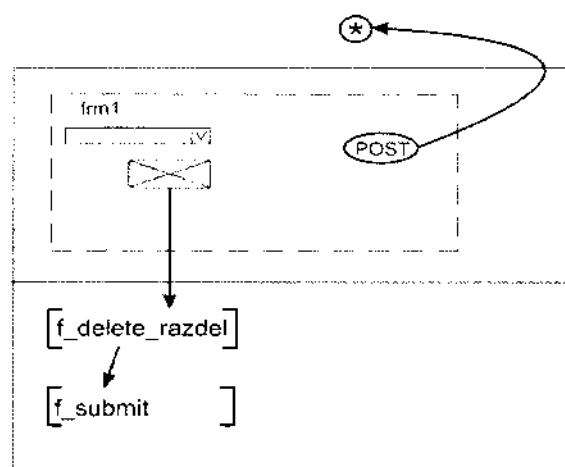


Рисунок 5 — Сценарий управления документацией

Рассмотрим функциональную структуру клиентских сценариев (рис. 5) на примере сценария управления документацией (удаления разделов документа или полностью всего документа) document.pl. При удалении раздела из документа (нажатие на кнопку «Удалить раздел») срабатывает функция f_delete_razdel, которая вызывает окно выбора дальнейшего действия с надписью «ВЫ УВЕРЕНЫ?» (после нажатия кнопки «ОК» раздел будет удален); если нажать кнопку «ОК», то выполнится функция f_submit и произойдет отсылка формы на сервер и дальше будет работать скрипт на Perl, если же будет нажата кнопка «Отмена», то окно закроется и срабатывание сценария на удаление раздела не произойдет.

ИНТЕРФЕЙСНЫЕ РЕШЕНИЯ

На рис. 6 представлен вид проекта из браузера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность проекта обусловлена следующими факторами: уменьшением или полным

Процесс авторизации: выбрав ЦЕХ, ФИО, ввести полное ФИО, ТАБЕЛЬНЫЙ НОМЕР. Или изменить СТАТУС и ввести ПАРОЛЬ. Далее нажать кнопку ВОЙТИ.

Подразделение: ЦЕХ №1
 ФИО: АНТОНОВ Ю.В.
 ФИО полностью:
 Табельный номер:
 Статус: Обычный пользователь

Войти

Персонал у кого приближаются сроки сдачи экзаменов:

ФИО	Подразделение	Вид аттестации	Срок
АНТОНОВ Ю.В.	ЦЕХ №1	ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ	27-06-2004
СИДОРОВ А.А.	ЦЕХ №2	ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА	27-06-2004

Рисунок 6 — Вид проекта из браузера

высвобождением времени инженера ПТБ, затрачиваемого на обучение персонала, прием экзаменов, контроль, поиск в журнале аттестаций работников, у которых приближается срок сдачи экзамена.

Прикидочный анализ экономической эффективности с учетом издержек на разработку проекта показывает: 1) затраты на разработку и внедрение проекта составляют порядка 18 тыс. руб.; 2) обучение теории, сдача экзамена и работы по контролю за сроками сдачи экзаменов приносят около 1,5 тыс. руб. в месяц. Таким образом, срок окупаемости проекта составит около 1 года.

После завершения проекта и введения в опытную эксплуатацию возникла потребность дополнения его новыми разделами для полной автоматизации работы инженера по охране труда, в частности:

- различными графиками (проверок, выездов и т.д.) с контролем исполнения;
- регистрацией актов проверок, приказов и предписаний, распоряжений;
- планами мероприятий.

При положительных результатах работы проекта (с точки зрения безотказности системы) целесообразно его внедрение в локомотивном хозяйстве Свердловской железной дороги.

Литература

1. PERL. Программирование на языке высокого уровня / Матросов А.В., Чаушин М.П. — СПб.: Питер, 2003. — 654 с.
2. Дюбуа П. Применение Perl и MySQL в web-приложениях. — СПб.: БХВ-Петербург, 2000. — 426 с.
3. Мерещаков Е., Хомоненко А. Публикация баз данных в Интернете. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 253 с.
4. Григин И. PHP4. Специальный справочник. — СПб.: Питер, 2002. — 322 с.
5. Уильямс Э. Active Server Pages. Наиболее полное руководство. — СПб.: БХВ-Петербург, 2001. — 623 с.



ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ СТАТЕЙ

1. В редакцию направляется текст статьи с информацией об авторах, шифром УДК, двуязычной аннотацией, списком литературы, графиками, рисунками и таблицами. К тексту прилагается сопроводительное письмо и одна фотография каждого автора в цветном исполнении размером 10х15 см, подписанная простым карандашом на обороте. Фотографии должны быть контрастными, в качестве подложки иметь плотную глянцевую бумагу без заломов и повреждений. В редакцию необходимо прислать распечатку статьи в двух экземплярах (один из экземпляров подписывается всеми авторами, содержит их полные фамилию, имя и отчество, место работы и должность, научные звания, почтовый и электронный адреса и контактные телефоны) и электронный вариант на дискетах 3,5 дюйма CD или ZIP-носителях.

2. Текст статьи объемом не более 12–14 страниц представляется в формате *.doc, *.rtf (Microsoft Word). Формат страницы А4, шрифт Times New Roman Cyr, 14 кегль, полуторный интервал. Все поля по 2 см.

3. Рисунки представляются в оригинале и в электронном виде в форматах *.tiff, *.jpeg (Adobe Photoshop). Рисунки выполняются черной тушью на плотной белой бумаге. Электронные версии рисунков должны быть сохранены с разрешением не менее 300 dpi. Редакция не несет ответственности за возможные искажения информации, представленной только в электронном виде.

4. Схемы и графики представляются в оригинале и в электронном виде в формате *.xls (Microsoft Excel).

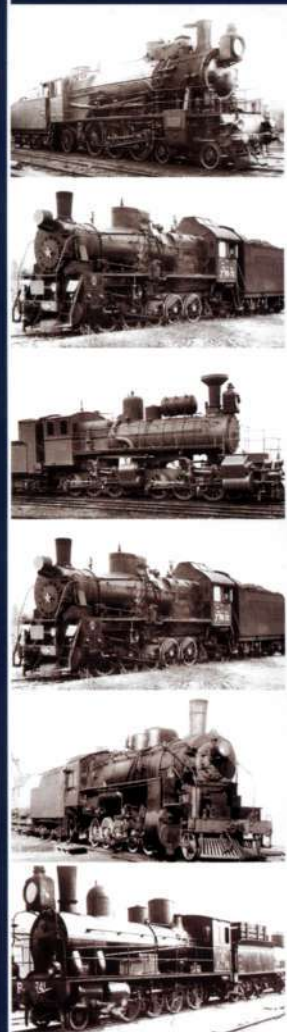
5. Таблицы располагаются непосредственно после абзаца, содержащего упоминание о данной таблице. Все таблицы в тексте необходимо пронумеровать, озаглавить. Кегль внутри таблиц — 11, расположение текста — по ширине, расстановка переносов обязательна, междустрочный интервал одинарный.

6. В тексте статьи отмечаются места расположения дополнительного материала (фотографий, рисунков, графиков и т.д.), представленного в других файлах и в оригинальном виде. На обороте мест расположения дополнительного материала простым карандашом указываются фамилии авторов, номер иллюстрации.

7. Весь материал статьи печатается одноцветным.

8. Каждое наименование в списке литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-84 «Библиографическое описание документа» и должно содержать фамилию автора (инициалы указываются после фамилии), название произведения, место издания (город и издательство), год издания, том, выпуск и страницы. Список должен содержать не более 10 источников. Ссылки на источники даются в тексте в квадратных скобках, в соответствии с нумерацией в списке литературы.

9. Помимо целиком сохраненного в едином файле материала, каждый иллюстративный материал (таблица, рисунок, график, схема) сохраняется ОТДЕЛЬНЫМ ФАЙЛОМ с соответствующим названием.



МУЗЕЙ НАУКИ И ТЕХНИКИ СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Музей истории, науки и техники Свердловской железной дороги существует более 30 лет. Это визитная карточка магистрали, летописец ее богатой и яркой истории. Новая экспозиция музея открылась в 2003 году в здании первого вокзала города Екатеринбурга — памятника истории и архитектуры XIX века. Экспозиция, построенная по отраслевому принципу, отражает этапное развитие науки и техники в различных хозяйствах дороги. Деятельность дорожного музея направлена на улучшение культурного и туристического обслуживания работников железнодорожного транспорта, жителей и гостей города.

Адрес музея: г. Екатеринбург, ул. Вокзальная, 14.

Открыта подписка на научно-технический журнал «Транспорт Урала».
Стоимость одного номера 180 рублей. Периодичность 4 номера в год.

Министерство связи Российской Федерации		Ф СП - 1																																																										
АБОНЕМЕНТ на _____ 46463 (индекс издания) Транспорт Урала Количество комплектов _____ На 2006 год по месяцам <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table> Куда _____ (почтовый индекс) _____ (адрес) Кому _____ Линия отреза _____		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12													ДОСТАВочНАЯ КАРТОЧКА 46463 (индекс издания) Транспорт Урала На _____ <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Стои- мость</td> <td>подписки перед- рессовки</td> <td>руб.</td> <td>коп.</td> <td>Количество комплектов</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table> На 2006 год по месяцам <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> </table>	Стои- мость	подписки перед- рессовки	руб.	коп.	Количество комплектов						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																	
Стои- мость	подписки перед- рессовки	руб.	коп.	Количество комплектов																																																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																	
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> <tr> <td colspan="6">почтовый индекс</td> </tr> <tr> <td colspan="6"> </td> </tr> <tr> <td colspan="6">код улицы</td> </tr> <tr> <td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td> </tr> <tr> <td>дом</td><td>корпус</td><td>квартира</td><td colspan="3">Фамилия И. О.</td> </tr> </table>							почтовый индекс												код улицы												дом	корпус	квартира	Фамилия И. О.			город _____ село _____ область _____ район _____ улица _____																							
почтовый индекс																																																												
код улицы																																																												
дом	корпус	квартира	Фамилия И. О.																																																									



Научно-технический журнал «Транспорт Урала». Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г. Свидетельство ПИ № 77-18098.

Адрес редакции: Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, e-mail: VSay@nis.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала не несет ответственности за предоставленные рекламные материалы



©ИД «Лазурь», 2005, фото на обложку, дизайн, верстка. г. Екатеринбург. Тел. (343) 213-26-19. www.idlazur.ru
 Отпечатано в типографии «Лазурь» (г. Реж). Заказ №. 184 Тираж 1000 экз. Подписано в печать 15.12.05