

ТРАНСПОРТ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

УРАЛ

■ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

■ МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

■ СОСТОЯНИЕ И СПОСОБЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

■ О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ УКАТКЕ СЛОЕВ ОСНОВАНИЯ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ



РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

- 1 Ефимов Александр Васильевич — главный редактор, президент УрГУПС.
- 2 Сай Василий Михайлович — зам. главного редактора, проректор по научной работе (УрГУПС).
- 3 Асадченко Виталий Романович — зам. главного редактора, д.т.н., профессор (УрГУПС).
- 4 Силуков Юрий Дмитриевич — д.т.н., профессор (УГЛТУ).
- 5 Багин Юрий Иванович — д.т.н., профессор (УГТУ-УПИ).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- 1 Аккерман Геннадий Львович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 2 Александров Александр Эрнестович — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 3 Антропов Владимир Алексеевич — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 4 Аржаников Борис Алексеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 5 Афанасьев Анатолий Ильич — д.т.н., УГГУ (Екатеринбург)
- 6 Бачурин Николай Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 7 Баутин Сергей Петрович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 8 Боровских Александр Михайлович — к.т.н., УГЛТУ (Екатеринбург)
- 9 Ваксман Семен Аронович — к.т.н., УрГЭУ (Екатеринбург)
- 10 Галкин Александр Геннадьевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 11 Глушко Марат Иванович — д.т.н., УО ВНИИЖТ (Екатеринбург)
- 12 Готлиб Борис Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 13 Грицык Валерий Иванович — д.т.н., РГУПС (Ростов-на-Дону)
- 14 Ковалев Рудольф Николаевич — д.т.н., УГЛТУ (Екатеринбург)
- 15 Козлов Петр Алексеевич — д.т.н., ЗАО «Транспортный алгоритм» (Москва)
- 16 Коротаев Владимир Николаевич — д.т.н., ПГУ (Пермь)
- 17 Коркунова Ольга Владимировна — к.ф.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 18 Кузнецов Константин Борисович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 19 Лапшин Василий Федорович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 20 Наговицын Виктор Степанович — к.т.н. (Москва)
- 21 Павлюков Александр Эдуардович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 22 Пикалин Юрий Анатольевич — д.э.н. (Свердловская железная дорога)
- 23 Попов Валерий Евгеньевич — д.т.н., НПП «Спектр» (Екатеринбург)
- 24 Рачек Светлана Витальевна — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 25 Резник Леонид Григорьевич — д.т.н., ТГНГУ (Тюмень)
- 26 Самуилов Валерий Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 27 Сергеев Борис Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 28 Скоробогатов Семен Макеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 29 Смольянинов Александр Васильевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 30 Ставров Адольф Павлович — д.т.н., ЮУрГУ (Челябинск)
- 31 Тимофеева Галина Адольфовна — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
- 32 Умняшкин Владимир Алексеевич — д.т.н., УДГУ (Ижевск)
- 33 Ялышев Юрий Иванович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)

Выпускающий редактор Неверова Людмила Васильевна.**Контактные телефоны:**

(343) 373-07-41, 245-01-34, 245-31-88

lneverova@nis.usurt.ru

В НОМЕРЕ**ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА.
БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНEDЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Козлов П.А., Шавзис С.С., Иванов И.В. /СЛОЖНЫЕ ПОТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ.....	2
Шадрин А.П. /ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ.....	7
Артемов В.И./МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	13
Валыт Э.Б./СОСТОЯНИЕ И СПОСОБЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ.....	21
Булаев В.Г./ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ	28
Васильева Г.В. /МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ДВУХМАССНОЙ ВИБРОТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ С ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯМИ НА НИЖНей МАССЕ.....	33

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ
НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ**

Разгонов А.П., Журавлев А.Ю., Разгонов С.А. /МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТИКОВ В РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ.....	35
Художников П. И. , Максимова И.Н./ВЛИЯНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЫ НА ДАЛЬНОСТЬ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ В ГЕКТОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН.....	39
Волынская А.В. /ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ.....	44

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

Афанасьев А.Е. /СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛУВАГОНОВ.....	48
---	----

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА ПОЕЗДОВ

Мазнев А.С., Евстафьев А.М./ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА.....	52
Бородин А.В., Тарута Д.В., Рязанцева И.Л., Волков В.М., Вельгородская Т.В./ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ ПРИ ОПОРНО-ОСЕВОЙ ПОДВЕСКЕ ДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА.....	56

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ НА Ж.Д. ТРАНСПОРТЕ

Галкин А.Г., Ковалев А.А./ОБСЛУЖИВАНИЕ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ.....	60
Никитин А.Б., Манаков А.Д., Шатров Е.Н. /МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ДЕЙСТВИИ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ.....	64

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Силуков Ю.Д., Дмитриев В.Н./О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ УКАТКЕ СЛОЕВ ОСНОВАНИЯ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ.....	69
Захаров Н.С., Абакумов Г.В., Шевелев Е.С. /ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ОПТИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ПОСТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ А ВТОМОБИЛЕЙ.....	71
Кондренко В.А. /ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВОЧНОГО ВОЗДУХА НА ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКУЮ НАГРУЖЕННОСТЬ И НАПРЯЖЕННОСТЬ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ФОРСУНОК ДИЗЕЛЕЙ.....	79
Боровских А.М., Покачалов В.В. /УТЕЧКИ ГАЗОВ ИЗ КАМЕРЫ СТОРАНИЯ В КАРТЕР.....	81

Петр Алексеевич Козлов, д. т. н., профессор, лауреат Государственной премии, президент холдинга (ООО «Стратег», Москва),
Сергей Семенович Шавзис, к.т.н. (УрГУПС), Илья Владиславович Иванов, инженер (ООО «Транспортный алгоритм», Екатеринбург)

СЛОЖНЫЕ ПОТОКОВЫЕ СИСТЕМЫ КАК ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ БАЗИС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

Теория предполагает наличие четких принципов, которые реализуются в разных условиях по-разному. Должны быть сформулированы понятия достаточно простые и абстрактные, чтобы можно было применять математику, но достаточно содержательные, чтобы отражать существенные свойства объекта. Теория - это учение об общем, а не совокупность конкретных сведений.

Конкретные знания отражают не только свойства объекта, но и среду, в которой они реализуются. В теории это следует разделять [1].

Вспомним, например, знаменитую формулу

$$F = ma.$$

Что такое это m – повозка, плуг?

Нет, это абстрактная масса. Или «математический маятник». На нерастяжимой нити с одним только параметром – длиной l – качается математическая точка с массой m . Только на таком уровне абстракции создается теория. А уж потом накладывается форма маятника, со-противление воздуха и пр.

А теорию транспортных узлов пытались создать сразу на конкретном уровне. И получили несколько упорядоченный набор сведений.

1. Почему нет теории транспортных узлов

Профессор В.А. Персианов, много занимавшийся транспортными узлами, как-то сказал: «В классификации узлов больше случайного, чем закономерного». И это действительно так. Откроем учебник: «бывают узлы круглые, полукруглые, вытянутые, с двумя мостами и т. п.». Но ведь и сосны бывают круглые (на открытом месте), полукруглые (на опушке), а бывают и вытянутые вверх (если они растут в чаще). Но за этим разнообразием скрывается один и тот же принцип, по-разному реализованный в разной сфере: ветки растут там, где есть солнце.

Таким образом, ошибочным был сам подход при создании теории. Правда, были попытки представить железнодорожную сеть как некоторый граф с потоками [2]. Но понятие «поток» было абсолютно бессодержательным и не могло отразить функциональное богатство объекта.

2. Потоковые структуры и потоковые системы

Под системой здесь понимается объект, который активно поддерживает самого себя при разрушающем воздействии внешней среды [3]. Основные организационные связи – это связи управления. Так что границы системы следуют проводить по слабоуправляемым связям. Далее будет показано, что

управление в транспортных системах создает так называемые динамические резервы. Это системное свойство, отсутствующее у элементов.

В потоковой структуре система рассматривается на уровне элементов – как элементы взаимодействуют с потоком и друг с другом.

Потоковую структуру можно определить как граф

$$G = (X, P, U, R), \quad (1)$$

где $X \equiv \{x_{ij}\}$ – множество дуг, т. е. каналов для пропуска потоков;

$P \equiv \{P_i\}$ – множество узлов, чаще всего бункеров для поглощения и порождения всплесков потока;

$U \equiv \{u_{ij}\}$ – множество потоков;

$R \equiv \{R_{ij}^k\}$ – множество свойств потока.

Под свойством здесь понимается некоторая «дезорганизация» потока, которая затрудняет или делает невозможным дальнейшее его продвижение.

Потоковая система отличается от структуры наличием целенаправленного управления.

$$G^* = (X, P, U, R, W), \quad (2)$$

где $W \equiv \{w_i\}$ – множество управлений.

Дезорганизация R_{ij}^k возрастає сама собой при прохождении потоком некоторого элемента. Понижение дезорганизации требует затрат энергии и специальных устройств.

3. Основные понятия

Поток – совокупность движущихся единиц.

Его характеризуют:

средний поток u_{ij} ;

множество $\{\rho_{ij}^k\}$;

расчетный поток \tilde{u}

$$\tilde{u} = u(1 + \rho_n).$$



Здесь ρ_n – дезорганизация потока. Поток может быть одноструйный и многоструйный.

Множество $\{\rho_{ij}^k\}$ включает в себя:

ρ^1 – неравномерность, некоторый аналог коэффициента вариации потока V_n ;
 ρ^2 – неупорядоченность струй в потоке; имеется в виду, что при появлении развилки поток нельзя разделить без дополнительной переработки (требуется расформирование);

ρ^3 – несоответствие величины порции потока номинальной (требуется накопление);

ρ^4 – потеря информации о состоянии потока (с определенной вероятностью вагон пойдет в ремонт, необходим осмотр, т. е. восстановление информации);

ρ^5 – потеря энергии I рода («усталость» локомотива);

ρ^6 – потеря энергии II рода (усталость бригад).

Понятия выбраны применительно к железнодорожному транспорту как наиболее сложному. Аналогичный набор можно сформулировать и для других видов транспорта.

Элементы

В общем случае элемент определяется воздействием его на множество $\{\rho^k\}$. Некоторые ρ^k он увеличивает, некоторые (чаще одно ρ^k) понижает.

То есть элемент определяют:

d_{ij} – пропускная способность;

$\{\Delta\rho_{ij}^k\}$ – активное увеличение некоторых ρ^k ;

$\Delta\tilde{\rho}^k$ – активное уменьшение каких-то ρ^k .

При этом существуют соотношения типа:

$$\exists_k |u(1 + \rho^k) \leq d_{ij}; \quad (3)$$

$$\exists_k |\rho^k \leq \bar{\rho}^k. \quad (4)$$

Соотношения (3) и (4) определяют возможность дальнейшего движения потока.

Для примера можно описать с этих позиций некоторые устройства железнодорожного транспорта.

Участок пути: $(+\Delta\rho^1, +\Delta\rho^4, +\Delta\rho^5, +\Delta\rho^6)$.

Парк приема (технологические пути): $(+\Delta\rho^1, -\Delta\rho^4)$.

Парк приема (резервные пути): $(-\Delta\rho^1)$.

Сортировочная горка:

Парк накопления: $(+\Delta\rho^1, -\Delta\rho^3)$.

Развилка: $(+\Delta\rho^3)$.

Пункт смены локомотива: $(+\Delta\rho^1, -\Delta\rho^5)$.

Пункт смены бригад: $(+\Delta\rho^1, -\Delta\rho^6)$.

Таким образом, в рамках сформулированных абстрактных понятий можно достаточно полно отобразить взаимодействие устройств транспортного узла с потоком и между собой.

На первом этапе рассмотрим продвижение потока по потоковой структуре только с одним ρ , или просто ρ .

4. Взаимодействие потоковой структуры с потоком

Канал в общем случае повышает на величину $\Delta\rho$ дезорганизацию ρ_n , т. е. имеет собственный «шум» ρ_k (заявки обслуживаются неравномерно).

$$\text{Отсюда } \tilde{u} \leq \frac{d}{1 + \rho_k}. \quad (5)$$

$$\text{То есть } u(1 + \rho_n) \leq \frac{d}{1 + \rho_k}. \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{Или } & u(1 + \rho_n)(1 + \rho_k) \leq d \\ & u(1 + \rho_n + \rho_k + \rho_n \cdot \rho_k) \leq d. \end{aligned} \quad (7)$$

Слагаемым ($\rho_n + \rho_k$) можно пренебречь ввиду его незначительного влияния.

$$\text{Тогда } u(1 + \rho_n + \rho_k) \leq d. \quad (8)$$

При прохождении потока по каналу его дезорганизация ρ_n повышается (рис. 1).

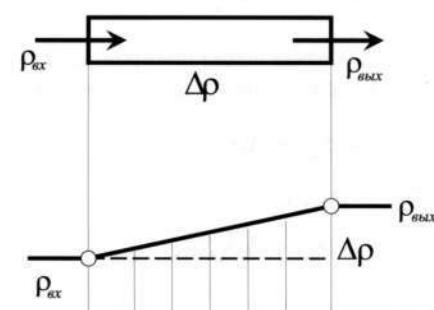


Рисунок 1 – Взаимодействие потока и канала

$$\rho_{vykh} = \rho_{ax} + \Delta\rho. \quad (9)$$

В бункере происходит снижение ρ на величину $\Delta\rho$ (активное), т. е. ритм выхода заявок может стать более комфортным для канала за счет их задержки.

При этом ρ может быть снижено до нуля или даже в отрицательную область, т. е. (ρ_n) означает управляемую неравномерность (рис. 2).

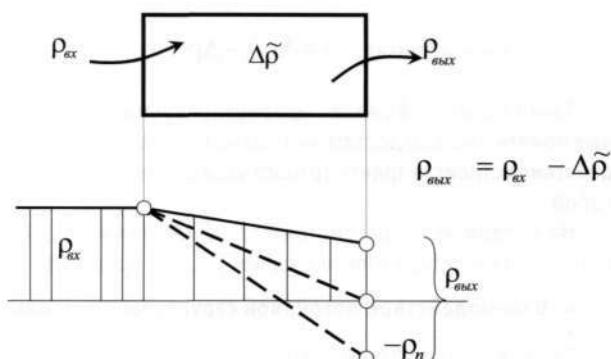


Рисунок 2 – Взаимодействие потока и бункера

Если канал после бункера не имеет резервов, т. е.

$$u(1 + \rho_n + \rho_k) = d, \quad (10)$$

то $\Delta\tilde{\rho} = \rho_n + \rho_k$ – максимальная требуемая величина (рис. 3).

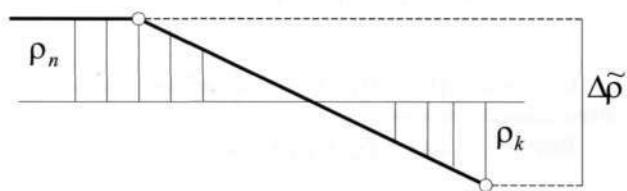


Рисунок 3 – Максимальное преобразование потока

Итак, преобразование потока при прохождении каналов и бункеров (рис. 4) можно записать соотношениями:

$$\rho_{вых_1} = \rho_{вх_1} + \Delta\rho_1;$$

$$\rho_{вх_2} = \rho_{вых_1};$$

$$\rho_{вых_2} = \rho_{вх_2} - \Delta\tilde{\rho}_2;$$

$$\rho_{вх_3} = \rho_{вых_2};$$

$$\rho_{вых_3} = \rho_{вх_3} + \Delta\rho_3,$$

или, преобразуя,

$$\rho_{вых_3} = \rho_{вх_1} + \Delta\rho_1 - \Delta\tilde{\rho}_2 + \Delta\rho_3. \quad (11)$$

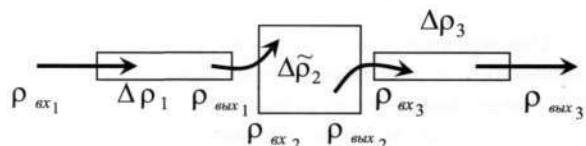


Рисунок 4 – Взаимодействие «канал – бункер – канал»

Однако здесь возникает одна трудность. Дело в том, что при $\rho_n < 1$ управляемая для этого канала неравномерность становится после выхода неуправляемой для последующего канала, т. е. в общем случае соотношение должно меняться (рис. 5).

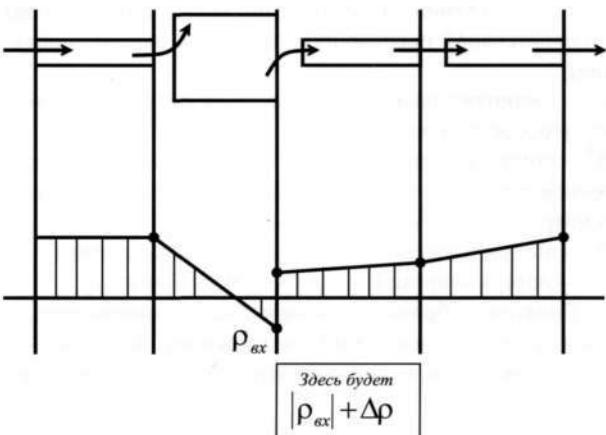


Рисунок 5 – Трансформация управляемого потока

Возникает переменная со значением по абсолютной величине, что сразу не дает возможности применять модели оптимизации. Необходимо избежать этого. В формуле систем массового обслуживания, выведенной профессором И.Б. Сотниковым для железнодорожных станций, предложена формула, связывающая параметры потока до бункера и после канала (рис. 6),

$$v_{вых} = v_{вх} - \frac{1}{2}(v_{вх} - v_{об})\psi^{2v_{вх}}, \quad (12)$$

где ψ – коэффициент загрузки канала обслуживания.

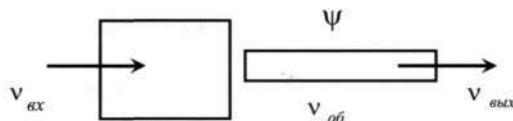


Рисунок 6 – Связь параметров в системе «бункер – канал»

Как видим, формулу можно считать практически линейной при $\psi = \text{const}$.

А при известной структуре системы и структуре потоков легко рассчитать ψ для всех каналов, ибо она будет

$$\psi_{ij} = \frac{u_{ij}}{d_{ij}},$$

(т. е. средний поток, деленный на пропускную способность).

Итак, в процессе перехода потока с элемента на элемент возникают два резко отличающихся случая (рис. 7,8). →

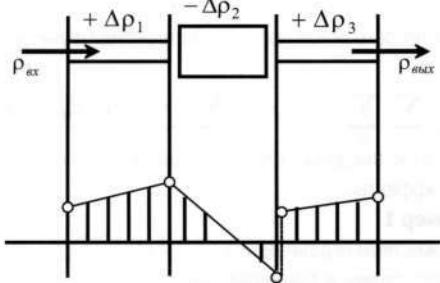


Рисунок 7 – «Слабая» работа бункера

$$\rho_{\text{вых}} = \rho_{\text{ax}} + \Delta\rho_1 - \Delta\tilde{\rho}_2 + \Delta\rho_3. \quad (13)$$

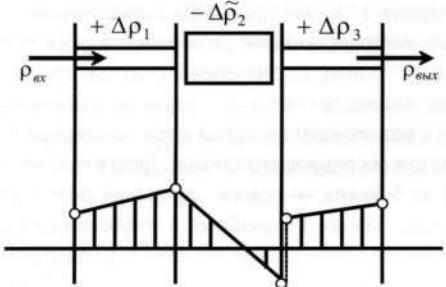


Рисунок 8 – «Сильная» работа бункера

$$\rho_{\text{вых}} = |\rho_{\text{ax}} + \Delta\rho_1 - \Delta\tilde{\rho}_2| + \Delta\rho_3. \quad (14)$$

Во втором случае (рис. 8) после бункера ρ потока уходит в отрицательную область, т. е. появляется управляемая неравномерность. Она удобна для канала после бункера, но на выходе для последующего канала будет случайной.

Возможные решения

а) «Прыжок» через бункер (рис. 9)

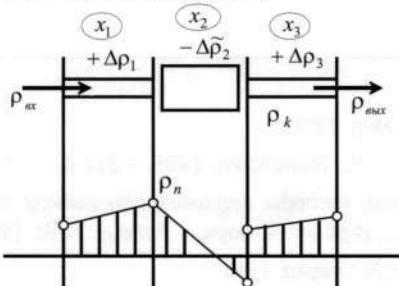


Рисунок 9 – Непосредственная связь входа и выхода

ρ_n – ρ потока;
 ρ_k – ρ канала (обслуживания);
 α, β – коэффициенты.

Считаем, что при заданном уровне загрузки канала χ , известном ρ потока, входящего в бункер, и ρ канала можно использовать приведенную линейную зависимость. Коэффициенты α и β находятся экспериментально на модели.

б) Дуальный подход

Для случая 1 используем формулу

$$\rho_{\text{вых}} = \rho_{\text{ax}} + \Delta\rho_1 - \Delta\tilde{\rho}_2 + \Delta\rho_3. \quad (15)$$

Для случая – 2 формулу

$$\rho_{\text{вых}} = |\rho_{\text{ax}} + \Delta\rho_1 - \Delta\tilde{\rho}_2| + \Delta\rho_3. \quad (16)$$

Или, если рассматривается система «бункер – канал» (рис. 10),

$$\rho_{\text{вых}} = |\rho_{\text{ax}} - \Delta\tilde{\rho}_2| + \Delta\rho_3. \quad (17)$$

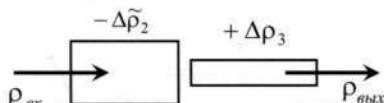


Рисунок 10 – Переход с управляемым потоком

Разделяет варианты барьерное Ψ (рис. 11).

При $\Psi = \hat{\Psi}$ $\rho_{\text{ax}} = |- \Delta\tilde{\rho}|$.

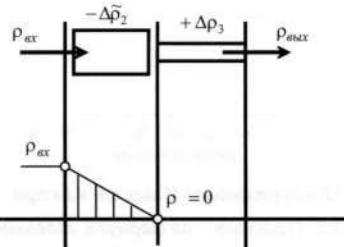


Рисунок 11 – Граница в дуальном подходе

То есть для $\Psi \leq \hat{\Psi}$ используется формула

$$\rho_{\text{вых}} = \rho_{\text{ax}} - \Delta\tilde{\rho}_2 + \Delta\rho_3, \quad (18)$$

для $\Psi > \hat{\Psi}$ – формула

$$\rho_{\text{вых}} = -(\rho_{\text{ax}} - \Delta\tilde{\rho}_2) + \Delta\rho_3. \quad (19)$$

Величина Ψ определяется экспериментами на модели.

5. Оптимизация в потоковых структурах

Для упрощенной структуры с одним типом ρ оптимизация заключается в выборе наилучших параметров каналов и бункеров.

Функционал

$$F = \sum_i \sum_j u_{ij} \rho_{ij} c_{ij} + \sum_i c_i u_{ij} \cdot \Delta \tilde{\rho}_i^2 \rightarrow \min, \quad (20)$$

где c_{ij} – стоимость пропуска единицы потока через канал x_{ij} ;

c_i – стоимость простоя единицы потока в единицу времени в бункере x_i .

Здесь выбрана квадратичная форма зависимости затрат на простой потока от $\Delta \tilde{\rho}_i$, ибо это следует из известных формул. Данное предположение будет проверено экспериментами на модели. Если зависимость окажется более высокого порядка, будет применяться кусочная квадратическая функция [4].

К сожалению, нельзя с уверенностью опираться на статистические зависимости, полученные разными исследователями в прошлые годы. Например, приведенная выше формула профессора И.Б. Сотникова дает слишком большие и принципиальные погрешности (проверка осуществлялась многочисленными экспериментами на имитационной модели) (рис. 12).

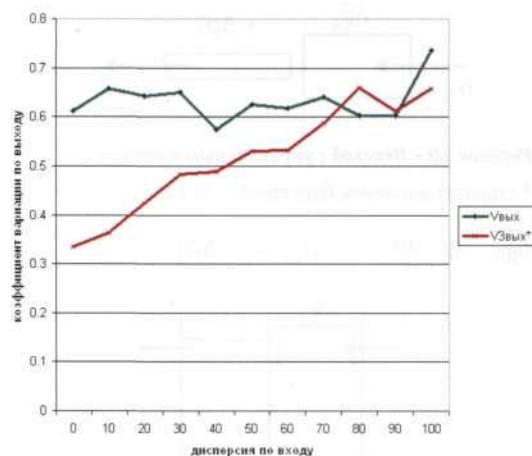


Рисунок 12 – Зависимость V вых от V вх при $\Psi = 0,7$ и V обсл = 0,5 (красным – по формуле, зеленым – на модели)

Ограничения:

$$\begin{aligned} u_{ij}(1 + \rho_{nij} + \rho_{kij} - \Delta \tilde{\rho}_i) &\leq d_{ij}; \\ \rho_{ij\text{вых}} &= \rho_{i\text{вх}} - \Delta \tilde{\rho}_i + \Delta \rho_{ij}; \\ \forall_i |\Delta \tilde{\rho}_i| &\leq \Delta \bar{\rho}_i. \end{aligned} \quad (21)$$

Для многоструйной потоковой структуры функционал будет иметь вид

$$F = \sum_i \sum_j \sum_{\delta} c_{ij}^{\delta} u_{ij}^{\delta} \rho_{ij}^{\delta} + \sum_i \sum_{\delta} c_i^{\delta} u_i^{\delta} \Delta \tilde{\rho}_i^2 \rightarrow \min.$$

При этом, вводя поструйные ограничения, можно получать важные эффекты.

Пример 1

При жестком ограничении $\forall_i |\Delta \tilde{\rho}_i| \leq \Delta \bar{\rho}_i^{\delta}$ струя u_{ij}^{δ} будет мало стоять в бункерах, т. е. ей дается «зеленый свет» (остальные струи будут задерживаться).

Пример 2

Жесткое ограничение $\exists_i |\rho_{ij}^{\delta}| \leq \bar{\rho}_{ij}^{\delta}$ заставляет струю u_{ij}^{δ} выходить практически равномерно из канала x_{ij} (например, необходимо равномерно подавать вагоны на грузовой фронт).

Следует отметить, что параметр дезорганизации потока ρ лишь в какой-то мере соответствует коэффициенту вариации V . Во-первых, ρ может принимать отрицательные значения. Во-вторых, многочисленными экспериментами на модели было показано, что потоку со значением ρ может соответствовать некоторое множество потоков с разными значениями V (они приводят к возникновению одной и той же очереди, т. е. равно неудобны для последующего канала). Дело в том, что поток, выходящий из бункера, не совсем случайный, поэтому параметр V отражает размах и случайных, и управляемых колебаний. По-видимому, в этом кроются ошибки в формулах массового обслуживания, полученных разными авторами. В железнодорожных узлах потоки заявок вследствие диспетчерского управления никогда не бывают совсем случайными.

Таким образом, создание теории транспортных узлов необходимо начинать с построения теории достаточно абстрактных потоковых систем, на которых можно исследовать взаимодействие разных потоков и различных структур. Предложенные в статье исходные понятия и закономерности преобразования свойств потока при взаимодействии с элементами структуры могут служить стартовой теоретической основой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение. - М.: Мир, 1990.
2. Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. - М.: Транспорт, 1985. - 214 с.
3. Козлов П.А. Теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: Дис. ... д-ра техн. наук. - Липецк: ЛПИ, 1986.
4. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М.: Наука, 1981.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

Рассматривается математическая модель надежности управления транспортными потоками: основные положения, принципы, критерии оценки и т.д. Особенno актуально применение модели в рамках создания корпоративной интегрированной системы менеджмента качества на Свердловской железной дороге. Данные, полученные в ходе моделирования, могут быть использованы для определения критериев и показателей результативности процессов системы менеджмента качества практически в любых структурных подразделениях железной дороги.

В настоящее время особенное внимание уделяется менеджменту во всех его проявлениях. Создано большое количество теорий, посвященных менеджменту, разработаны принципы TQM, а на их платформе – стандарты серии ИСО 9000. В итоге уже с начала 90-х гг. систему менеджмента качества успешно применяют в транспортных организациях по всему миру – начиная от небольших компаний до логистических гигантов. Например, очень интересен опыт использования системы менеджмента качества Немецкими железными дорогами, Финскими железными дорогами, логистик-центрами Польши, Чехии и др.

В нашей же стране нет такого бурного развития системы менеджмента качества транспортных организаций. Причина этого банально проста – сложность адаптации стандартов ИСО 9000 под нашу специфику транспорта. Лишь сейчас началось формирование системы менеджмента качества не только на Свердловской железной дороге, но и в других филиалах ОАО «Российские железные дороги».

Например, в так называемый пилотный полигон помимо Свердловской железной дороги руководством ОАО «РЖД» также выделены Октябрьская и Горьковская железные дороги. Предлагаемые железной дороге инструменты менеджмента качества рассматривают множество показателей менеджмента, но их суть сводится только к технико-экономической оценке деятельности организации [1]. Обычно для определения эффективности организационной структуры используются показатели, характеризующие выполнение основных этапов процедуры управления экономическим объектом. Эти показатели обладают рядом недостатков. Во-первых, они не учитывают фактор времени, во-вторых, не связаны с теми функциями, которые выполняет организация (необходимо учитывать специфику транспортных организаций). В-третьих, они практически не дают никакой информации для последующего анализа. В-четвертых, не зависят от структуры взаимосвязи элементов внутри организации и др. Применение показателей не дает нам никакой полезной информации,

столе необходимой для эффективного управления транспортной организацией. Они только нагружают исполнителей работой, которая впоследствии оказывается совсем не нужной. Это очень актуально для нашей страны, так в последнее время документооборот на железных дорогах значительно возрос и «лишние бумаги», не добавляющие ценности управления, здесь не нужны.

Такое большое допущение в дальнейшем приведет железную дорогу в тупик в отношении создания эффективной системы менеджмента качества, если не будут разработаны конкретные подходы к оценке деятельности менеджмента. В ответ на данный спорный момент автором предложен весьма оригинальный подход к адаптации системы менеджмента качества в условиях функционирования транспортной организации. При этом рассматривается данный подход поэтапно – от постановки конкретного определения исследуемой области до принятия четких управленических решений по улучшению деятельности системы менеджмента качества железной дороги.

Но сначала определим положительные стороны нового подхода. Его применение в виде анализа надежности менеджмента и последующая интеграция в систему менеджмента качества организации формируют основу для глубокого функционального анализа управленческой деятельности. Стоит отметить, что большой круг проблем теории надежности связан с оптимизацией тех или иных решений. Для поиска неисправностей в сложной системе, например крупной организации (железная дорога), нельзя действовать разобщенно или путем перебора всех элементов. Для этого требуется много времени, к тому же такой прием малопроизводителен. Попытки найти более эффективные правила проверки приводят к постановке задачи о наиболее рациональных процедурах поиска неисправности. Математическая модель надежности менеджмента организации позволит принципиально сократить время поиска. При этом математическая модель предназначена для дифференцированного анализа деятельности

менеджмента организации с четкими последующими выводами по его результатам.

Итак, на первом этапе сформулируем область исследования. Для этого дадим определение «надежность менеджмента». Следует учитывать множество факторов, среди которых наиболее важным является то, что организация состоит из людей, поэтому понятия надежности технических в чистом виде систем здесь не работают.

Таким образом, надежность менеджмента – это одно из свойств деятельности по руководству людьми в организации, направленное на достижение стоящих перед нею целей при помощи использования труда, интеллекта, мотивов поведения сотрудников и при сохранении во времени в установленных пределах значений всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

Надежность менеджмента должна определять стабильность качества менеджмента организации вследствие сохранения свойств, высоких показателей назначения в течение заданного интервала времени. К показателям стабильности менеджмента относятся: достижение поставленных целей организации, сохранение во времени предназначения организации, единство структуры и т.д. С точки зрения автора, надежность менеджмента – это комплексное свойство, которое вне зависимости от назначения организации и условия его применения заключено в сочетании показателей безотказности, долговечности, взаимозаменяемости и устойчивости менеджмента. В отличие от надежности технических систем надежность менеджмента мало изучена.

Сравним показатели надежности менеджмента организации и технических систем (табл. 1).

Таблица 1 – Сравнение показателей надежности

Менеджмент организации	Технические системы
Показатели безотказности характеризуют свойства менеджмента сохранять эффективность управления в течение некоторого времени	Показатели безотказности характеризуют свойства проектируемой конструкции сохранять работоспособность в течение некоторого времени
Показатели долговечности характеризуют свойства менеджмента сохранять заданные параметры работоспособности до предельного состояния при граничных интервалах времени	Показатели долговечности характеризуют свойства конструкции сохранять работоспособность до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов
Показатели взаимозаменяемости характеризуют способность менеджмента давать возможность предупреждать и обнаруживать несоответствия и устранять причины их возникновения без ухудшения функционирования организации	Показатели ремонтопригодности характеризуют способность конструкции давать возможность предупреждать и обнаруживать причины повреждения и устранять их путем проведения ремонтов и технического обслуживания
Показатели устойчивости включают в себя свойства менеджмента сохранять работоспособное состояние системы управления при изменении внешних и внутренних факторов	Показатели сохраняемости характеризуют свойства конструкции сохранять исправное и работоспособное состояние во время хранения, транспортировки и эксплуатации

Раскроем, какие конкретные характеристики относятся к показателям надежности менеджмента организации.

1. Показатели безотказности включают в себя степень достижения целей организации, следование стратегической концепции, выполнение плана оперативной

стратегии (бизнес-плана), стабильность (динамичность) финансовых, производственных показателей. Оценка организаторских возможностей руководителей (лидерства).

2. Показатели долговечности включают в себя степень удовлетворенности требованиям потребителей (очень важный показатель для транспортных предприятий – большая конкуренция и неудовлетворенность потребителя приведут организацию к банкротству), структурная оптимизация управленческого аппарата. Планы компании и основания их принятия, эффективность применяемых подходов для достижения планируемых результатов.

3. Показатели ремонтопригодности включают в себя степень результативности корректирующих и предупреждающих действий по результатам внутреннего аудита в организации.

4. Показатели устойчивости включают в себя степень сохранения технико-экономических показателей при изменении положения организации на рынке, например при выпуске новой номенклатуры транспортных услуг, а также появлении на рынке новых конкурентов и тенденций изменения рынка.

Для проверки рассмотренной модели надежности автор предложил простую модель получения данных об ошибках по вине руководителя. Был проведен эксперимент, имитирующий управленческую деятельность оператора сортировочной станции железной дороги.

Оператор руководит диспетчерами четной и нечетной стороны сортировочной станции, т. е., по сути, он является менеджером начального уровня. Оценивать оператора как менеджера начального уровня будем по показателям, которые влияют на качество его работы. Например, к таким показателям можно отнести максимальную пропускную способность составов через сортировочную станцию. При этом будем фиксировать ошибки, допущенные оператором сортировочной станции, который должен наблюдать за световым табло, на котором будут изображены схемы транспортных потоков, и реагировать на «появление новых составов» нажатием кнопки.

При анализе работы оператора сортировочной станции необходимо учитывать следующие факторы:

- качество обучения и практической подготовки;
- наличие письменных инструкций, их качество и возможность неправильного их толкования;
- степень учета эргономических аспектов при проектировании органов управления и индикаторов;
- тип используемых средств отображения визуальной информации (например, слишком много индикаторов, требующих внимания оператора);
- степень независимости действий оператора;
- наличие операторов-дублеров;
- психологические нагрузки.

Оценку частоты ошибок следует проводить только после рассмотрения всех этих факторов, так как они влияют на качество работы оператора сортировочной станции.

В результате удалось выявить, что оператор допускал ошибки двух типов:

- ошибки необнаружения: оператор не заметил появление новых составов;
- ошибки ложной тревоги: оператор передавал управленческое распоряжение диспетчеру станции, хотя на табло в действительности не было новых составов.

В процессе эксперимента регистрировалось также время до появления первой ошибки необнаружения, время до появления ошибки ложной тревоги и время до появления любой из этих ошибок.

Сначала рассмотрим методику определения закона распределения случайной величины X на примере определения закона распределения средней наработки на ошибку, сделанную оператором.

Исходные данные: общая продолжительность эксперимента t_{Σ} ; общее число контролируемых операторов N ; число операторов, сделавших ошибку «необнаружения», «ложной тревоги» за время эксперимента n ; время работы операторов до ошибки t_1, t_2, \dots, t_n .

Закон распределения наработки до ошибки менеджера определяется в следующей последовательности [2-5].

1. Строится вариационный ряд наработки отдельных операторов $t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < \dots < t_n$.

2. Общее время эксперимента t_{Σ} разбивается на k интервалов.

3. Для каждого интервала определяются эмпирические характеристики: Δt – продолжительность интервала; n_i – число операторов, сделавших ошибку в каждом интервале; $\phi_i^*(t) = n_i/N\Delta t$ – оценка плотности распределения ошибок операторов в каждом интервале;

$\lambda_i^*(t) = n_i/(N - n_{i-1})\Delta t$ – оценка интенсивности ошибок;

$P_i(t) = \phi_i^*(t)/\lambda_i^*(t)$ – оценка вероятности ошибок в интервале.

4. Состраются гистограммы $\phi^*(t)$ и $\lambda^*(t)$, по виду гистограммы высказывается гипотеза о законе распределения.

Если $\lambda^*(t) = \text{const}$, то принимается гипотеза об экспоненциальном законе; если $\lambda^*(t)$ имеет минимум в середине интервала, то принимается нормальный закон распределения; если $\lambda^*(t)$ убывает или возрастает с увеличением t , то имеет место закон Вейбулла – Гнеденко.

5. По эмпирическим данным определяются оценки параметров предполагаемого закона распределения.

6. По критерию Пирсона (или Колмогорова) производится проверка гипотезы о законе распределения.

Полученные данные об отказах анализировались графическим методом и по критерию Колмогорова – Смирнова. Было установлено, что частота ошибок по вине оператора сортировочной станции зависит от времени и что распределение Вейбулла – Гнеденко, гамма-распределение и логарифмически нормальное распределение хорошо согласуются с экспериментальными данными [6, 7]. Обобщенно данный процесс анализа, включая процесс определения

необходимых мероприятий по повышению надежности менеджмента, представлен на рис. 1.

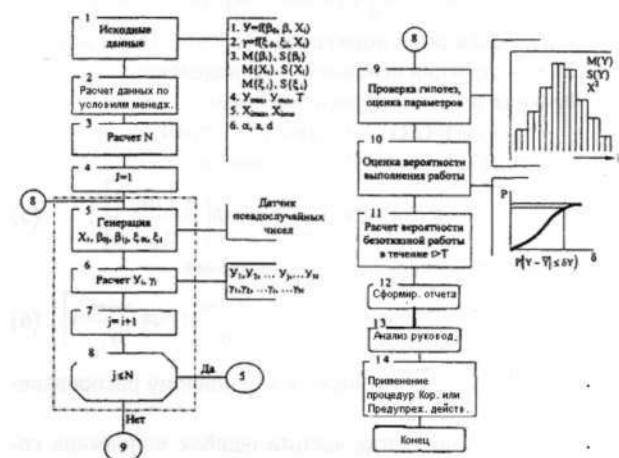


Рисунок 1 – Процесс анализа надежности менеджмента

Рассмотрим случай, когда частота ошибок менеджера согласуется с логарифмическим нормальным распределением.

Напомню, что, когда логарифм значения случайной величины подчиняется нормальному распределению, имеет место логарифмический нормальный закон [2-4].

Плотность распределения случайной величины

$$\varphi(x) = \frac{1}{x\sigma_0\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(\ln x - \ln m_x)^2/2\sigma_0^2\right] = \frac{0,434}{x\sigma_0\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(\lg x - \lg m_x)^2/2\sigma_0^2\right]. \quad (1)$$

Функция Лапласа для этого закона определяется по аргументу

$$\frac{\lg x - \lg m_x}{\sigma_0}, \text{ т.е. } \Phi\left(\frac{\lg x - \lg m_x}{\sigma_0}\right). \quad (2)$$

Математическое ожидание $m_x = m_0 e^{-2,65\sigma_0}$, дисперсия

$$\sigma_x^2 = m_x^2 \left[\left(\frac{m_x}{m_0} \right)^2 - 1 \right]. \quad (3)$$

Коэффициент вариации $v = \sqrt{e^{-5,3\sigma_0^2}}$ зависит только от среднеквадратичного отклонения и не зависит от математического ожидания. При малых значениях σ_0 логарифмическое распределение незначительно отличается от нормального. Логарифмическое нормальное распределение используется для обработки опытных данных по управленческой работе и др.

Для описания распределений некоторых величин (например, работа менеджера до ошибки) иногда оказывается удобным использовать усеченные распределения, для которых в крайних областях $x < a$ и $x > b$ плотность распределения равна нулю. Усеченное нормальное распределение описывается плотностью распределения вида

$$f_y(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < a, \\ K & \text{при } a < x < b, \\ 0 & \text{при } x > b \end{cases} \quad (4)$$

Из условия нормирования следует

$$\int \phi_y(x) dx = K \int \phi(x) dx = K [F(b) - F(a)]$$

или коэффициент нормирования $K=1/(F(b)-F(a))$, где $F(\bullet)$ – функция основного распределения.

Функция усеченного распределения

$$F_y(x) = (F(x) - F(a))/(F(b) - F(a)).$$

Переходя к функции Лапласа, имеем

$$K = 1 / \left[\Phi\left(\frac{b-m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a-m_x}{\sigma_x}\right) \right], \quad (5)$$

и функция усеченного распределения

$$F_y(x) = \left[\Phi\left(\frac{x-m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a-m_x}{\sigma_x}\right) \right] / \left[\Phi\left(\frac{b-m_x}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{a-m_x}{\sigma_x}\right) \right], \quad (6)$$

где m_x и σ_x относятся к основному распределению.

Второй случай, когда частота ошибок менеджера согласуется с распределением Вейбулла – Гнеденко.

Рассмотрим систему, состоящую из k операторов, у которых сделанные ошибки являются независимыми, при этом сделанная ошибка любым оператором рассматривается как отказ всей системы. Пусть t есть время безотказной работы системы, а t_i – время безотказной работы i -го оператора, $i = 1, 2, \dots, k$. В этом случае $t = \min(t_1, t_2, \dots, t_k)$.

Пусть все операторы имеют экспоненциальное распределение времени безотказной работы. В соответствии с экспоненциальным законом функция распределения

$$F(t) = 1 - \exp(-\sum_i t_i \lambda_i). \quad (7)$$

Особый интерес представляет ситуация, имеющая следующие особенности. Число элементов системы k велико, все функции распределения $F_i(t)$ таковы, что при $t \rightarrow 0$ имеет место равенство $F_i(t) = T\gamma/\beta^k + O(T\gamma)$, где $\beta > 0$, $\gamma > 0$.

Плотность распределения имеет вид

$$\phi(t) = \frac{\gamma}{\beta} t^{\gamma-1} e^{-t/\beta},$$

где γ – переменный параметр, определяемый коэффициентом вариации случайной величины. Если $\gamma = 0$, то имеет место экспоненциальное распределение, при $\gamma = 2,5 - 3,5$ – близко к нормальному распределению. β зависит от среднего времени до ошибки и определяется выражением $\beta = (T_o/b_m)^v$, где $b_m = \Gamma(1 + \frac{1}{\gamma})$ – гамма-функция.

Параметры распределения β и γ можно определить следующим образом. Пусть произведено N экспериментов с операторами, из них сделали ошибки в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n ; t_u – время испытаний.

Тогда

$$\beta = \frac{1}{T} \sum_i^T t_i^v + \frac{N-n}{n} t_u^v; \quad (8)$$

$$\beta = \left[\sum_i^n t_i^v \ln t_i + (N-n) t_u^v \ln t_u \right] / \left(\frac{n}{\gamma} + \sum_i^n \ln t_i \right). \quad (9)$$

Уравнения решают графически: задаются рядом значений γ и по уравнениям определяют β' и β'' . Строят графики $\beta_1(\gamma)$ и $\beta_2(\gamma)$, точка пересечения кривых определяет значения β и γ (рис. 2).

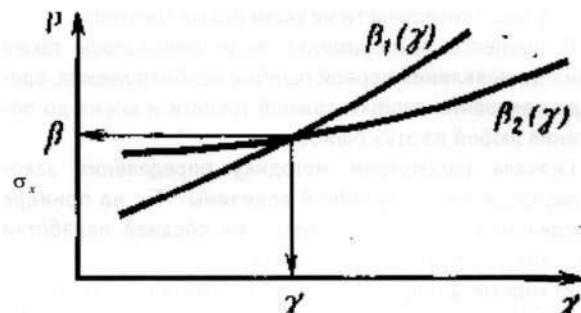


Рисунок 2 – Определение значений переменных при различных условиях вероятности

Среднеквадратичное отклонение и математическое ожидание для распределения Вейбулла – Гнеденко определяют: $T = \beta b_m$; $\sigma = \beta c_m$,

$$\text{где } b_m = \Gamma(1 + \frac{1}{\gamma}); c_m = \Gamma(1 + \frac{2}{\gamma}) - b_m^2. \quad (10)$$

На втором этапе после определения количественного показателя надежности работы оператора сортировочной станции строится дерево вероятностей. При использовании этого метода задается некоторая условная вероятность успешного или ошибочного выполнения оператором каждой важной операции либо вероятность появления соответствующего события. Исход каждого события изображается ветвями дерева вероятностей. Полная вероятность успешного выполнения определенной операции находится суммированием соответствующих вероятностей в конечной точке пути успешных исходов на диаграмме дерева вероятностей (рис. 3). Этот метод с некоторыми уточнениями может учитывать такие факторы, как стресс, вызываемый нехваткой времени, эмоциональная нагрузка, нагрузка, определяемая необходимостью ответных действий, результатами взаимодействий и отказами оборудования.

Данный метод обеспечивает хорошую наглядность, а связанные с ним математические вычисления просты, что, в свою очередь, снижает вероятность появления вычислительных ошибок. Кроме того, он позволяет оценить условную вероятность, которую в противном случае можно получить только с помощью решения сложных вероятностных уравнений.



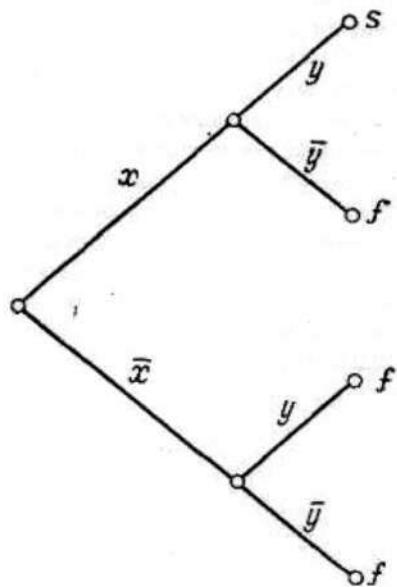


Рисунок 3 – Схема дерева исходов в случае гипотетического задания

Помимо построения дерева вероятностей исходов событий перспективен следующий подход. Пусть работа каждого K -го оператора характеризуется параметром a_k , который меняется случайным образом во времени. Работу системы характеризует выходной параметр, который функционально связан с параметрами a_k ,

$$i = f\{a_1, a_2, \dots, a_n\}.$$

Мы считаем работу системы нормальной, если этот параметр находится в некоторых пределах

$$U_1 \leq i \leq U_2, \quad (11)$$

и говорим, что наступил отказ, если параметр i выходит за эти пределы.

Неравенству

$$U_1 \leq f(a_1, \dots, a_n) \leq U_2 \quad (12)$$

соответствует некоторая область в n -мерном пространстве: $a = (a_1, \dots, a_n)$.

На третьем этапе проводится анализ ошибок оператора сортировочной станции. Их можно распределить по трем уровням, и на каждом уровне возможно предупреждение ошибок (рис. 4). Например, на уровне 1 можно учесть влияние всех факторов (отсутствие письменных инструкций, специальных знаний и навыков по работе и т.д.), которые могут стать причинами ошибок оператора. На уровне 2 – минимизировать нежелательные последствия ошибок, исправляя неправильное функционирование системы вследствие ошибок, полученных по вине диспетчера, при помощи корректирующих действий,

основанных на результатах анализа надежности работы стационарного диспетчера. На уровне 3 можно исключить повторное возникновение тех или иных ситуаций, приводящих к ошибкам оператора, используя при этом данные предыдущих этапов.



Уровень 1

Уровень 2

Уровень 3

Рисунок 4 – Категории ошибок оператора сортировочной станции

При этом стоит отметить, что надежность системы управления организацией [6, 7] со временем может неуклонно ухудшаться, если не принимать специальных мер по предупреждению, выявлению несоответствий и их оперативному устранению. С целью поддержания готовности и надежности системы менеджмента на уровне, необходимом для успешного выполнения системой поставленных перед ней задач, с использованием методов теории надежности, стратегического менеджмента, диагностики разрабатывают и реализуют рациональную систему мониторинга надежности управления и в соответствии с ней план проведения корректирующих и предупреждающих действий. При этом с помощью инструментов мониторинга надежности менеджмента можно проследить динамику изменения показателей надежности управления в заданном промежутке времени (рис. 5).

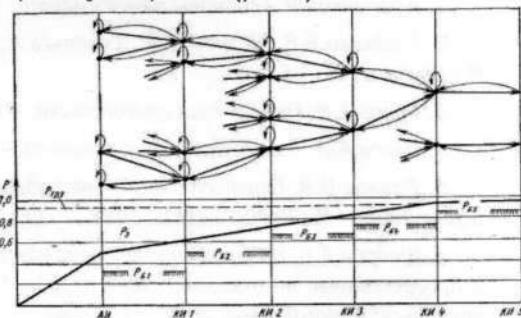


Рисунок 5 – Изменение показателей надежности в течение времени

Основная задача исследования надежности управления на этих стадиях состоит в определении конкретных параметров каждого элемента управления. Объект исследований – общий менеджмент организации с учетом всех его организационных особенностей и свойств, с анализом их влияния на эффективность организации и учетом затрат на повышение эффективности управления. Поэтому основу составляют методы математического моделирования функционирования управлеченческих связей. Решение задач повышения надежности базируется на информации от предшествующего этапа исследований, представляемых в виде исходных требований, а также с учетом последующих этапов мониторинга надежности.

В заключение можно сказать, что математическая модель надежности дает возможность решить поставленные вопросы с учетом всех особенностей менеджмента, что в конечном счете дает количественные и качественные показатели для анализа высшим руководством деятельности организации. Также она позволяет установить адекватные показатели результативности процессов в системе менеджмента качества организации, что особенно актуально в период создания такой системы на Свердловской железной дороге. И самое главное, адаптирует под специфику деятельности транспортных организаций, под общие требования системы менеджмента качества согласно стандарту МС ИСО 9001:2000.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонечкин И.А. Основы менеджмента. - СПб.: Питер, 2007. - 528 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. - М.: Наука, 1965. - 524 с.
3. Орлов А.И. Прикладная статистика. - М.: Экзамен, 2006. - 671 с.
4. Орлов А.И. Теория принятия решений. - М.: Экзамен, 2006. - 573 с.
5. Павлов И. В. Статистические методы оценки надежности сложных систем по результатам испытаний. - М.: Радио и связь, 1982. - 168 с.
6. Шадрин А.П. Надежность человека как элемент надежности менеджмента// Автоматизация и прогрессивные технологии: Науч. труды 5 межотраслевой науч.-техн. конф. / Росатом. - Новуральск: Форт-Диалог, 2007. - С. 77-80.
7. Шадрин А.П. Экономическое обоснование мероприятий по повышению качества и конкурентоспособности менеджмента // Ломоносов-2005: Матер, междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. - М.: МГУ им. Ломоносова, 2005. - Т. 2. Экономика фирмы. - С. 430-432.



МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО- ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Менеджмент риска в последнее время переходит в разряд ключевых аспектов в системе технологий менеджмента на основе качества. Систематически выделяя риск и управляя им, компания сможет получить конкурентное преимущество, берясь за проекты, которые остальные посчитают слишком рискованными. Логико-вероятностная модель оценивания рисков, рассматриваемая в данной статье, нашла применение при моделировании рисковых ситуаций в рамках постановки комплексной интегрированной системы менеджмента качества на Свердловской железной дороге.

Происходящие в российской экономике структурные и широкомасштабные перемены в последнее время порождают все более усиливающийся интерес к такому понятию, как риск, и соответственно потребность в специальном образовании. Одна из причин высокой аварийности на предприятиях и финансовых потерь состоит в том, что в учебных заведениях России дисциплина управления рисками не преподавалась. Особенно важно образование в сфере финансовых рисков и финансовых инструментов защиты от рисков.

Управление рисками – это та часть деятельности руководителей фирмы (часть менеджмента), которая направлена на экономически эффективную защиту компании от нежелательных сознательных и случайных обстоятельств, в конечном счете наносящих материальный ущерб организации.

Управление рисками, как всякая управляемая деятельность, имеет свой логический аспект (принятие решений) и свою процедуру (последовательность действий). Соответственно управление рисками можно определить как процесс выработки и осуществления решений, которые минимизируют широкий спектр влияния случайных или злонамеренных событий.

Словари определяют риск как возможность того, что случится нечто нежелательное: дефект, повреждение, утрата, и т. п. Экономист может добавить: отклонение фактического результата от запланированного. Статистики уточняют: вероятность определенного нежелательного события.

Величина риска может оцениваться в диапазоне от «высокий риск» до «отсутствие данного риска». Эта величина может быть оценена и объективно и субъективно. Объективная мера рисков опирается на исторические статистические данные о прошлых потерях, на гипотезы о тенденциях, о состоянии и возможном развитии вероятности этого типа потерь сегодня и в будущем. Субъективные оценки опираются на интуицию менеджера. Проме-

жуточное положение занимает метод экспертных оценок. Все мы, люди и организации, осознанно или неосознанно постоянно оцениваем степень чистой рискованности наших начинаний.

Но более важны два других основных параметра таких оценок: вероятность потерь (чем она выше, тем больше риск) и величина потерь (чем она больше, тем опаснее риск). Здесь и возникает основной вопрос исследования – сведение процессов менеджмента к принятию решений в заданных условиях, уточнение объема экспериментальных данных для оценки риска.

Существует целый ряд методов анализа рисков проектов. Для того чтобы получить достоверные результаты при применении этих методов, необходимо иметь соответствующую входную информацию.

Научно обоснованный подход и тщательная подготовка информации нужны для получения надежных результатов при анализе рисков. Характер информации, необходимой для анализа рисков, достаточно специфичен – требуется вероятностная оценка показателей и их связей, а следовательно, довольно большой объем достоверных данных, на основании которых можно было бы судить о возможных значениях показателей. При оценке степени риска конкретного инвестиционного проекта исследователь сталкивается с рядом проблем. Одна из них – нехватка объективных данных, вследствие чего анализ рисков часто производится с недостаточной точностью и не выполняет своей задачи, влияя на качество инвестиционного решения.

В то же время значительная часть сведений, которые могут служить основой для анализа рисков, хранится в базах данных действующих автоматизированных систем обработки экономической информации. Накапливаемые для других целей, эти данные могут быть использованы для анализа рисков при условии дополнительной подготовки.





Таким образом, проблема подготовки информации для анализа рисков является актуальной и требует дальнейшего изучения. Необходима методика, позволяющая проводить анализ рисков с учетом специфики конкретной отрасли производства на базе достоверной информации.

Само признание наличия рисков и неопределенности, присущих решениям, может привести к следующим выгодам.

1. Более реалистичный анализ. Финансовый анализ может стать более реалистичным, поскольку, например, больше не требуется консенсуса для каждого вводимого параметра. Вместо этого неопределенность касательно параметров моделирования уже включена в анализ, и можно определить влияние более качественной информации на финальное оптимальное решение.

2. Принятие решений на основе рисков. Оно может сформировать в компании культуру принятия решений, лучше учитывающих риски. Например, если предложить людям обсудить, какие сценарии совпадут с очень высоким или очень низким значением интересующего параметра (вместо того чтобы просто просить дать минимальное и максимальное значение для переменных в модели), можно действительно определить факторы риска и возможности и обеспечить хорошую основу для создания системы управления рисками. Мы часто наблюдаем, как формальный процесс идентификации рисков может привести к первоклассной стратегии с самого начала проекта или инвестирования, поскольку он заставляет сотрудников сфокусироваться на росте вероятности и значениях благоприятных возможностей и снизить вероятность и величину отрицательных последствий.

3. Последовательный подход к риску. Компании сталкиваются с широким спектром рисков и инструментов для управления ими – от финансовых инструментов управления рисками для курсов ценных бумаг, цен на сырье, энергию и т. п. до страховки, а также стратегических вариантов выбора, таких как диверсификация. Анализ рисков предоставляет средства для сравнения этих компонентов, гарантируя наличие комплексного подхода к управлению рисками. Так, компания может тратить на некий вид страховки большие суммы по сравнению с рисками, которые она покрывает, или тратить слишком мало на здоровье и безопасность по сравнению с рисками, которых те помогают избежать.

4. Использование риска как стратегического инструмента. У неопределенности есть и хорошие и плохие стороны. Систематически выделяя риск и управляя им, компания сможет получить конкурентное преимущество, берясь за проекты, которые остальные посчитают слишком рискованными.

Целью исследования на pilotном полигоне Свердловской железной дороги является разработка методики подготовки и использования информации для анализа рисков и повышения качества принимаемых решений.

Задачи исследования

Поставленная цель предусматривает решение следующих задач:

- изучение теоретических и методологических вопросов анализа рисков, обобщение зарубежного опыта и отечественных разработок по данной теме;
- выявление особенностей технических рисков в сложных системах;
- разработку методики подготовки и использования данных для анализа рисков;
- экспериментальное применение разработанной методики при анализе рисков конкретных проектов и изучение влияния анализа рисков на принятие инвестиционных решений.

На практике, как правило, независимо от реального характера информации предполагают случайный характер параметров, влияющих на риск, что обуславливает использование теории вероятностей как базовой теории для проведения оценок риска.

Один из широко распространенных приемов для описания неопределенности входных параметров при этом – использование плотности распределения вероятностей. Для большинства задач оценок риска это является приближением, которое вносит дополнительный вклад в неопределенность, наряду с использованием математических моделей, а также допущений (которые на практике зачастую оказываются необоснованными). Анализ «непредвиденных» аварий и катастроф показывает, что во многих ситуациях выводы, базирующиеся на вероятностном анализе риска, были чрезмерно оптимистичными. Неопределенности, соответствующие экстремально редким событиям, еще более чувствительны в плане анализа и оценки, следовательно, предполагают еще более осторожный подход. Таким образом, для получения адекватных оценок риска необходим математический аппарат корректной обработки неопределенной информации, которая не может быть отнесена к случайному типу, так как является по своей природе нечеткой. Использование аппарата нечеткой математики дает принципиальную возможность адекватного ответа на возникающие при использовании таких переменных проблемы.

Стоит отметить, что принципиальное отличие логико-вероятностного подхода в риск-менеджменте – возможность использования математического аппарата алгебры логики. Данный подход и математическая модель логико-вероятностного оценивания рисков на железнодорожном транспорте могут применяться на всех уровнях управления – от руководителей высшего звена до линейных руководителей, так как на каждом уровне существуют свои профессиональные риски. На этой основе как раз и удалось построить и автоматизировать математические модели безопасности и риска функционирования сложных систем в рамках исследуемых проблем риск-менеджмента.





Далее рассмотрим пример применения методологии и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования, разработанной А.С. Можаевым и изложенной им в работах [1-4]. На простом примере описаны технологии построения схем функциональной целостности (СФЦ) и алгоритмических методов автоматического построения логических и вероятностных моделей, реализованные в программном комплексе автоматизированного моделирования надежности безопасности и риска систем.

1. Состояние проблемы логико-вероятностного моделирования (ЛВ-моделирования)

Для расчета вероятностных показателей надежности, безопасности и риска функционирования сложных систем используются несколько классов методов структурного анализа. Наибольшее распространение получили методы деревьев событий, деревьев отказов, логико-вероятностные, топологические, логико-графические методы. Указанные методы имеют общую методологическую основу, которую можно охарактеризовать следующими положениями:

- все указанные методы для представления элементов в моделях надежности, безопасности и риска (далее будем называть их модели риска) систем используют простые (бинарные) случайные события с двумя несочетаемыми исходами (работоспособность – отказ элемента; выполнено – не выполнено действие; включено – не включено устройство и т. п.);
- основным способом постановки задач является построение структурной модели (схемы) риска функционирования исследуемой системы или сценария возникновения аварии;
- математической базой моделирования в этих методах выступает алгебра логики;
- основной формой представления детерминированной модели риска системы является логическая функция;
- на основе логической модели определяются различные виды расчетных вероятностных (аналитических, статистических) или других моделей количественной оценки различных свойств риска исследуемой системы;
- на основе логических и расчетных вероятностных моделей определяются значения показателей свойств или риска функционирования системы и реализуются различные методики выработки и обоснования исследовательских, проектных, эксплуатационных и других управлений решений;
- все наиболее громоздкие и трудоемкие этапы структурно-логического моделирования (построение логических функций, расчетных вероятностных и других моделей, выполнение расчетов и реализация методик применения результатов) стремятся максимально автоматизировать и реализовать на компьютере.

Ниже обобщается опыт разработки и применения одного из новых направлений структурно-логического

моделирования надежности безопасности и риска функционирования систем [1-4], в основе которого лежит специальный аппарат построения структурных моделей, называемый схемами функциональной целостности.

Важную роль в успешном развитии теории и практики ЛВ-моделирования сыграло то обстоятельство, что по самой своей природе эти методы хорошо приспособлены для полной автоматизации наиболее сложных, трудоемких и громоздких процессов построения расчетных математических моделей различных свойств исследуемых систем. Реализация такой новой информационной технологии автоматизированного структурно-логического моделирования (АСЛМ) позволило представить широкому кругу пользователей программные средства оперативного и многовариантного анализа различных системных объектов и процессов [1-4], модели которых из-за своей структурной сложности и высокой размерности не могут быть построены традиционными ручными способами моделирования.

Создание таких программных средств основывается на разработке комплекса специальных алгоритмических методов моделирования, позволяющих реализовать на компьютере все основные этапы построения логических и вероятностных моделей систем любой заданной структуры.

2. Содержательный сценарий риска железнодорожной катастрофы

Рассматриваются аппарат СФЦ и основные алгоритмические методы моделирования, предназначенные для реализации на компьютере всех этапов технологии АСЛМ. Аппарат СФЦ и алгоритмические методы технологии АСЛМ иллюстрируются простым примером вероятностного анализа безопасности гипотетического участка железной дороги, схема которого приведена на рис. 1.

В этом примере предусматривается учет двух исходных причин возможной аварии – излом рельса и/или возникновение предмета на рельсах. В случае излома рельса и безотказной работы индикатора происходит смена зеленого разрешающего сигнала светофора на запрещающий красный сигнал. Если машинист не допустит ошибки и увидит предмет на рельсах и/или красный сигнал светофора, то включит систему торможения поезда. Тогда при условии безотказной работы системы торможения железнодорожная авария будет предотвращена. Требуется построить модели и рассчитать вероятностные характеристики безопасного функционирования участка железной дороги и возникновения аварии, а также определить значимость и вклад каждого указанного элемента в безопасность рассматриваемой системы в целом.

3. Идея обобщенного ЛВ-моделирования

Идея очень проста и основывается на следующих двух положениях.

1. Все элементы $i = 1, 2, \dots, n$ моделируемого объекта или процесса представляются простыми бинарными

событиями, которые в процессе функционирования системы могут находиться только в двух состояниях. Такие бинарные модели элементов обозначаются простыми логическими переменными $\tilde{x}_i = \{\bar{x}_i, \tilde{x}_i\}$. Прямое обозначение логической переменной сопоставляется одному, а инверсное – другому возможному исходу соответствующего бинарного события. Собственные вероятностные параметры $P_i, Q_i = 1 - P_i$; реализации соответственно прямого x_i и инверсного \bar{x}_i исходов каждого бинарного события считаются заданными непосредственно или определимыми с помощью известных методик. Так, в рассматриваемом примере для вероятностного анализа безопасности участка железной дороги выделено пять бинарных событий. На рис. 2 эти события обозначены пронумерованными кружками и сопоставлены фрагментам исследуемого системного процесса.

2. В системе каждый элемент i может выполнить (или не выполнить) некоторую одну (бывает, и несколько) выходную системную функцию. Условия выполнения (реализации) этой функции элементом i обозначают прямой выходной (интегративной) функцией y_i , а условия ее невыполнения обозначают выходной функцией \bar{y}_i .

На рис. 3 приведены графические изображения и содержательные описания выходных функций каждого из пяти бинарных элементов рассматриваемого участка железной дороги.

Обоснованное и целенаправленное разделение исследуемой системы на логически связанные совокупности простых бинарных $\tilde{x}_i \in \{\bar{x}_i, \tilde{x}_i\}$ и сложных функциональных $\tilde{y}_i \in \{y_i, \bar{y}_i\}$ событий назовем событийно-логическим подходом к анализу систем [5–8].

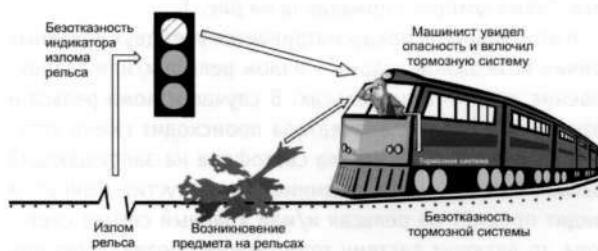


Рисунок 1 – Сегмент железнодорожного участка



Рисунок 2 – Примеры бинарных моделей элементов



Рисунок 3 — Описание выходных (интегративных) функций

Возможность событийно-логического описания системы является необходимым и достаточным условием применимости ЛВ-методов для построения модели и анализа различных свойств рассматриваемого системного объекта.

С помощью одной или нескольких выходных функций $\tilde{y}_i \in \{y_i, \bar{y}_i\}$ представляется то сложное событие, которое по замыслу автора модели характеризует исследуемое свойство системы (надежность, безопасность, риск и т. п.). Простые логические переменные x_i исходов выделенных бинарных событий используются в качестве параметров формируемых логических моделей, а собственные вероятностные характеристики элементов P_i, Q_i – в качестве параметров формируемых расчетных вероятностных моделей исследуемой системы.

Следует отметить, что принципиальным отличием событийно-логического подхода от классических логико-вероятностных и всех других структурных методов является возможность использования в структурных моделях не только прямых, но и инверсных выходных функций. Именно это позволило в технологии АСЛМ реализовать все возможности основного аппарата моделирования – алгебры логики на функционально полном наборе операций AND, OR и NOT. На этой основе удалось также полностью автоматизировать как процессы построения всех видов ранее известных монотонных моделей, так и процессы построения принципиально нового класса – немонотонных моделей надежности, безопасности и риска функционирования сложных системных объектов и процессов.

4. Основные этапы ЛВ-моделирования

В логико-вероятностных методах обычно выделяют четыре последовательно выполняемых этапа моделирования. В общем логико-вероятностном методе они имеют следующее содержание.

4.1. Первичное структурно-логическое моделирование. На этом этапе осуществляется полная формализованная постановка задачи ЛВ-моделирования, которая состоит из трех взаимосвязанных частей:

4.1.1. На основе выделенной совокупности простых бинарных и сложных функциональных событий разраба-

тывается схема функциональной целостности $G(X, Y)$ исследуемой системы. Здесь X обозначает множество вершин (бинарных событий \tilde{x}_i), а Y – множество связывающих их ребер (выходных и обеспечивающих функций \tilde{y}_i).

СФЦ должна быть аналитически точным и строго формализованным отображением всех знаний о том, при каких условиях реализует (или не реализует) свои выходные функции каждый элемент рассматриваемой системы.

4.1.2. С помощью одной или нескольких выходных функций задается так называемый Л-критерий функционирования исследуемой системы $Y_c = Y_c(\tilde{y}_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Этот критерий определяет (в общем виде) тот режим работы или использования системы, математическую модель которого необходимо построить для количественной оценки исследуемого свойства системы в целом. Сложные и многофункциональные системные объекты могут характеризоваться не одним, а несколькими логическими критериями, для каждого из которых должны строиться свои математические модели системы.

4.1.3. Непосредственно определяются или задаются вероятностные P_i, Q_i и другие параметры всех бинарных событий $\tilde{x}_i, i = 1, 2, \dots, n$, представляющих элементы моделируемой системы.

4.2. Определение логической функции работоспособности системы. На этом, втором, этапе осуществляется построение детерминированной Л-модели процесса функционирования исследуемой системы

$$Y_c = Y_c(x_i, \tilde{x}_i), i = 1, 2, \dots, n.$$

Она представляет собой так называемую логическую функцию работоспособности системы (ФРС) или Л-функцию переходов. Аргументами этой Л-функции являются простые бинарные события \tilde{x}_i , собственные вероятностные параметры P_i, Q_i которых известны. В этой функции с помощью логических сумм произведений и дополнений (инверсий) простых случайных событий точно и однозначно определяется сложное случайное событие реализации системой заданного критерия ее функционирования, т. е. моделируемое свойство надежности, безопасности или риска исследуемой системы в целом. Следует отметить, что в отличие от известных структурных методов [6] СФЦ для Л-критерия функционирования и ФРС не ограничены условием монотонности [6] и могут представлять и кратчайшие пути успешного функционирования, и минимальные сечения отказов, и любые их немонотонные комбинации.

4.3. Определение расчетной вероятностной модели системы. На этом, третьем, этапе осуществляется преобразование логической ФРС (или логической функции переходов) в одну из форм, позволяющих непосредственно выполнять расчеты вероятностных и других показателей надежности, безопасности и риска исследуемой системы $P_c = P_c(P_i, Q_i, t)$, $i = 1, 2, \dots, n$. В настоящее время разработаны методы получения четырех форм расчетных В-моделей:

многочленов В-функций, логико-статистических моделей, некоторых видов марковских и сетевых (комбинаторно-последовательных) моделей систем [5-8].

4.4. Выполнение расчетов системных характеристик. На этом, заключительном, этапе с помощью полученных расчетных моделей вычисляются показатели, необходимые для решения различных задач системного анализа риска. Результаты расчетов могут использоваться, например, для нормативной оценки свойств системы, сравнения и выбора вариантов ее структуры, оптимизации и синтеза систем в процессе выполнения научных исследований, проектирования, эксплуатации, выработки и обоснования управленческих решений в области безопасности и риска функционирования исследуемых объектов.

Этап первичного структурно-логического моделирования в своей содержательной, творческой части, конечно, не может быть автоматизирован. Здесь автоматизации подлежат только его сервисные составляющие. Однако все последующие и наиболее громоздкие этапы логического, вероятностного моделирования и расчетов автоматизированы полностью [1-4]. Это стало возможным только после разработки алгоритмических методов моделирования, т. е. обеспечения очень высокого, машинного уровня формализма не только способов представления исходных, промежуточных и конечных данных, но, главное, собственно процедур построения логико-вероятностных математических моделей систем. Постановочные и процедурные способы формализации ЛВ-моделирования изложены ниже.

5. Алгоритмические методы первичного структурно-логического моделирования.

Центральное место в первичном моделировании, безусловно, занимает процесс построения СФЦ. Средства представления СФЦ должны, с одной стороны, соответствовать возможностям аппарата ЛВ-моделирования (алгебре логики и теории вероятности), а с другой – иметь уровень формализма, достаточный для полной автоматизации всех последующих этапов ЛВ-моделирования.

Частично аппарат СФЦ уже использован при описании выходных функций элементов участка железной дороги в приведенном примере. В полном объеме изобразительные средства аппарата СФЦ показаны на рис. 4.



Рисунок 4 – Аппарат схем функциональной целостности ЛВ-моделирования

Отметим, что в СФЦ сохранены все способы представления структур систем, которые традиционно использовались в деревьях событий, деревьях отказов и графах связности (последовательное, параллельное соединение элементов и циклы). Вместе с тем в СФЦ введены новые средства графического описания систем, обеспечивающие реализацию всех возможностей алгебры логики.

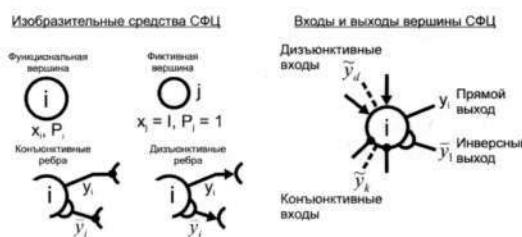


Рисунок 4 – Аппарат схем функциональной целостности ЛВ-моделирования

Функциональные вершины СФЦ предназначены для представления элементов i моделируемой системы с помощью прямого исхода x_i соответствующего бинарного события. Фиктивные вершины не представляют элементов, но позволяют отобразить на граfe сложные логические условия, связи отношения между элементами в исследуемой системе. На выходе каждой вершины СФЦ (и функциональной и фиктивной) могут быть два типа выходных ребер – прямые y_i (обозначают реализацию выходной функции элемента) и инверсные \bar{y}_i (обозначают нереализацию выходной функции).

Реализация или нереализация выходной функции $\tilde{y}_i \in \{y_i, \bar{y}_i\}$ определяется как собственным состоянием соответствующего элемента $\tilde{x}_i \in \{x_i, \bar{x}_i\}$, так и в общем случае конкретными совокупностями выходных функций $\tilde{y}_i \in \{y_i, \bar{y}_i\}$ ряда других, обеспечивающих элементов j системы. На граfe СФЦ логические условия обеспечения представляются ребрами, которые заходят в данную вершину СФЦ. Направленность ребер обозначается или точкой (конъюнктивное ребро), или стрелкой (дизъюнктивное ребро). Конъюнктивные ребра определяют нерезервированную, а дизъюнктивные – резервированную группы функций обеспечения. В аппарате СФЦ между конъюнктивной и дизъюнктивной группами обеспечения установлена конъюнктивная связь. Это означает, что прямая выходная функция y_i вершины i СФЦ будет реализована только в том случае, если собственное событие x_i свершилось, реализованы все без исключения заходящие выходные функции \tilde{y}_k конъюнктивной группы и реализована хотя бы одна заходящая функция \tilde{y}_d дизъюнктивной группы.

Реализация инверсной выходной функции элемента определяется полной логической инверсией всех графически отраженных условий реализации прямой выходной функции. Сказанное может быть представлено обобщенным структурным фрагментом СФЦ и двумя базовыми логическими уравнениями. Таким образом, по построению аппарат СФЦ реализует все возможности алгебры логики и является аналитически строгой графической формой записи системы логических уравнений. Такую систему всегда можно записать по граfe СФЦ на основе соотношений (1).

$$Y_i = X_i \cdot \left(\bigvee_{d \in D} \tilde{Y}_d \right) \cdot \left(\bigwedge_{k \in K} \tilde{Y}_k \right); \quad \bar{Y}_i = \bar{X}_i \cdot \left(\bigvee_{d \in D} \tilde{Y}_d \right) \cdot \left(\bigwedge_{k \in K} \tilde{Y}_k \right). \quad (1)$$

Процесс построения СФЦ включает в себя ряд неформальных (творческих) процедур, например: выделение бинарных событий (моделей элементов системы), вычисление их вероятностных характеристик, определение содержания выходных функций элементов и графическое отображение логических условий их реализации. На практике бывает удобно условия реализации выходных функций элементов сначала определить фрагментарно (отдельно для каждой вершины), а уже затем объединить их в общую СФЦ системы в целом (рис. 5).

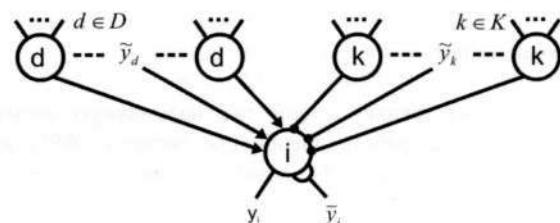


Рисунок 5 – Фрагменты условий реализации выходных функций

На рис. 6 приведены графические фрагменты условий реализации выходных функций каждым элементом рассматриваемого участка железной дороги, необходимые для анализа его безопасности.

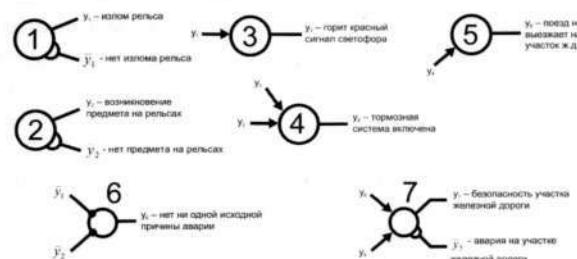


Рисунок 6 – Фрагменты условий реализации выходных функций

Формулировка этих условий основывалась на знании исследуемой системы в целом (см. рис. 1), определения смыслового содержания выделенных бинарных событий (см. рис. 2), прямых и инверсных выходных функций каждого элемента (см. рис. 3), использовании изобразительных средств схем функциональной целостности (см. рис. 4) и базовых логических уравнений (1). Смысловое содержание всех фрагментов СФЦ, указанных на рис. 6, можно определить следующим образом.

В формируемой модели не предусматривается учет каких-либо конкретных причин возникновения исходных опасностей \bar{y}_1 и \bar{y}_2 . Поэтому достаточными условиями реализации этих выходных функций являются только соответствующие собственные бинарные события \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 (излом рельса, возникновение предмета на рельсах). Такие вершины СФЦ называют головными, поскольку в них не заходит ни одного ребра функционального обеспечения.

Необходимым внутренним (собственным) условием реализации прямой выходной функции y_3 (горит красный сигнал светофора) является безотказная работа индикатора x_3 , AND-реализация функции y_1 возникновения излома рельса.

Функция y_4 (включение тормозной системы поезда) реализуется при безошибочной работе машиниста x_4 и обеспечивается хотя бы одним из двух условий: или горит красный сигнал светофора (y_3), или имеется предмет на рельсах (y_2).

Поезд не выезжает на опасный участок железной дороги (y_5), если тормозная система была своевременно включена (y_4) или включененная тормозная система не отказалась (x_5).

Для целенаправленного анализа безопасности с помощью фiktивных вершин 6 и 7 на рис. 6 выполнены две группировки выходных функций. Функция $y_6 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2$ определяет полное отсутствие исходных причин возникновения аварии. Прямая функция определяет два возможных варианта безопасного функционирования рассматриваемого участка: y_6 реализуется при полном отсутствии возможных причин аварии, y_5 реализуется при всех возможных вариантах правильной (штатной) работы системы безопасности в условиях возникновения хотя бы одной исходной причины аварии. Естественно, что полная инверсия условий безопасности (\bar{y}_7) должна соответствовать всем возможным вариантам событий, которые неизбежно приводят к железнодорожной катастрофе на рассматриваемом участке.

Теперь осталось только объединить все фрагменты, приведенные на рис. 6, и получаем законченную схему функциональной целостности структурной модели безопасности исследуемого участка железной дороги. Эта СФЦ приведена на рис. 7, и соответствующая ей систем-

а логических уравнений следующая:

$$\begin{aligned} y_1 &= x_1 & \bar{y}_1 &= \bar{x}_1 \\ y_2 &= x_2 & \bar{y}_2 &= \bar{x}_2 \\ y_3 &= x_3 \cdot y_1 & \bar{y}_3 &= \bar{x}_3 \vee \bar{y}_1 \\ y_4 &= x_4 \cdot (y_2 \vee y_3) & \bar{y}_4 &= \bar{x}_4 \vee \bar{y}_2 \\ y_5 &= x_5 \cdot y_4 & \bar{y}_5 &= \bar{x}_5 \vee \bar{y}_4 \\ y_6 &= \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2 & \bar{y}_6 &= y_1 \vee y_2 \\ y_7 &= y_6 \vee y_5 & \bar{y}_7 &= \bar{y}_6 \cdot \bar{y}_5 \end{aligned} . \quad (2)$$

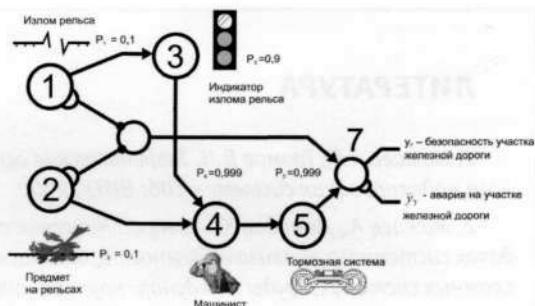


Рисунок 7 – Логические уравнения безопасности участка железной дороги

На заключительном этапе первичного структурно-логического моделирования определяются В-параметры элементов ($P_i, i = 1, 2, \dots, n$), в примере они указаны на рис. 7, и задаются логические критерии функционирования исследуемой системы. В рассматриваемом примере целью моделирования является вероятностный анализ безопасности или аварии участка железной дороги. Соответствующие модели могут быть получены на основе СФЦ, приведенной на рис. 7, и любого из следующих двух логических критериев функционирования:

критерий безопасности

$$Y_{c1} = y_7; \quad (3)$$

критерий появления аварии

$$Y_{c2} = \bar{y}_7. \quad (4)$$

В заключение стоит отметить, что принципиальным отличием логико-вероятностного подхода в риск-менеджменте является возможность использования математического аппарата алгебры логики. На этой основе как раз и удалось построить и автоматизировать математические модели безопасности и риска функционирования сложных систем в рамках исследуемых проблем риск-менеджмента, выделить и оценить важнейшие показатели железнодорожной отрасли: увеличение числа предупреждений об ограничении скорости движения, отказы технических средств инфраструктуры и подвижного состава, задержки поездов у входных сигналов станций.

Все рассмотренные формы представления исходных данных моделирования легко представимы в компьютере и являются основой для полной автоматизации всех последующих этапов построения расчетных математических моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Можаев А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. - СПб: ВИТУ, 2000.
2. Можаев А., Демидов Ю. Алгоритмические основы технологии структурно-логического моделирования в задачах системного анализа надежности, безопасности и риска// Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды междунар. научной школы. - СПб: Бизнес-пресса, 2002.
3. Можаев А.С. Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем // Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. - СПб: ИГМАШ РАН, 1994.-С.95.
4. Черкесов Г.Н., Можаев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем// Качество и надежность изделий. - М.: Знание, 1991.
5. ГОСТ Р 51901.2-2005. Менеджмент риска. Системы менеджмента надежности.
6. Адлер Ю.П., Грановский Ю.Б. Обзор прикладных работ по планированию эксперимента. - М., 1972. - 125 с.
7. Управление качеством. Робастное проектирование. Метод Тагути/ Под ред. д.т.н., проф. А.М. Талалаев; Пер. с англ. - М.: Сейфи, 2002. - 382 с.
8. Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. и др. Нечеткие множества в задачах управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Наука, 1986. - 312 с.
9. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. - М., 1984. -Т. 2. - 752 с.
10. Костерев В.В. Агрегирование вероятностной и нечеткой информации в задачах оценки риска// Инженерная физика. - 2000. - № 4. - С.8-12.
11. Аверкин А.Н., Костерев В.В. Триангулярные нормы в системах искусственного интеллекта // Известия Академии наук. Теория и системы управления. - 2000. - № 5. - С. 106-109.
12. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. - СПб: Бизнес-пресса, 2004.

СОСТОЯНИЕ И СПОСОБЫ РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

До 70-х гг. прошлого века почти каждое промышленное предприятие имело свой подъездной путь, который включал в себя железнодорожное путевое развитие, грузовые фронты, средства механизации погрузки или выгрузки грузов из вагонов, как правило, парка МПС.

Средние и крупные предприятия имели свои локомотивы и ремонтную базу по содержанию тягового хозяйства и вагонов средств механизации, а иногда и путеремонтной техники.

Малые предприятия зачастую не имели собственных подъездных путей и для погрузки или выгрузки своего грузопотока использовали грузовые дворы станций, расположавшиеся в каком-либо населенном пункте. Эти грузовые дворы называются местами общего пользования и используются, правда в значительно меньшем количестве, до настоящего времени.

На бывших подъездных путях практически повсюду и всегда остро стоял вопрос о неудовлетворительном состоянии железнодорожных путей, грузовых фронтов, тягового и вагонного хозяйств, трудовых ресурсов и, главное, о значительном простое вагонов парка МПС под грузовыми операциями. На оперативных собраниях предприятий, на заседаниях парткомов, органов народного контроля систематически поднимались вопросы об эффективном использовании вагонов парка МПС, пока на очередном заседании ЦК КПСС не было решено: на базе существующих железнодорожных цехов промышленных предприятий создать предприятия промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ). Перед ППЖТ ставилась цель объединить технические возможности бывших железнодорожных цехов, их трудовые ресурсы и путем оперативной переброски этих комплексных сил с предприятия на предприятие решать все существующие проблемы, а главное – быстро освобождать или грузить вагоны парка МПС.

К сожалению, их работа в основном пошла по другому принципу. Она свелась к подаче вагонов со станции на

грузовые фронты и уборке этих вагонов на станции примыкания. На такой основе и строилось главным образом благополучие ППЖТ. Станции же примыкания потеряли значительную часть своих доходов. Трудовые ресурсы со станции стали перетекать на ППЖТ.

Организационно они подчинялись областным исполнительным комитетам, а в составе МПС был главк, предназначенный для выработки единых требований, нормативных документов и т. д.

Следует отметить, что железнодорожные цеха крупных промышленных предприятий, как правило, не входили в состав ППЖТ по той причине, что в их работе было много специальных операций и технологических перевозок. Эти цеха после некоторых структурных преобразований функционируют и в настоящее время.

В период акционирования все ППЖТ были преобразованы в самостоятельные акционерные общества и остались практически без какого-либо централизованного управления сверху.

Согласно статистике, за последние десять лет (1996–2006 гг.) железнодорожный транспорт необщего пользования претерпел значительные изменения практически по всем показателям функционирования и развития отрасли, причем далеко не самые приятные. Как отметил в 2007 г. на X Межотраслевом совещании президент НО «Союзгрузпромтранс» Алексей Хоружий, количество предприятий здесь сократилось почти на 5 тыс., было потеряно 26 тыс. км путей, списано 4,5 тыс. локомотивов и 73 тыс. вагонов (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Материально-техническая база промышленного железнодорожного транспорта РФ

Показатель	1996 г.	2000 г.	2006 г.	2006 г. к 1996 г., %	2006 г. к 2000 г., %
Объем перевезенных грузов, млн. т	2807,3	3140,4	3591,2	127,9	114,3
Грузооборот, млн т/км	23 321,5	24 863	31 200	133,8	125,5
Количество предприятий	11 762	10 057	6806	57,8	67,6
Длина железнодорожных путей, км	86 287	74 246	60 241	70	81
Число локомотивов	15 331	13 381	10 916	71,2	81,6
Число грузовых вагонов	206 432	143 710	133 316	64	93

Причин сокращения числа организаций промышленного транспорта много. Это и ликвидация мелких субъектов ППЖТ вслед за прекращением существования головных предприятий, и усилившаяся конкуренция с автомобильным транспортом, и собственно распад небольших хозяйств из-за невозможности вести рентабельный бизнес. Естественно, крупным предприятиям, находящимся, как правило, в центральных регионах страны, проще держаться на плаву и укреплять свои позиции, чем они и занимаются. Иначе как объяснить то, что перечисленным негативным тенденциям сопутствует постоянный ежегодный рост объема погрузки и грузооборота.

Об одной из наболевших проблем – недостатке и крайней изношенности парка подвижного состава транспорта необщего пользования – на конференциях говорилось довольно часто. Согласно анализу, проведенному специалистами ЗАО «Трансмашхолдинг», на территории СССР для нужд отрасли в свое время было выпущено около 11 000 тепловозов мощностью 600–800 кВт, 32% из которых были поставлены на экспорт. Таким образом, сейчас на территории стран, входивших в Советский Союз, еще с тех пор эксплуатируются 7 400 тепловозов с гидропередачей и 450 машин с электропередачей, 46% которых давно выработали свой ресурс, а к 2020 г. за пределами срока эксплуатации окажутся 99% тепловозов.

В то же время пополнение парка новой техникой происходит далеко не в тех объемах, которые необходимы для нормального осуществления перевозочной деятельности. Анализ планов производства ОАО «Людиновотепловоз» показывает, что до 2020 г. завод сможет выпустить 2 300 машин, тогда как потребность парка составляет 7 300 единиц. В итоге даже если половине действующих тепловозов продлить срок службы за счет капитального ремонта, то спрос на промышленную технику вряд ли удастся удовлетворить.

С другой стороны, разработка нового модельного ряда маневровых тепловозов все же ведется. Пока идея колективного заказчика только еще реализуется на практике. «Трансмашхолдинг» договорился о заключении долгосрочного контракта с ОАО «РЖД» об изготовлении промышленных и маневровых тепловозов для нужд компании (всего планируется поставить 120 единиц). Сейчас идет согласование технических требований, и к концу 2008 г. будут готовы образцы: 12-метровый промышленный тепловоз с мощностью дизеля 315 кВт, обладающий аккумулятором, способным накапливать энергию и увеличивать мощность машины до 600 кВт, и 18-метровый маневровый тепловоз, отвечающий всем современным требованиям. Вполне возможно, что данные модели, находящиеся в разработке по заказу ОАО «РЖД», могут прийтись по вкусу многим ППЖТ, тем более что и холдинг, и предприятия, как никогда, заинтересованы в сотрудничестве.

В настоящее время транспорт общего и необщего пользования не согласовывает свою политику при закупках нового подвижного состава, в результате чего происходят

определенные нестыковки. К примеру, сейчас планируется вводить в эксплуатацию тележки с повышенной нагрузкой на ось, но ведь использовать такой подвижной состав предстоит в том числе и на путях необщего пользования, где далеко не всегда есть соответствующие условия. Процесс развития перевозочных мощностей должен идти скординированно, обновлению парка подвижного состава магистрального транспорта должно сопутствовать развитие подъездных путей.

В целом же хотя и не без оговорок, но все же можно отметить, что за последние 2–3 года имеются и некоторые положительные сдвиги. В частности, многие собственники стали выделять средства на развитие путевых схем предприятия, ремонтных мощностей, пополнение парка подвижного состава, а также предпринимать другие меры, позволяющие сократить себестоимость перевозок.

В условиях, когда плановый ремонт парков ППЖТ в депо ОАО «РЖД» становится большой проблемой, так как в настоящее время здесь пока не обеспечиваются равноправные условия для подвижного состава всех собственников в части постановки и соблюдения сроков ремонта и его стоимости, отдельные предприятия вполне успешно находят выход. Яркий тому пример – ОАО «В-Сибпромтранс», где сейчас создан, по сути, свой ремонтный завод и уже принимаются заявки не только от собственного предприятия, но и со стороны – от Дальневосточной транспортной группы, РУСАЛА и др. Как отметил генеральный директор компании Геннадий Лапунов, в развитие предприятия ежегодно вкладывается около 1 млрд руб., только на создание ремонтной базы было выделено 250 млн руб. Хорошими ремонтными мощностями располагает и самарское ППЖТ. Компания «ВолгаУралТранс» также производит сегодня как деповской, так и капитальный ремонт и собственного подвижного состава, и других предприятий, обратившихся за такими услугами.

Развитие отношений между железнодорожными путями необщего пользования и другими структурами

Очень распространены конфликтные ситуации между железной дорогой и владельцами подъездных путей необщего пользования по вопросу размера платы за пользование вагонами. Обычным явлением стали судебные претензии. Так, Куйбышевская магистраль доказала в суде свое право определять технологический срок оборота вагонов на железнодорожных путях необщего пользования и взимать плату за использование вагонов ОАО «РЖД» непосредственно с владельцев подъездных путей.

Конфликт между дорогой и одним из владельцев подъездных путей – ОАО «Волжско-Уральская транспортная компания» (ВУТК) – разгорелся, когда ВУТК потребо-





вала увеличить норму бесплатного простоя вагонов ОАО «РЖД» на своих путях и предъявила железнодорожникам счет за использование своей инфраструктуры во время нахождения подвижного состава ОАО «РЖД» на путях предприятия. Кроме того, ВУТК настаивала на включении этих требований в договор с ОАО «РЖД», регулирующий эксплуатацию путей необщего пользования. Также ОАО «Волжско-Уральская транспортная компания», которое работает с Куйбышевской железной дорогой по 25 договорам на эксплуатацию железнодорожных путей необщего пользования, вопреки действующему Уставу железнодорожного транспорта РФ и Правилам перевозки грузов железнодорожным транспортом требовало включить в условия договоров с магистралью пункт, согласно которому плату за пользование вагонами магистраль брала бы не с самого предприятия, а с его контрагентов.

В ОАО «ВУТК» сочли, что ряд статей Устава железнодорожного транспорта можно трактовать как в пользу перевозчика, так и в пользу владельца железнодорожных путей необщего пользования, что и стало причиной судебного спора.

Действительно, в статье 39 Устава железнодорожного транспорта сказано: «За время нахождения вагонов у грузополучателей, грузоотправителей, обслуживающимися своими локомотивами, ими вносится плата железной дороге за пользование вагонами» [2]. А в статье 62 того же устава отмечается, что вносимая железной дороге плата за пользование вагонами исчисляется с момента передачи вагонов на железнодорожные выставочные пути. До этого места в уставе все вроде однозначно и понятно. Но далее в той же 62 статье указано: «При этом в оплачиваемое время не включается технологическое время, связанное с подачей вагонов к местам погрузки, выгрузки грузов и уборкой вагонов с этих мест и установленное договорами на эксплуатацию железнодорожных путей необщего пользования. В этом случае грузоотправители, грузополучатели компенсируют владельцу железнодорожного пути необщего пользования перечисленную плату».

Вышеуказанная добавка к статье 62 и вносит непонимание сути взимаемой платы и методики ее расчета.

Дальнейшие разногласия, по мнению сторон, вносит и статья 64. Там отмечается, что владелец инфраструктуры и перевозчик с согласия грузовладельца, владельца железнодорожного пути необщего пользования в соответствии с договорами могут использовать за плату, в том числе для проведения маневровых работ и временного размещения вагонов, принадлежащий им железнодорожный путь необщего пользования. Здесь еще менее четко отражена методика расчета этой платы.

Действительно, цитируемый устав 2003 г. во многом повторяет суть ранее действовавшего Устава железных дорог СССР. В те времена практически все грузовладельцы с пониманием относились к тому, что железная дорога является монополистом, ее действия четко ориентированы

на интересы государства, и все клиенты, даже не понимая до конца суть взимаемых платежей, вносили их. При написании Устава железных дорог РФ от 2003 г. все клиенты, как и железная дорога, стали частными и равноправными структурами. Основной принцип деятельности таких структур – увеличение прибыли. Поэтому все клиенты железной дороги стараются каким-либо образом увеличить эту прибыль. К тому же нечеткое изложение сути взимаемых платежей, методики их расчета дают такое основание.

Еще большим моральным основанием клиентов бороться за свою копейку дает такое обстоятельство. Клиент, используя все свои ресурсы, часто в ущерб своей технологии высвобождает вагон, выставляет его на станцию примыкания, и этот вагон на глазах клиента позднее стоит длительное время на данной станции в ожидании отправления. В это время никто не несет за вагон никакой финансовой ответственности.

Другими примерами «недружеских», силовых отношений являются такие случаи. Муромскому отделению Горьковской магистрали грозит потеря до 80% грузооборота в случае приостановки действия лицензии ОАО «Выксунский металлургический завод» (ВМЗ) на использование железнодорожной инфраструктуры компании.

Приволжское управление Госжелдорнадзора вынесло предупреждение в адрес ВМЗ о готовящейся приостановке действия лицензии после серии проверок состояния принадлежащих заводу путей необщего пользования.

Руководству предприятия было предписано провести обучение и аттестацию транспортных кадров по программе «Безопасность движения» и представлен акт с длинным перечнем замечаний по содержанию путей и стрелочных переводов, половина из которых, как указано в документах, является поводом для немедленного закрытия движения. По мнению инспекторов, железнодорожная инфраструктура предприятия не в состоянии обеспечить безопасную перевозку грузов.

Между тем ВМЗ считает, что главная проблема не в состоянии железнодорожного хозяйства, а в отсутствии единой системы требований к его эксплуатации.

Инспектированием железнодорожного транспорта занимаются несколько органов, выдвигающих разные требования, и действия проверяющих не всегда согласованы между собой. Иногда требования противоречат друг другу, зачастую инспекторы даже не знают, чьи пути они проверяют.

Тем не менее, по мнению ВМЗ, все замечания, обозначенные в предписаниях Федеральной службы по надзору в сфере транспорта по итогам проверок 2006-2007 гг., устраниены или устраняются. ВМЗ – одно из немногих крупных предприятий, которое серьезно занимается модернизацией и развитием своего железнодорожного хозяйства. В 2006-2007 гг. объем инвестиций в реконструкцию и ка-

питальный ремонт заводских станций и подъездных путей составил около 1 млрд руб., и грозящий отзыв лицензии крайне негативно скажется на экономике региона. Госжелдорнадзор, понимая важность ВМЗ для экономики региона, долго ждал, что предприятие примет необходимые меры. Но Выксунский завод так и не исполнил всех требований инспекторов, а потому Госжелдорнадзор планирует уже в ближайшее время обратиться в прокуратуру с требованием приостановить действие лицензии ОАО «Выксунский металлургический завод» на железнодорожные перевозки.

Другой случай. Только на Северной железной дороге поврежденный парк вагонов ОАО «РЖД» за последний год вырос на 30%. Железнодорожники обвиняют в росте аварийности владельцев подъездных путей. Как отмечалось на конференции Северо-Западного управления государственного железнодорожного надзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта Минтранса РФ, из года в год число поврежденных вагонов на подъездных путях увеличивается. И это только зафиксированные случаи. Нередко предприятия скрывают факты повреждения вагонов, что может привести к более тяжелым последствиям в обеспечении безопасности движения. Владельцы подъездных путей не только не вкладывают средства в поддержание своей инфраструктуры, но и пренебрежительно относятся к процессу погрузки и выгрузки вагонов. За 2006г. железнодорожная дорога взыскала с провинившихся грузовладельцев 8,5 млн руб. в качестве возмещения стоимости ремонта, но такая компенсация не удовлетворяет железнодорожную дорогу, так как эти вагоны не участвовали в перевозочном процессе.

Раньше контроль за обеспечением безопасности движения на путях предприятий осуществлялся ревизорским аппаратом дороги и начальниками станций. Ежеквартально проверяли все подъездные пути, плотно общались с клиентурой и реально влияли на ситуацию. С передачей функции контроля за путями необщего пользования Минтрансу дорога фактически утратила возможность заставить клиента содержать его железнодорожное хозяйство в надлежащем порядке. Это привело к резкому ухудшению содержания подъездных путей.

Сейчас железнодорожники убедили большинство руководителей предприятий в необходимости проводить проверки технического состояния подъездных путей совместно с начальниками станций. Однако принять меры по результатам таких проверок дорога не имеет права. Она может лишь информировать о выявленных нарушениях норм безопасности Федеральную службу по надзору в сфере транспорта, которая единственная на сегодняшний день обладает полномочиями контроля за состоянием путей предприятий и имеет рычаги административного воздействия на хозяев подъездных путей.

Впрочем, возможности службы весьма ограничены. Например, в ведении Северо-Западного управления госу-

дарственного железнодорожного надзора 21 регион России, 3 тыс. субъектов транспортного комплекса на территории Северной, Октябрьской и Калининградской железных дорог, а инспекторов в штате управления всего 25. И если распределить усилия равномерно, то на каждом предприятии инспектор может бывать не чаще одного раза в шесть лет. В этой ситуации государственных ревизоров выручает тесное взаимодействие с работниками дорог, которые информируют о нарушениях законодательства на подъездных путях конкретных предприятий. Но одной лишь бдительностью железнодорожников проблему не решить. Целесообразно пересмотреть структуру существующих органов по надзору за различными видами транспорта и оптимизировать ее. Например, один из способов решения структурных проблем – перевод части избыточного штата автодорожного надзора Северного федерального округа в Госжелдорнадзор.

Другой путь – создание на местах экспертных центров по проверке состояний подъездных путей, аккредитованных Госжелдорнадзором.

Естественно, имеются и положительные моменты в работе путей необщего пользования.

На Октябрьской железной дороге завершена модернизация систем связи на основе оптико-волоконных линий, обустроены автоматизированные рабочие места на всех грузообразующих станциях и крупных предприятиях. С грузоотправителями заключаются договоры об электронном обмене данных. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение между Октябрьской железной дорогой и крупными пользователями транспортных услуг автоматизированного документооборота – ЭТРАН. В него уже включились многие клиенты, которые будут катализаторами роста погрузки на магистрали и сокращения времени обработки вагонов, в том числе и на подъездных путях.

А для оптимизации работы станции Металлургическая Южно-Уральской железной дороги десять цехов металлургического комбината подключены к железнодорожной системе автоматизированного документооборота ЭТРАН, что значительно ускорит сроки оформления заявок на перевозку грузов и их согласование.

Пути разработки основополагающих взаимовыгодных нормативно-регулирующих документов

В сентябре 2007 г. планировалось, что в правительство Российской Федерации будет внесен законопроект, регламентирующий деятельность железнодорожного транспорта необщего пользования. Этот закон должен поставить точку в затянувшемся споре между владельцами железнодорожных путей необщего пользования и ОАО «РЖД».



В стране насчитывается около 12 тыс. промышленных предприятий, у которых есть свой железнодорожный транспорт. Длина железнодорожных путей промышленного пользования составляет порядка 80 тыс. км, тяговый подвижной состав включает в себя около 15 тыс. единиц. Приведенные данные соответствуют 1996-1998 гг. После выделения из состава Министерства путей сообщения и акционирования ППЖТ всем предприятиям пришлось несложно, поскольку этот вид транспорта оказался неупомянутым ни в одном федеральном законе.

В настоящее время ведется разработка основополагающего программного документа в области железнодорожного транспорта необщего пользования. В рамках третьего этапа структурной реформы предусмотрена подготовка изменений в Федеральный закон «О железнодорожном транспорте» и в Устав железнодорожного транспорта. Планируется, что закон будет предусматривать внесение таких изменений, как конкретизация прав и обязанностей перевозчиков, владельцев железнодорожного транспорта необщего пользования, пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей и других юридических и физических лиц, пользующихся услугами железнодорожного транспорта. На сегодняшний день у промышленного железнодорожного транспорта постоянно возникают все новые проблемы. К примеру, недавно его лишили льгот по земельному налогу и налогу на имущество, поскольку они оказались за пределами общей железнодорожной системы. А ведь от того, насколько скординировано осуществляется взаимодействие между железнодорожным транспортом общего и необщего пользования, зависит реализация программы доставки грузов «от двери до двери». В настоящее время груз везут лишь до станции примыкания к путям необщего пользования, а дальше грузополучатель должен доставить его сам «до двери».

В настоящее время регулирования в этом секторе практически нет. Данное обстоятельство уже привело к курьезному случаю. Один находчивый предприниматель в Чувашии выкупил участок железнодорожного пути, который ведет от путей необщего пользования к целому кусту заводов, поставил шлагбаум и установил очень высокие тарифы за провоз грузов. Закон не был нарушен, так как его просто нет, а Федеральная антимонопольная служба до сих пор не может разобраться, какую статью закона применить к этому предпринимателю [1].

В том же 2007 г. железнодорожные администрации планировали согласование единых правил эксплуатации железных дорог стран СНГ и Балтии. Отсутствие в настоящее время единых правил стало сдерживать развитие транспортной системы на постсоветском пространстве. Проблема обострилась тем, что страны Балтии перешли на техрегламенты Евросоюза.

У железнодорожников СНГ, например, нет единых нормативов по основным требованиям технической эксплуатации дорог, по организации движения поездов, принципам сигнализации, габаритам и нормам содер-

жания важнейших сооружений, устройств и подвижного состава. Единые правила призваны стать интегратором железных дорог колеи 1 520 мм. После согласования железнодорожными администрациями и компаниями Содружества они должны быть внесены и утверждены правительствами. На этапе согласования с железнодорожными администрациями серьезные замечания высказал только Минтранс РФ. Он предлагает учесть в правилах вопросы функционирования железнодорожного транспорта необщего пользования. Предполагается, что железнодорожные администрации передадут подготовленный документ на уровень правительства в 2008 г. А пока в проектируемый документ вносят корректировки. Они касаются соотношений грузооборота дорог, протяженности линий, грузовой базы, что позволит выстроить в Единых правилах оптимальные уровни взаимодействия дорог, а также разграничить зоны ответственности. Специалисты считают, что Единые правила необходимы как воздух и они позволят минимизировать технические и технологические риски в использовании вагонного парка различных стран. Однако включение в столь сложный документ вопросов функционирования путей необщего пользования сильно продлит процесс утверждения документа, так как у «необщего транспорта» нет единого центра управления даже в РФ, не говоря уже о других странах колеи 1 520, а сама поправка находится в плохом техническом состоянии, из-за чего исполнение Единых правил становится проблематичным.

Концепция методики расчета платы за пользование вагонами

Тарифное руководство № 2 предусматривает плату за пользование вагонами, взимаемую при выполнении начально-конечных операций и связанных с этим простоях. Наряду с Прейскурантом № 10-01 указанный документ является одним из важнейших во взаимоотношениях грузовладельца с перевозчиком. В 2007 г. были разработаны методика определения платежей и проект тарифного руководства, которые сейчас находятся в ФСТ, где должны пройти необходимые процедуры согласования. Ожидается, что в 2008 г. новое Тарифное руководство № 2 будет утверждено.

Ныне действующее Тарифное руководство № 2 имеет ряд недостатков, которые вызывают необходимость разработки новой версии этого документа. Так, в основном оно было разработано еще в ноябре 1997 г., т. е. более десяти лет назад. Кроме того, уже в 2003 г. был принят ряд основополагающих документов, в частности Устав железнодорожного транспорта. Однако нынешнее Тарифное руководство не учитывает содержание данного пакета законов, что определяет необходимость приведения его в соответствие с действующим Тарифным руководством № 2. В нем предусмотрена жесткая система разграничения

по интервалам времени с соответствующими коэффициентами, которые применяются при подсчете платы, взимаемой с клиента. Уровень их составляет:

при простое до 12 часов $k = 1$;

от 12 до 24 часов $k = 1,28$;

свыше 24 часов $k = 1,74$.

Меняется также разбивка вагонов по группам (в действующем Тарифном руководстве их предусмотрено шесть). Если раньше все универсальные вагоны были в одной группе, то теперь полувагоны, крытые вагоны и платформы учитываются отдельно. Существенно возраст уровень платы за пользование вагонами. Если в 1997 г. эти платежи составили примерно 1,3-1,4% от всех доходов железных дорог, то теперь они дадут 2,4% их общей суммы.

Следует коснуться и еще одной особенности взаиморасчетов железных дорог с клиентурой. Согласно действующему Тарифному руководству № 2, за пользование вагонами взимается плата, тогда как Уставом железнодорожного транспорта за их сверхнормативный простой предусмотрены штрафы. Получается, что при простое до 36 ч платежи исчисляются по Тарифному руководству № 2, а далее в соответствии с уставом начисляются штрафы. В результате сложилась комбинированная система взимания платежей. Необходимость приведения этой системы к единобразию и к большей степени логичности очевидна. Эта задача может быть решена только разработкой принципиально нового Тарифного руководства. Следует также учитывать, что клиенты железнодорожного транспорта выступают против взимания штрафов. В настоящее время идет работа по реформированию устава, предполагается, что система штрафов будет ликвидирована.

Поскольку уставом предусматривается, что отношения между грузовладельцем и перевозчиком должны строиться на договорной основе, Тарифное руководство № 2 не должно подлежать госрегулированию. Однако ФСТ не поддержала эту идею, и в новой версии Тарифного руководства госрегулирование остается.

Активное участие в разработке концепции нового Тарифного руководства № 2 принимал ВНИИЖТ, так как он накопил богатый опыт исследований на эту тему. Так, еще в 1970 г. на ряде дорог проводилась замена штрафов за простой вагонов платой за их пользование, однако тогда не было соответствующей правовой основы, поэтому до массового внедрения дело так и не дошло, хотя начиная с 1992 г. некоторые дороги переходили на плату за пользование вагонами. Такой подход практиковался, к примеру, на Московской и Северной дорогах. Эти меры давали не плохой экономический эффект. Достаточно сказать, что в те годы до 30% общей суммы доходов Московской дороги составляли поступления от взимания платы за пользование вагонами. Полученные денежные средства направляли на приобретение вагонов. В дальнейшем, с 1998 г., плата за пользование вагонами была введена по всей сети.

Поначалу это привело к резкому увеличению простоя вагонов под начально-конечными операциями, который достиг 18 ч, и вагоны стали превращаться в склады на колесах. Были приняты меры для повышения эффективности использования вагонов. Достигнуто это было за счет введения временных интервалов простоя с повышающими коэффициентами (до 12 ч, 12-24 ч, более 24 ч), о чем уже отмечалось выше. Хотя и не сразу, а спустя несколько месяцев, эта мера дала требуемый результат – простой снизился до 12,5 ч. Таким образом, плата за пользование должна стимулировать сокращение оборота вагона, улучшение его эксплуатации.

На начальном этапе ВНИИЖТ разработал свой вариант Концепции и передал ее в Федеральную службу по тарифам, которая затем взяла решение этой задачи на себя. Так, в 2005 г. они провели ряд обсуждений этой проблемы с клиентами железнодорожного транспорта. Последние дали много предложений, с учетом которых ФСТ разработала новую редакцию Концепции. Ее утверждение было важным этапом, так как дало возможность службе по тарифам провести конкурс на разработку уже самого Тарифного руководства. В конкурсе участвовало несколько претендентов, но победителем стал ВНИИЖТ.

Сроки были даны очень жесткие. Несмотря на это, ВНИИЖТ выполнил свои обязательства, разработал к весне 2007 г. документы и представил их в ФСТ, которая работу приняла. Сейчас документы находятся в этой службе. Пока новое Тарифное руководство не утверждено, так как, по мнению службы, необходимо создать модель транспортного рынка. Таково положение на сегодняшний день.

Выводы

В настоящее время взаимодействие сторон в перевозочном процессе регулируется гражданским законодательством и договорными правоотношениями, при этом указанные нормы могут эффективно работать только в условиях развития конкуренции. В нашем же случае конкурентная среда отсутствует по совершенно понятным техническим причинам. Таким образом, грузоотправитель становится заложником наличия здравого смысла у владельца инфраструктуры необщего пользования, с одной стороны, и готовности публичного перевозчика и владельца инфраструктуры общего пользования строго соблюдать все инструкции и нормы – с другой. В итоге есть случаи, когда развитие логистики и стратегические задачи владельцев различных инфраструктур не совпадают ни между собой, ни с перспективами формирования грузопотоков. Так что государство должно создать нормативную базу, позволяющую осуществлять определенное регулирование в таких ситуациях. Необходим единый подход ко всем участникам перевозочного процесса, и соответственно государственная политика должна строиться на





одинаковых принципах для транспорта как общего, так и необщего пользования.

В последнее время по ряду вопросов выяснилось много дополнительных аспектов, без объективного и конструктивного обсуждения которых трудно рассчитывать на эффективное функционирование и комплексное реформирование железнодорожного транспорта страны. Нам кажется, что если в первые этапы реформирования было естественным, когда приоритеты по ряду принципиальных вопросов отдавались ОАО «РЖД» или его внутренним корпоративным проблемам, то теперь пора согласиться: на данном этапе вопросы общегосударственных транспортных проблем, а также проблем промышленного транспорта и пользователей его услугами должны быть приоритетными. Это диктуется еще и тем, что итоговая эффективность реформирования железнодорожного транспорта страны, как известно, оценивается уровнем эффективности функционирования всего комплекса, его внутривидового взаимодействия, уровнем сокращения народнохозяйственных затрат на перевозки, а также повышением качества обслуживания пользователей услуг.

Таким образом, железнодорожные пути необщего пользования в результате акционирования пребывают в различных материально-финансовых состояниях. Те, что обслуживаются крупными предприятиями, чья продукция в значительной степени идет на экспорт, находятся в удовлетворительном состоянии: в допустимых нормах содержатся путевое развитие, средства механизации, подвиж-

ной состав и т. д. Пути, обслуживаемые менее удачными предприятиями, находятся в неудовлетворительном состоянии: путевое развитие сокращается, выходит из строя подвижной состав и т. д.

В этих условиях ППЖТ и другие пути необщего пользования объединяются в различные общественные организации, например в «Союзгрупмопртранспорт», чтобы приобрести опыт работы в рыночных условиях, обобщить имеющиеся проблемы и довести информацию о них до правительства РФ.

Приведенный выше опыт показывает, что правительство не устраниется от проблем путей необщего пользования: делаются попытки структурной организации взаимодействия подъездных путей, разработки общих для всех транспортных предприятий нормативно-правовых документов, организации приобретения необходимого подвижного состава и развития ремонтной базы.

В УрГУПС накоплен достаточный опыт по анализу и нормализации отношений между промышленным и магистральным транспортом на основе научных разработанных единых технологических процессов, которые устанавливают объективную норму оборота вагонов и создают нормативную базу для успешной работы заинтересованных сторон-грузовладельцев и магистрального железнодорожного транспорта. Объективная норма оборота вагонов является основой развития материальной базы промышленного грузопотока на магистральном транспорте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вторушина Н. Исчезающий вид с растущим грузооборотом//РЖД - Партнер. - 2007. - №15. - С. 94-96.
2. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации. - М.: Транспорт, 2003.
3. Ильин Ю. Штрафы или плата за пользование//РЖД - Партнер. - 2007. - №2 17.-С. 32-36.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Продолжительное время загрязнение окружающей природной среды вредными выбросами от транспортных дизелей, используемых в подвижном составе, в частности тепловозах, специальном подвижном составе, представлялось неизбежным и допустимым, а значит, и не учитывалось в общем балансе вредных выбросов.

Резкое ухудшение экологической ситуации заставило мировую общественность обратить внимание на этот источник загрязнения окружающей среды. В первую очередь это коснулось стран Западной Европы и США. Стали разрабатываться ограничения на выброс вредных веществ, которые подлежат постепенному вводу в действие в 2005–2010 г.г. Предельные значения концентрации вредных веществ приведены в табл. 1, 2 [1,2]. При этом испытания тепловозов на токсичность должны проводиться по специально разработанным циклам.

В начале 2002 г. на территории США вступили в силу законодательные акты, содержащие основополагающие положения, разработанные Ведомством по охране окружающей среды (EPA). В соответствии с этим законом тепловозы, эксплуатирующиеся на железных дорогах, подразделяются на три категории. К категории «0» относятся локомотивы, построенные в 1973–2001 гг., к категории «1» – локомотивы, которые построены до конца 2004 года, к категории «2» – новые локомотивы, которые введены в эксплуатацию после 1 января 2005 г. Для каждой категории предусмотрены разные допустимые концентрации содержания в ОГ оксидов азота (NO_x), углеводородов (CH) и оксида углерода (CO), а также твердых частиц.

Европейский союз принял ряд директив (96/62, ЕС 97/68, ЕС/C9105), ограничивающих предельные величины содержания в ОГ диоксида серы (SO_2), оксидов азота (NO_x), углеводородов, свинца и твердых частиц.

Таблица 1 – Предельные значения концентрации вредных веществ в ОГ дизелей

Вредные вещества	Нормы, г/кВт·ч					
	ЕРА США		МСЖД 2 (ERRI) 2003 г.	Rll 04/26EG		
Ступень 0 2001 г.	Ступень 1 2004 г.	Ступень 2 2005 г.	Ступень IIIA	Ступень IIIB		
Для магистральных локомотивов	Цикл F согласно ISO 8178 (3 режима испытаний)	Цикл C согласно ISO 8178-4 (Время испытаний)				
CH	1,34	0,74	0,4	0,8	4**	0,19
NO	12,7	9,9	7,4	9,5/9,9*		2
CO	6,7	2,9	2	3	3,5	3,5
Сажа	0,8	0,6	0,27	0,25	0,2	0,025

*> 1000 об/мин / n≤1000 об/мин

**Суммарная концентрация CH и NO

Таблица 2 – Сроки внедрения норм (Директива ЕС97/68)

Подвижной состав	Срок действия	Мощность дизеля, кВт	Содержание, г/кВт·ч				
			CO	CH	NO _x	NO _x +CH	PM
Моторные вагоны	C 2006 г	>130	3,5	–	–	4	0,2
Локомотивы	C 2007 г	<560	3,5	–	–	4	0,2
Локомотивы	C 2009 г	>560	3,5	0,5	6	–	0,2
Локомотивы	C 2009 г	>560	3,5	0,4	7,4	–	0,2
Локомотивы	C 2012 г	>130	3,5	0,19	2,0	–	0,025
Локомотивы	C 2012 г	>130	3,5	–	–	4	0,025

В России нормативные документы, ограничивающие выбросы вредных веществ и дымность ОГ, появились в середине 90-х годов прошедшего века: «Временные нормы дымности и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с отработавшими газами эксплуатируемого дизельного подвижного состава» (1995 г.) и ГОСТ Р 50953-96. Первый документ ограничивал предельно допустимое содержание CO и NO_x в г/м³, или в % об. Второй – содержание CO, NO_x, CH в % об, или г/м³, а также дымность ОГ по предельному значению коэффициента ослабления светового потока N, %. Оба документа предусматривали испытание подвижного состава на пяти режимах.

Исторически сложилось так, что токсичность мощных дизельных двигателей оценивается по удельным показателям (г/кВт·ч, г/кг сожженного топлива). Таким образом, принятая в ГОСТ Р 50953-96 оценка выброса вредных веществ по концентрациям вредных веществ (мг/м³, % об) противоречит общепринятым международным способам оценки токсичности ОГ. Может создаться представление, что тепловозы с двигателем разной мощности, но одинаковой концентрацией вредных веществ в ОГ загрязняют атмосферу одинаково, что в корне неверно. Это противоречие необходимо устранить, т.е. оценку вредных выбросов от тепловозов и другой железнодорожной техники следует проводить в удельных показателях.

Борьба с вредными выбросами от транспортных средств должна в основном вестись за счет улучшения их экологических характеристик, которые могут быть получены через поэтапное обновление эксплуатируемого парка путем замены выводимых из эксплуатации «грязных» транс-

портных средств на более экологически безопасные, или путем модернизации эксплуатируемых транспортных средств за счет оснащения их средствами очистки ОГ или переводом их на более чистое топливо.

Большое влияние на содержание твердых частиц оказывает содержание соединений серы в топливе. В США содержание серы в дизельном топливе не должно превышать 0,05%. Россия, как минимум, лет на пять отстает от европейских стран по выпуску качественного моторного топлива. В октябре 2005 года в России принят ГОСТ 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия», в основу которого взят стандарт ЕВРО-4. Однако остается в действии главный для дизельного топлива ГОСТ 305-82, в котором устанавливается содержание серы 0,2 % и 0,5 % для двух видов топлива, что на порядок больше, чем предусмотрено «Евро-2» и введенным в действие с апреля 2006 года отечественным классом 2 [3]. Поэтому многие НПЗ постепенно переходят на выпуск малосернистого дизельного топлива, которое более дорогое (на 20%), чем сернистое топливо, но владельцы транспортных средств предпочитают брать не чистое экологическое топливо, а более дешевое сернистое.

Существующий в России экономический механизм природопользования не стимулирует предприятия на природоохранную деятельность. По этой причине многие предприятия не стремятся использовать малотоксичные двигатели. Медленно происходит оснащение транспортных средств системами обезвреживания отработавших газов –нейтрализаторами. Это объясняется низкой платой за выбросы вредных веществ в атмосферный воздух. Так, в соответствии с постановлением Правительства РФ № 344 плата за сжигание одной тонны дизельного топлива с учетом всевозможных коэффициентов находится в пределах 6,6–7 рублей, а ущерб при сжигании одного килограмма дизельного топлива составляет 3,76 рубля, т.е. плата и наносимый ущерб несопоставимы [4]. Поэтому предприятиям выгоднее платить штрафы за негативное воздействие на окружающую природную среду, чем вкладывать значительные денежные средства в модернизацию транспортных средств в целях его экологизации. Продекларирован, но не используется принцип компенсации ущерба, нанесенного здоровью человека и окружающей среде.

Основными вредными компонентами, которые в соответствии с нормами ЕЭК ООН определяют токсичность ОГ ДВС и нормируются, для бензиновых и газовых двигателей являются оксиды азота, оксид углерода, углеводороды; для дизельных двигателей – оксиды азота, углеводороды, оксид углерода, твердые частицы.

Ужесточающиеся требования, предъявляемые к токсичности ОГ тепловозных дизелей, заставили многие тепловозостроительные компании добровольно принять на себя обязательства по снижению выброса оксидов азота (на 16-40%), как основного компонента токсичности ди-

зелей [2]. Проводятся работы, направленные на снижение выброса твердых частиц. Компания MTU Friedrichshafen разработала дизель для маневрового тепловоза типа 294 (дизель серии 4000 типа 8V4000 мощностью 1000 кВт), у которого выделения удалось довести до 8 г/кВт·ч оксидов азота (что соответствует требованиям стандарта ISO 8178-4, цикл F) [5]. Выделения монооксида углерода, углеводородов и твердых частиц ниже норм, установленных директивными документами. Дизель оснащен системой “впрыск топлива” типа Common Rail, которая регулирует все важнейшие параметры работы двигателя с помощью электронной системы управления независимо от частоты вращения коленчатого вала, что проявляется в оптимальном сочетании расхода топлива, развиваемой мощности и состава ОГ. Давление впрыска топлива уже составляет 1400 бар, что способствует улучшению характеристик впрыска и всего процесса сгорания топлива.

Предположительно с 2012 г. законодательством будет установлено требование об обязательном применении фильтров для улавливания твердых частиц на всех дизельных двигателях любого железнодорожного подвижного состава. Поэтому компания MTU ведет работы по созданию фильтров на основе карбида кремния, которые способны улавливать более 95% твердых частиц, содержащихся в ОГ. Опытными конструкциями таких фильтров оборудованы три маневровых тепловоза серии 183 (Берлин), две путевых машины (дизель MTU типа 12V4000) компании Scheuchzer, а также несколько единиц дизельного подвижного состава с дизелями типа 12V 183 и 8V 396 (Швейцария).

Уральский государственный университет путей сообщения в сотрудничестве с Людиновским и Муромским тепловозостроительными заводами проводил работу по созданию систем обезвреживания ОГ для тепловозов ТГМ6А и ТГМ23Д. В результате проведенных исследований было установлено, что тепловоз ТГМ 6А, потребляя в год от 140-160 тонн дизельного топлива, выбрасывает в атмосферу до 30 тонн вредных веществ, тепловоз ТГМ 23Д – до 16 тонн.

В разработанной системе для снижения концентрации оксидов азота использовались рециркуляция части ОГ и уменьшение угла опережения впрыска топлива [6]. В нейтрализаторе на окисных катализаторах происходит дожигание продуктов неполного сгорания топлива (оксидов углерода, углеводородов, альдегидов, сажи и т.д.) Одновременное применение каталитического нейтрализатора и рециркуляции ОГ позволило уменьшить выброс вредных веществ от дизеля в 2-2,5 раза без отрицательного влияния на его основные энергетические показатели.

При работе дизеля с рециркуляцией газов возможно отложение сажи, которая обязательно присутствует в ОГ, на внутренних поверхностях воздухоподводящего канала и в турбокомпрессоре. Для устранения этих недостатков

была предложена схема "перепуск", при которой исключается засаживание внутренних поверхностей турбокомпрессора (рис. 1), [7].

Управление рециркуляцией сблокировано с рукояткой контроллера машиниста тепловоза, то есть автоматическое.

Разработанной системой обезвреживания ОГ было оборудовано девять тепловозов ТГМ6А, которые были переданы в эксплуатацию на металлургические заводы страны.

В 70-е годы для обезвреживания стали применяться сотовые блочные катализаторы, которые по своим характеристикам значительно превосходили гранулированные.

Сотовые катализаторы изготавливаются из керамического материала (кордиерита) или тонкой металлической фольги (сталь X18Ю5). Через блоки вдоль направления потока газов проходит множество сквозных каналов (до 400 на кв. дюйм и более). Живое сечение таких блоков составляет около 80% площади торцевой поверхности.

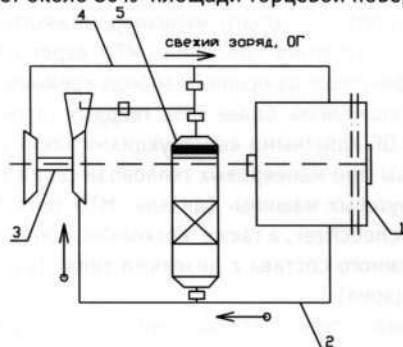


Рисунок 1 – Схема рециркуляции отработавших газов: 1 – дизель, 2 – выхлопной коллектор, 3 – турбокомпрессор, 4 – линии всасывания, 5 – система рециркуляции ОГ

Основная задача при проектировании нейтрализаторов ОГ с блочными катализаторами состоит в том, чтобы выбрать такие параметры реактора нейтрализатора, которые обеспечат максимальную эффективность его работы при минимальных количествах катализатора и создаваемого при этом, по возможности, минимального сопротивления в выхлопном тракте двигателя. Для решения этой проблемы была разработана математическая модель газодинамических процессов, происходящих в реакторе. Сложность проблемы подбора конструктивных параметров реактора нейтрализатора для дизельного двигателя заключается в том, что при его работе из-за присутствия в ОГ сажи, несгоревших частичек масла и топлива происходит забивание (засаживание) каналов сотового блока, что, в конечном итоге, отражается и на физико-химических процессах, протекающих в реакторе, на росте противодавления в выпускном тракте двигателя выше регламентированного значения. Особенно это важно для дизелей с газотурбинным наддувом, которые чувствитель-

ны к превышению противодавления в выпускном тракте. Поэтому в разработанной конструкции нейтрализатора предусмотрены обводные каналы и перепускные отверстия, которые позволяют защитить дизель от внезапного роста противодавления в выпускном тракте (рис.2) [8].

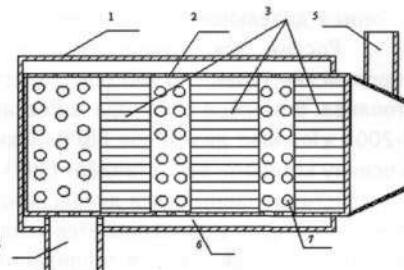


Рисунок 2 – Нейтрализатор отработавших газов для тепловозов и путевых машин: 1 – корпус; 2 – реактор; 3 – катализитические сотовые блоки; 4 – входное отверстие; 5 – выход; 6 – обводной канал; 7 – перепускные отверстия

При создании математической модели полость реактора была разделена на следующие зоны: I – зона диффузора; II – зона обводных каналов и перепускных отверстий; зоны III-V – катализитические блоки; зона IV – межблочное пространство.

Математическая модель (ММ), описывающая явления, протекающие в нейтрализаторе, рассматривается как система дифференциальных уравнений, получаемых из законов сохранения, дополненных эмпирическими соотношениями, замыкающими систему вместе с начальными и граничными условиями.

Для исследования модели использованы фундаментальные законы газовой динамики – сохранения массы, количества движения, энергии.

– Уравнение сохранения массы:

$$\int \rho u_n d\sigma = 0; \quad (1)$$

– Уравнение количества движения (импульсов):

$$\int \rho \vec{u} u_n d\sigma = \int \vec{f} \rho dt - \int p \vec{n} d\sigma; \quad (2)$$

– Уравнение энергии:

$$\int \rho \left(\frac{\vec{u}^2}{2} + U \right) u_n d\sigma = - \int p u_n d\sigma + W + Q, \quad (3)$$

где \vec{u} – скорость частиц газа, ρ – плотность газа, p – давление, U – плотность внутренней энергии (или удельная внутренняя энергия), плотность массовой силы, W – работа внешних сил, Q – приток тепла и других видов энергии немеханической природы, \vec{n} – единич-

ный вектор внешней нормали, $d\tau$ – элемент объема V , $d\sigma$ – элемент площади.

На основе этих уравнений были составлены базовые дифференциальные уравнения:

$$\begin{aligned} (-M^2) \frac{du}{u} &= \frac{\gamma-1}{a^2} q dx + \gamma \frac{\xi}{r} M^2 dx, \\ (-M^2) \frac{dp}{\rho} &= -\frac{\gamma-1}{a^2} q dx - \gamma \frac{\xi}{r} M^2 dx, \\ (-M^2) \frac{dp}{p} &= -\frac{(\gamma-1)}{p} \rho M^2 q dx - \frac{\rho}{p} [\gamma-1] M^2 + 1 \frac{\xi}{r} u^2 dx \\ (-M^2) \frac{dT}{T} &= -\frac{\gamma-1}{a^2} (\gamma M^2 - 1) dx - \gamma(\gamma-1) M^4 \frac{\xi}{r} dx, \end{aligned} \quad (4)$$

где $M = \frac{u}{a}$ – число Маха.; u – скорость частиц газа; a – скорость звука; F – площадь сечения; f – плотность массовой силы; Q – подводимое тепло; γ – показатель адиабаты; ξ – безразмерный коэффициент трения; r – радиус трубы (канала) блока; ρ – плотность; p – давление; T – температура.

На основе (4) для каждой исследуемой зоны составлены свои дифференциальные уравнения. Причем полученные конечные результаты в исследуемой зоне являются начальными для последующей зоны. Таким образом, дифференциальными уравнениями описана вся полость реактора.

Анализ экспериментальных и фактических материалов о движении ОГ в реакторе каталитического нейтрализатора приводит к выводу, что этот процесс можно рассматривать как течение идеального газа в канале (трубе), ограниченное твердыми стенками. Физические процессы, протекающие внутри нейтрализатора, а также количественные оценки газодинамических параметров с большой степенью точности позволяют рассматривать движение газа одномерным и установившимся (стационарным). Газодинамические параметры являются функциями только одной переменной x , отсчитываемой вдоль осевой линии.

Рассмотрим стационарное течение газа внутри нейтрализатора, предполагая сначала в общем виде, что он имеет вид трубы, замкнутой с обеих концов плоскими поперечными сечениями площадью F_1 и F . Боковая поверхность Σ – поверхность тока внутри трубы, где могут находиться обтекаемые газом тела, поверхность которых обозначим Σ_0 .

Параметры газа и площадь сечения $F(x)$ являются непрерывно дифференцируемыми функциями от x и стенки трубы (канала) непроницаемы для газа.

Математическая модель таких течений газа в диффузоре нейтрализатора описывается системой дифференциальных уравнений, являющейся следствием (4). Поток

считаем адиабатическим ($Q=0$) при отсутствии внешнего воздействия ($f=0$), а газ совершенным и идеальным ($\xi=0$):

$$(1-M^2) \frac{du}{u} = -\frac{dF}{F}; \quad (5)$$

$$(1-M^2) \frac{dp}{\rho} = M^2 \frac{dF}{F}; \quad (6)$$

$$(1-M^2) \frac{dp}{p} = \frac{\rho u^2}{p} \frac{dF}{F} = \gamma M^2 \frac{dF}{F}; \quad (7)$$

$$(1-M^2) \frac{dT}{T} = (\gamma-1) M^2 \frac{dF}{F}. \quad (8)$$

Из приведенных уравнений можно сделать вывод что при $M < 1$, или при дозвуковом течении газа, с возрастанием площади сечения трубы скорость течения уменьшается, а плотность, давление и температура возрастают.

Интегрируя полученную систему при условии адиабатического стационарного течения идеального газа и его изэнтропичности, получаем параметрическое решение задачи об одномерном газовом потоке в зоне I нейтрализатора – диффузоре. Роль параметра играет число Маха M . При конкретных значениях u_1 ; T_1 ; p_1 ; ρ_1 ; μ_1 , полученных на основе экспериментальных данных, вычисляются другие значения в любой другой точке потока.

Математические методы описывают беспламменное горение (окисление) системой уравнений газовой динамики, решаемой совместно с уравнением теплопроводности. При этом необходимо учсть выделение тепла вследствие химической реакции и уравнения диффузии, которым подчиняется концентрация реагирующих веществ. Предположим, что исследуемое движение газа квазиадиабатическое, то есть имеется перенос тепла, источником которого является химическая реакция смеси, и квазидеальным, когда диссипативные источники тепла возникают только в пограничном слое. Однако из-за теплоизоляции теплобмена на границе каналов не происходит. Возникшее тепло в пограничном слое не распространяется на объем канала.

Математическая модель газодинамических и химических процессов в реакторе формулируется в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx}(\rho u) &= 0, \\ \rho u \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} &= -\frac{\xi}{r} \rho u^2, \\ u \rho c_p \frac{dT}{dx} &= \lambda \frac{d^2 T}{dx^2} + u \frac{dp}{dx} + c_p \rho \mu W, \\ u \frac{dc_0}{dx} &= D \frac{d^2 c_0}{dx^2} - v_0 W, \\ u \frac{dc_1}{dx} &= D \frac{d^2 c_1}{dx^2} - v_1 W; \\ p &= R \rho T, \quad W = Z (c_0 c_1) e^{-\frac{E}{RT}}, \end{aligned} \quad (9)$$

где T – абсолютная температура; c_p – удельная теплоемкость смеси при постоянном давлении; λ , D – постоянные коэффициенты теплопроводности, диффузии газов, вступающих в химическую реакцию с кислородом; C_0 – концентрация вредных веществ; C_1 – концентрация кислорода; $\mu = \frac{Q}{Q_p}$; Q – тепловой эффект реакции; v_0, v_1 – стехиометрические коэффициенты; W – скорость реакции по закону Аррениуса, R – газовая постоянная величина.

Система (9) содержит пять уравнений с пятью неизвестными функциями. После соответствующих замен первых и вторых производных в 3-м и 5-м уравнениях она будет системой уравнений первого порядка нормальной формы. В силу теоремы Пикара в окрестностях начальных данных эта система имеет единственное решение.

Математическая модель течений в области концентрических цилиндров (обводные каналы, зона II, рис.5) при отсутствии сил трения и тепловыделения описывается системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Из уравнения непрерывности следует:

$$\rho_2 u_2 \frac{S_3}{m} = \rho_1 u_1 S_1, \quad (10)$$

где ρ_1, u_1, S_1 – плотность, скорость и площадь сечения в горловине сопла, ρ_2, u_2, S_2 – плотность, скорость и площадь сечения на выходе из сопла, m – число сужающихся устройств.

Повторяя все выводы основных формул, произведенных ранее, можно получить зависимости $T_1, P_1, \rho_1, T_2, P_2, \rho_2$ как функции параметра M .

Если регулировать площадь сечения горловины сопла Лаваля, добиваясь дозвуковой скорости течения, можно увеличить скорость истечения u_2 .

Математическая модель течения газа в эжекторе построена на основе законов:

сохранения массы

$$\rho_e u_e S_3 + \rho_r u_r (S_2 - S_3) N = \rho_s u_s S_2, \quad (11)$$

сохранения импульсов

$$(\rho_e + \rho_e u_e^2) S_3 + (\rho_s + \rho_s u_s^2) (S_2 - S_3) N = (\rho_s + \rho_s u_s^2) S_2, \quad (12)$$

сохранения энергии

$$\rho_e u_e S_3 \left(\frac{u_e^2}{2} + i_e \right) + \rho_s u_s S_2 \left(\frac{u_s^2}{2} + i_s \right) = \rho_s u_s S_2 \left(\frac{u_s^2}{2} + i_s \right), \quad (13)$$

где v – газ, вытекающий из сопла; z – газ, вытекающий из реактора, i – параметры газа в эжекторе.

Теплообмен со стенками эжектора не учитывается.

После решения алгебраических уравнений найдем значения u , затем ρ, p и T по формуле:

$$T = \frac{P}{R\rho}. \quad (14)$$

После прохождения газа через каталитический блок уменьшится концентрация токсичных компонентов, сажи и смолообразующих веществ в ОГ.

По истечении газа из зоны II концентрация вредных примесей и смолообразующих веществ будет C_{00} и C_{30} , из зоны III – $C_0(\ell_3)$ и $C_3(\ell_3)$, соответственно, вычисленные при $x = \ell_3$. Тогда концентрация смеси в эжекторе в единице объема

$$C_{00} = \frac{C_{00} S_2 u_B + C_0(\ell_3) u_n S_3}{S_2 u_B + S_3 u_r}, \quad (15)$$

$$C_{30} = \frac{C_{30} S_2 u_B + C_3(\ell_3) u_r S_3}{S_3 u_B + S_2 u_r}. \quad (16)$$

Газ из эжектора (зона IV) с известными параметрами

ρ_3, p_3, u_3, T_3 и известной концентрацией вредных компонентов, сажи и смолообразующих веществ опять попадает в реактор нейтрализатора, конструкция которого подобна конструкции предыдущего реактора. В полном соответствии повторяются расчет параметров газа в каждом отдельном канале блока и уровень снижения концентрации. После прохождения системы каналов второго блока газ попадет в конфузор и далее в атмосферу. На этом завершается полный цикл течения газа в реакторе каталитического нейтрализатора ОГ предложенной конструкции.

Изучение газодинамических процессов на основе анализа математической модели позволило описать процессы и закономерности явлений, реализуемых в реакторе, что значительно сократило время доводки конструкции нейтрализатора до эксплуатационных требований.



Испытания предложенной конструкции нейтрализатора проводились на снегоуборочной машине СМ-2 и пневмокладчике УК25/18. Нейтрализатор показал высокую эффективность своей работы.

Заключение

В Западной Европе и США интенсифицировались исследования по оценке воздействия железнодорожного транспорта на загрязнение окружающей среды. В России такие исследования проводятся в значительно меньшем объеме и носят эпизодический характер

ЛИТЕРАТУРА

1. Железные дороги США: особенности грузовых и пассажирских перевозок // Железные дороги мира. -2007 - № 4- С. 932.
2. Новейшие требования к составу выхлопных газов тяговых дизелей // Железные дороги мира. - 2007. - № 7 - С. 54-58.
3. Нефть и капитал//Железные дороги мира. - 2006. - № 3. - С. 16.
4. Булаев В.Г.Оценка выброса вредных веществ и экологоэкономический ущерб при эксплуатации тепловозов //Транспорт. Наука, техника. Управление/ -2006. -№7- С.31 -37.
5. Экономичные и экологичные дизельные двигатели//Железные дороги мира. - 2006. - № 12.- С. 45 - 47.
6. Булаев В. Г. Снижение токсичности тепловозных дизелей за счет рециркуляции газов изменения угла опережения впрыска топлива //Двигателестроение. - 1984. - № 7. - С. 48 -51.
7. А.с. 1476167 СССР, МКИЗ F 02 M25/06 Система рециркуляции отработавших газов двигателя внутреннего сгорания /В.Г.Булаев, Ю.М. Козлов, Е.М. Тарасов (СССР). - №4116176;Заявано 12.09.89; Опубл. 30.04.89; Бюл. № 16. -Зс: ил.
8. Пат. 2201511 РФ, F01N3/28. Каталитический нейтрализатор отработавших газов двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Булаев, Н.П. Чуев (РФ). - №20001114473; Заявано 25.05.03; Опубл. 27.03.03; Бюл.№ 9; Приоритет 25.05 201.-4 с: ил.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ДВУХМАССНОЙ ВИБРОТРАНСПОРТИРУЮЩЕЙ МАШИНЫ С ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯМИ НА НИЖНЕЙ МАССЕ

Представлена математическая модель двухмассной вибротранспортирующей машины с самосинхронизирующимся вибромотором, расположенным на нижней массе машины, позволяющая описывать динамику механической системы в установившемся движении и при переходных процессах, вызванных пуском машины и ударным воздействием.

Вибротранспортирующие машины широко используются в различных отраслях промышленности и на транспорте для транспортирования и разделения насыпных грузов. К вибрационным транспортирующим машинам можно отнести: вибрационные конвейеры, вибрационные питатели и питатели-грохоты, вибрационные подъемники и бункеры-дозаторы. Наиболее широкое применение находят вибрационные машины, работающие в режиме прямолинейных гармонических колебаний.

В последние десятилетия широкое применение нашли вибрационные машины с самосинхронизирующими вибромотором. В настоящее время за рубежом развивается производство двухмассных вибротранспортирующих машин (ДВТМ), которые в отличие от одномассных кроме рабочего органа имеют и демпфирующее тело, что позволяет значительно уменьшить нагрузку на фундамент. В связи с этим представляет особый интерес исследование динамики этих машин и переходных динамических процессов, связанных с пуском машины (прохождение резонанса) и ударными нагрузками.

Конструкционно ДВТМ представляет собой два твердых тела: рабочий орган машины (РО) и демпфирующее тело (ДТ), которые с помощью пружин скреплены между собой и неподвижным фундаментом, что позволяет телам совершать плоскопараллельное движение. Движение рабочего органа машины возбуждается вибровозбудителями или вибраторами дебалансного типа. Вибровозбудители также могут приводить в движение не только рабочий орган (верхнее тело) машины (первый тип машины), но и ее демпфирующее (нижнее) тело (машины второго типа). Рабочим органом машины в этом случае будет колеблющийся ситовой канал, образованный плоским ситом, двумя продольными и одной поперечной (передней) стенками. Сыпучая смесь поступает с приемной стороны канала у передней стенки и перемещается к открытому – сходовому концу, разделяясь на две фракции: проход (частицы, прошедшие через отверстия сита) и сход (частицы, не прошедшие через сито) [1]. Рассматриваемая ДВТМ может не только работать в зарезонансной области, но и также

являться резонансной колебательной системой, что позволит значительно расширить область ее применения.

На рис. 1 приведена расчетная схема двухмассной вибромашины второго типа для случая n дебалансных вибровозбудителей (на рис. 1 показан только один, обозначенный индексом i). Движение рассматривается в абсолютной системе координат Oxy , связанной с фундаментом машины. Ось Oy вертикальна (параллельна силе тяжести), ось Ox горизонтальна. Начало координат выбирается произвольно.

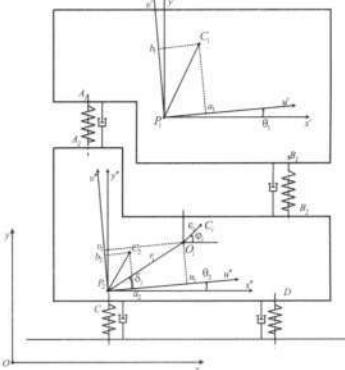


Рисунок 1 – Расчетная схема ДВТМ

В работах [2, 3] приводится вывод системы дифференциальных уравнений для двухмассной вибротранспортирующей машины первого типа. Проводя аналогичные выкладки (в данной статье они опускаются), можно получить систему дифференциальных уравнений и для машины второго типа. Данная система дифференциальных уравнений для двухмассной вибротранспортирующей машины с вибровозбудителями, расположенными на нижнем теле, может быть представлена в виде

$$\ddot{x}_1 = \frac{1}{M_1} \left[c_{11x}(x_1 - x_2) - c_{11,y}\theta_1 + c_{12,x}\theta_2 - k_{11x}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11,y}\dot{\theta}_1 + k_{12,y}\dot{\theta}_2 - F_{ya} \right]$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{M_1} \left[-c_{11y}(y_1 - y_2) + c_{11,x}\theta_1 - c_{12,y}\theta_2 - k_{11y}(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + k_{11,x}\dot{\theta}_1 - k_{12,y}\dot{\theta}_2 - F_{ya} \right]$$



$$\ddot{\theta}_1 = \frac{1}{J_1} \left[c_{11x\theta} (x_1 - x_2) - c_{11y\theta} (y_2 - y_1) - c_{11\theta} \theta_1 + c_{12\theta} \theta_2 - k_{11x\theta} (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - k_{11y\theta} (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_{11\theta} \dot{\theta}_1 + k_{12\theta} \dot{\theta}_2 + F_{y\theta} I_{y\theta} \right] \quad (1)$$

$$\ddot{x}_2 = \frac{1}{M_2} \left[\sum m_i \varepsilon_i (\ddot{\phi}_i \sin \varphi_i + \dot{\phi}_i^2 \cos \varphi_i) - c_{22x} x_2 + c_{11x} x_1 + c_{11\theta} \theta_1 - c_{22\theta} \theta_2 - k_{22x} \dot{x}_2 + k_{11x} \dot{x}_1 + k_{11\theta} \dot{\theta}_1 - k_{22\theta} \dot{\theta}_2 \right] \quad (1)$$

$$\ddot{y}_2 = \frac{1}{M_2} \left[\sum m_i \varepsilon_i (\dot{\phi}_i^2 \sin \varphi_i - \ddot{\phi}_i \cos \varphi_i) - c_{22y} y_2 + c_{11y} y_1 - c_{11\theta} \theta_1 + c_{22\theta} \theta_2 - k_{22y} \dot{y}_2 + k_{11y} \dot{y}_1 - k_{11\theta} \dot{\theta}_1 + k_{22\theta} \dot{\theta}_2 \right] \quad (1)$$

$$\ddot{\theta}_2 = \frac{1}{J_2} \left[\sum m_i \varepsilon_i r_i (\dot{\phi}_i^2 \sin(\varphi_i - \alpha_i) - \ddot{\phi}_i \cos(\varphi_i - \alpha_i)) - c_{22\theta} x_2 + c_{12\theta} x_1 + c_{22\theta} y_2 - c_{12\theta} y_1 + c_{12\theta} \theta_1 - c_{22\theta} \theta_2 - k_{22x} \dot{x}_2 + k_{12x} \dot{x}_1 + k_{22y} \dot{y}_2 - k_{12y} \dot{y}_1 + k_{12\theta} \dot{\theta}_1 - k_{22\theta} \dot{\theta}_2 \right] \quad (1)$$

$$\ddot{\phi}_i = \frac{1}{J_i} m_i \varepsilon_i [\ddot{x}_2 \sin \varphi_i - \ddot{y}_2 \cos \varphi_i - g \cos \varphi_i - \ddot{\theta}_2 r_i \cos(\varphi_i - \alpha_i) - \dot{\theta}_2^2 r_i \sin(\varphi_i - \alpha_i)] + \frac{I_i}{J_i} [L_i(\dot{\phi}_i) - R_i(\dot{\phi}_i, \varphi_i)], \quad (i=1\dots n).$$

Здесь использованы следующие обозначения:

$$M_2 = M_2^* + \sum_{i=1}^n m_i; \\ J_1 = M_1 (a_1^2 + b_1^2) + J_{c1}; \\ J_2 = M_2^* (a_2^2 + b_2^2) + J_{c2} + \sum m_i r_i^2; \\ J_i^* = J_{ci} + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i^2, \quad (2)$$

где M_1 – масса основного тела ДВТМ;

M_2^* – масса вспомогательного тела;

J_{c1}, J_{c2} – их моменты инерции относительно осей, проходящих через центры масс каждого из тел, перпендикулярно плоскости Oxy ;

m_i и J_{ci} – масса i -го дебаланса и центральный момент инерции его ротора соответственно;

$a_i = \delta_i + \theta_i$; n – количество дебалансных вибровозбудителей, где $I_{y\theta} = x_{ci} - x_{y\theta}$ – плечо силы $F_{y\theta}$ относительно центра масс;

C – коэффициенты упругости пружин;

k – коэффициенты вязкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яблонский А.А., Норейко С.С. Курс теории колебаний. - СПб: Лань. - 2003. - 256 с.
2. Васильева Г.В., Румянцев С.А. Математическая модель двухмассной вибрационной машины // Проблемы прикладной математики: Сб. науч. трудов / Под общ. ред. С.Л. Дерябина. - 2005-2006. - № 41 (124). - Т. 1. - С. 228-256.
3. Васильева Г.В., Румянцев С.А. Математическое моделирование нестационарной динамики двухмассной вибротранспортирующей машины // Транспорт Урала. - 2006. - № 4 (11). - С. 29-32.
4. Румянцев С.А. Динамика переходных процессов и самосинхронизация движений вибрационных машин. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. - 134 с.
5. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. - М.: Наука, 1971. - 654 с.
6. Румянцев С.А. Моделирование переходных процессов самосинхронизирующихся вибрационных машин // Изв. вузов. Горный журнал. - 2003. - № 6. - С. 111-118.
7. Вибрации в технике: Справочник в 6 т. - М.: Машиностроение, 1981. - Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Подред. Э.З. Лавендела, 1981. - 509 с.

Величина I_i , входящая в выражение (1), является индексом направления вращения и принимает значение +1, если вращение i -го двигателя происходит в положительном направлении (против хода часовой стрелки), и значение -1, если вращение происходит в обратном направлении. Вращательный момент $L_i(\dot{\phi}_i)$ и момент сил сопротивления $R_i(\dot{\phi}_i)$ считаются функциями угловой скорости.

В качестве начального принимаем момент пуска машины, когда известны начальные значения всех обобщенных координат и скоростей механической системы (нулевые), вибровозбудители расположены в нижнем вертикальном положении.

$$\begin{aligned} x_{10} &= 0; \quad \dot{x}_{10} = 0; \\ y_{10} &= 0; \quad \dot{y}_{10} = 0; \\ \theta_{10} &= 0; \quad \dot{\theta}_{10} = 0; \\ x_{20} &= 0; \quad \dot{x}_{20} = 0; \\ y_{20} &= 0; \quad \dot{y}_{20} = 0; \\ \theta_{20} &= 0; \quad \dot{\theta}_{20} = 0; \\ \varphi_{i0} &= -\frac{\pi}{2}; \quad \dot{\varphi}_{i0} = 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Математически задача сводится к решению системы (1) с начальными условиями (3). Вследствие нелинейности системы дифференциальных уравнений решение осуществляется численными методами Рунге - Кutta с переменным шагом по времени.

Математическая модель реализована в виде программного комплекса на базе уже существующего для одномассной ВТМ, но адаптированного для расчета динамики движения ДВТМ [4, 5], позволяющего вводить геометрические и физические параметры моделируемой вибромашины, численно решать полученную систему дифференциальных уравнений, полученные решения представлять в виде графиков зависимости переменных от времени.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ В РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ

Рассмотрен новый метод расчета рельсовых цепей систем железнодорожной автоматики с учетом электрических потерь в ферромагнетиках (ФМ), позволяющий рассчитывать цепи с нелинейными ФМ без поиска коэффициентов четырехполюсников их схем замещения, представляемых в А-форме.

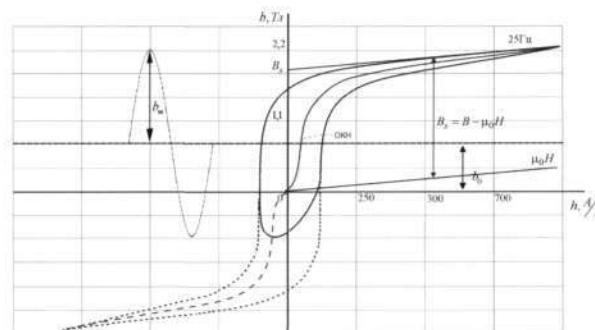
Классический метод расчета предполагает представление отдельных участков электрической схемы рельсовых цепей (РЦ) четырехполюсниками с известными коэффициентами, обычно в А-форме [1, 2]. Если элементы этих схем замещения РЦ линейные, то отыскание А-коэффициентов не представляет значительных затруднений. В цепях, содержащих нелинейные ферромагнетики (ФМ), нахождение А-коэффициентов на всем диапазоне изменения индукций в сердечниках дроссель-трансформаторов является довольно трудной задачей, поскольку классические методы анализа цепей становятся неприемлемыми. В частности, такая проблема возникает в условиях насыщения путевых дроссель-трансформаторов, например типа ДТ.1.150, при повышенных асимметриях тягового тока в рельсовой линии. В этом случае индукция (напряженность) магнитного поля сердечника изменяется по сложному закону, который определяется следующим обобщенным уравнением вида

$$b = b_0 + \sum_{k=1}^m b_{ks} \sin k\omega t + \sum_{k=1}^m b_{kc} \cos k\omega t, \quad (1)$$

решение которого вызывает значительные трудности.

В статье рассмотрен новый метод расчета РЦ с учетом потерь в ферромагнетиках, без поиска коэффициентов четырехполюсников схемы замещения. При построении модели перемагничивания ФМ в параллельных магнитных полях наиболее точны аппроксимационные методы, учитывающие не только изменения величин b и h во времени, но и их производные.

С развитием вычислительной техники и соответствующего программного обеспечения математические методы расчета РЦ при нелинейных изменениях индуктивности ферромагнетиков, включая участки насыщения, становятся реальными. При этом важным является поиск аппроксимирующего аналитического выражения, описывающего динамическую предельную петлю гистерезиса (ПГ) (рис.1).



**Рисунок 1 – Петля гистерезиса сердечников ДТ.1.150
(статья 2412)**

Известно, что ферромагнетики – нелинейные динамические объекты с «бесконечной» памятью, роль которой выполняет остаточная магнитная индукция. Показанный на рис. 1 цикл ПГ получен для дроссель-трансформатора ДТ.1.150 на частоте 25 Гц при воздействии сигнала, содержащего постоянную составляющую индукции и переменную частотой 25 Гц.

Установлено, что наилучшее приближение к экспериментальным характеристикам дает следующая математическая модель ПГ:

$$h = A e^{-\gamma^2 b m^2} \alpha_1 s h \beta_1 b + \alpha_2 \frac{d}{dt} c h \beta_2 b, \quad (2)$$

которая позволяет учесть влияние всех гармоник входного тока перемагничивания ферромагнетика.

Если в (2) для аргумента функции $s h \beta_1 b$ принять $x_1 = \beta_1 b_0 + \beta_1 b_m \sin \omega t$, то $y_1 = s h(\beta_1 b_0 + \beta_1 b_m \sin \omega t) = 2 c h \beta_1 b_0 \{ - j J_1(j \beta_1 b_m) \sin \omega t - j J_3(j \beta_1 b_m) \sin 3\omega t - \dots \}$.

Если для аргумента $c h \beta_2 b$ принять $x_2 = \beta_2 b_0 + \beta_2 b_m \cos \omega t$, то $y_2 = c h(\beta_2 b_0 + \beta_2 b_m \cos \omega t) = s h \beta_2 b_0 \{ J_0(j \beta_2 b_m) - 2 J_2(j \beta_2 b_m) \cos 2\omega t + 2 J_4(j \beta_2 b_m) \cos 4\omega t + \dots \}$.



Здесь $J_0(jx_0)$, $J_1(jx_m)$, $J_2(jx_m)$, ... – функции Бесселя 0, 1, 2, ... порядка.

Алгоритм функционирования такой модели ФМ [3] не имеет ограничений на вид тестов внешнего воздействия и устойчив при идентификации параметров $(A, \gamma, \alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2)$ (2), отыскиваемых численными методами по экспериментальной предельной петле гистерезиса и кривой намагничивания, снятых при максимальных величинах индукции и частоты сигнала. В выражении (2) множитель $\alpha_1 s h \beta_1 b$ первого слагаемого характеризует основную кривую намагничивания (ОКН), на которой лежат вершины частных симметричных ПГ, а второе слагаемое описывает диссипативные процессы и потери на гистерезис, вихревые токи и от магнитной вязкости.

При расчетах принят гармонический сигнал вида $b = b_m \cos(\omega t + \phi)$. Коэффициенты α_1 и β_1 безгистерезисной составляющей петли гистерезиса (2) определяются методом выбранных точек по средней кривой намагничивания (СКН) [3]; параметры A и γ определяются из выражений:

$$\ln(A) = \gamma^2 b_m^2 \max; \quad \gamma^2 = \frac{\ln(h_0/\alpha_1 \cdot \sinh \beta_1 \cdot b_0)}{b_m^2 \max - b_0^2}, \quad (3)$$

причем точки b_0 , h_0 взяты вблизи максимального значения индукции насыщения b_m и напряженности поля h_m (на рис. 1 не показаны); индукция $b_m \max$ соответствует максимальному рабочему значению, при этом $b_m \max > b_m$. Коэффициенты α_2 и β_2 находятся из формул:

$$\alpha_2 = \frac{h_c}{\omega \cdot b_m}; \quad \beta_2 = \frac{1}{b_m}, \quad (4)$$

где h_c – коэрцитивная сила, А/м.

Алгоритм расчета РЦ предложенным методом имеет следующую особенность. Оценка электрических параметров схемы осуществляется с помощью магнитных характеристик ферромагнетика, участвующих в передаче энергии сигнала.

Для иллюстрации алгоритма воспользуемся схемой питающего конца (рис. 2) фазочувствительной РЦ и результатами ее расчета классическими методами [1, 4].

Схема замещения трансформатора обычно эквивалентно представляется Т-образным четырехполюсником. Физические процессы перемагничивания реального сердечника отображаются ПГ (см. рис. 1), несущей информацию о всех потерях, учитываемых схемой замещения [5], которая сводится к Г-образному четырехполюснику, включающему в себя комплексное сопротивление ветви намагничивания сердечника $Z = \frac{E_1}{I_0}$ (E_1 – ЭДС самоиндукции, ток $I_0 = I_1 + \frac{1}{n} I_2$ – ток холостого хода (см. рис. 2)), r_1 – сопротивление стальных дроссельных перемычек ДП и переходных контактных соединений идеального трансформатора (ИТ), где принято, что $r_1 = 0,1$ Ом.

Комплексное сопротивление цепи намагничивания определяется следующим образом. Индуцируемое магнитным потоком $\dot{\Phi}$ в обмотке дроссель-трансформатора ДТ.1.150 напряжение равно $\dot{E}_1 = j\omega W\dot{\Phi}$. Из [5] следует, что поток, проходящий через листовые полосы сердечника,

$$\dot{\Phi} = \frac{2\mu b h_0}{(1+j)\beta d} th\beta(1+j) \frac{d}{2}, \quad (5)$$

где $h_0 = \frac{j_0 W}{l}$, $\beta = \sqrt{\pi \mu_0 \mu_r \gamma}$; $\gamma = 7 \cdot 10^3 \text{ 1/Om} \cdot \text{мм}$ – проводимость стали;

μ_r – магнитная проницаемость, принимается при $b > b_m$: $\mu_r = 350-500$;
 $d = 0,055$ м, $b = 0,18$ м – толщина и ширина пакета пластин сердечника.

Используя (5), можно вычислить приращение комплексного сопротивления обмотки стального сердечника за счет токовихревого эффекта

$$\Delta Z = \frac{j2\mu_s S_{\Pi} \omega W^2}{(1+j)\beta l d} th\beta(1+j) \frac{d}{2}, \quad (6)$$

где $S_{\Pi} = a \cdot b$ – площадь сечения пакета, обтекаемая потоком;

$a = 0,175$ м – высота пакета стали.

Для низких частот (менее 900 Гц) индуктивность обмотки по постоянному току $L_0 = \frac{\mu_0 \mu_s S W^2}{l}$,
где $S = 37,5 \cdot 10^{-4}$ м – площадь сечения магнитопровода, охватываемая обмотками;

$l = 0,24$ м – средняя длина витка основной обмотки.

Тогда (6) можно записать в виде

$$\Delta Z = L_0 \frac{j2\omega}{(1+j)\beta d} th(1+j) \frac{d}{2} \quad (7)$$

и разложить затем на вещественную и мнимую части.

В результате получим формулы для оценки величины индуктивности

$$\Delta L = L_0 \frac{1}{x} \frac{shx + \sin x}{shx + \cos x} \quad (8)$$

и активного сопротивления обмотки

$$\Delta R = \omega L_0 \frac{1}{x} \frac{shx - \sin x}{shx + \cos x}, \quad (9)$$

где $x = \beta d$.

Полная индуктивность обмотки равна $L = L_0 + \Delta L$, а полное сопротивление $R = R_0 + \Delta R$, где $R_0 = \rho \frac{l_{\Pi}}{S_{\Pi}}$, l_{Π} – длина провода обмотки. Расчеты с учетом (6)-(9) показали, что $Z = R + j\omega L = 0.85e^{j81^\circ}$ Ом. Из выражений (5)-(7) следует, что величины сопротивлений ДТ.1.150 зависят от магнитной проницаемости и индукции сердечников, что требует более тщательной оценки магнитных характеристик ферромагнетика, особенно при их работе на тональных частотах.

УДК 621.372.72.01:621.372.72.012.2

© Издательство УГЛТУ, 2008

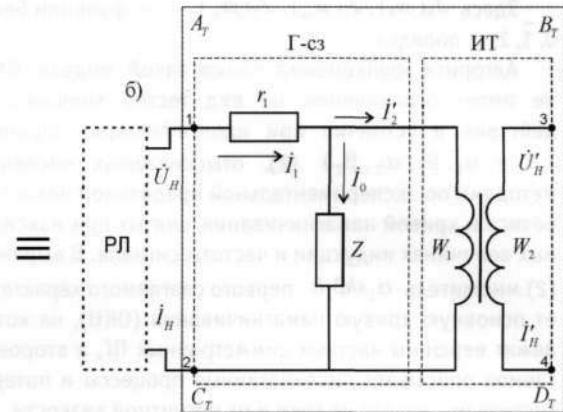
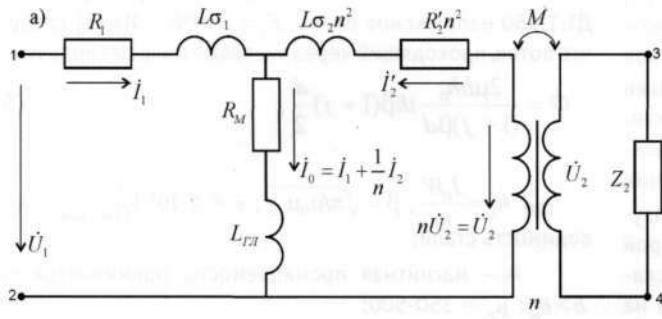


Рисунок 2 – Схема замещения реального трансформатора (а) и расчетная (б)

Аналогичный результат дает оценка сопротивления $Z e^{j\phi_x}$ путем расчетов потерь мощности от перемагничивания, вихревых токов и от магнитной вязкости [5].

Коэффициенты А-матрицы четырехполюсника расчетной схемы замещения равны

$$A_T = n \left(1 + \frac{r_1}{Z} \right); B_T = nr_1; C_T = \frac{1}{nZ}, D_T = \frac{1}{n}.$$

Основные элементы схемы замещения (см. рис. 2) включают R_1 , $R'_2 n^2$ – активные сопротивления обмоток; $L\sigma_1$, $L\sigma_2$ – индуктивности рассеяния обмоток; M – взаимную индуктивность, определяемую главными индуктивностями L_{T11} , L_{T12} , и L_1 , L_2 – индуктивности обмоток и др.

Последовательность расчета РЦ сводится к следующему.

1. Формируются исходные данные для расчета. В примере, приведенном ниже, приняты данные для питающего конца фазочувствительной РЦ [4]: $U_H = 1,14e^{j91^\circ} B$, $i_H = 1,75e^{j78^\circ} A$ – напряжение и ток в начале рельсовой линии; длина $l_{РЦ} = 1,2$ км, частота $f = 25$ Гц, путевой приемник типа ДСШ-13А и дроссель-трансформатор типа ДТ.1.150, параметры схемы замещения последнего получены из конструктивных данных его сердечника и обмоток (рис. 3).

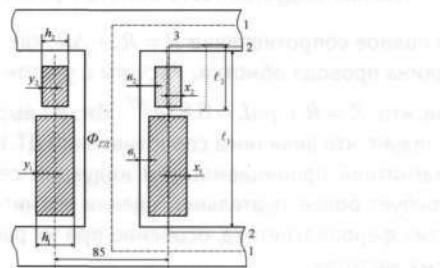


Рисунок 3 – К определению параметров СЗ ДТ.1.150

2. Составляются уравнения передачи четырехполюсника ДТ.1.150, имеющие в А-форме вид

$$[A] = \begin{bmatrix} U'_H \\ I'_H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_T & B_T \\ C_T & D_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_H \\ I_H \end{bmatrix}. \quad (10)$$

3. Рассчитывается величина сопротивления Z , причем сначала находят модуль индукции магнитного поля в сердечнике $|B| = \frac{|\dot{U}_H + i_H r_1|}{4.44 W_i f S} = 0.273$ Тл, а по формуле (2) – напряженность магнитного поля (44,8 А/м); затем определяются поток Φ (5), ток (намагничивания) $i_b = \frac{h \cdot l}{W_i} = \frac{44.8 \cdot 0.5}{16} \approx 1,41e^{j90^\circ}$ А, аргумент напряженности поля принят равным аргументу потока (-7°); комплексное сопротивление определяется

$Z = \frac{\dot{E}_1}{I_b} = \frac{\dot{U}'_H + i'_H r_1}{i'_H} \approx 0.85e^{j81^\circ}$ Ом, либо, как уже отмечалось выше, с учетом формул (5)-(9).

4. Находятся напряжение и ток на входе дроссель-трансформатора по уравнениям (10):

$$\dot{U}'_H = n \left(1 + \frac{r_1}{Z} \right) \dot{U}_H + nr_1 i_H = 4,1e^{j88^\circ} B;$$

$$i'_H = \frac{1}{nZ} \dot{U}_H + \frac{1}{n} i_H = 0,77e^{j54^\circ} A, \text{ причем } i'_H = i_{TP}.$$

5. Рассчитываются напряжение питающего трансформатора и мощность, потребляемая рельсовой цепью [4]:

$$\dot{U}_{TP} = \dot{U}'_H + i'_H R_{TP} = 5,5e^{j78^\circ} B;$$



$$S = \dot{U}_{TP} I_{TP} = 4,23 BA.$$

6. Определяется угол расстройки сигнала приемника

$$\beta_P = \Phi_{TP} - 72 = 6^{\circ}.$$

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Предложенный метод дает достаточно высокую сходимость расчетных результатов с классическим методом, причем разница результатов (не более 9%) обусловлена в основном разницей величин переходных сопротивлений соединений и сопротивлений дроссельных стальных перемычек.

2. Метод требует создания банка данных по динамическим петлям гистерезиса и коэффициентам аппроксимирующих функций трансформаторов, применяемых в схемах рельсовых цепей.

3. Метод позволяет вести с высокой достоверностью расчеты РЦ в большем диапазоне индукций сигнального тока и токов подмагничивания дроссельтрансформаторов.

4. Метод позволяет исключить экспериментальное определение и аналитические расчеты коэффициентов четырехполюсников ферромагнетиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брылеев А.М., Шишляков А.В., Кравцов Ю.А. Устройство и работа рельсовых цепей. - М.: Транспорт, 1966. - 264 с.
2. Талыков А.А., Разгонов А.П. Фазочувствительные рельсовые цепи 25 Гц. - М.: Транспорт, 1972. - 102 с.
3. Болдов Б.А. и др. Аппроксимация симметричных петель гистерезиса ферромагнитных материалов // Труды МЭИ, 1975. - Вып. 232. - С. 55-60.
4. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник/ Под ред. В.С. Аркадова. -М.: Транспорт, 1992. - 384 с.
5. Купфмюллер К. Основы теоретической электротехники. - М.: ГЭИ, 1960. -217 с.

ВЛИЯНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЫ НА ДАЛЬНОСТЬ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ В ГЕКТОМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

Особое место в технологическом процессе управления движением поездов и обеспечении безопасности их движения принадлежит техническим средствам поездной радиосвязи (ПРС), которые в настоящее время функционируют в диапазонах гектометровых, метровых и дециметровых волн. Радиосвязь - единственное средство связи с машинистами поездных (магистральных) локомотивов (ТЧМ).

Эффективность применения ПРС определяется уменьшением количества остановок поездов, временем их простоя на участках и станциях, увеличением участковой скорости и интенсивности движения поездов, повышением безопасности их движения.

Главным требованием при организации системы ПРС является создание вдоль полотна железной дороги работающими стационарными радиостанциями такого уровня радиополя полезного сигнала, при котором обеспечивается уверенная и устойчивая радиосвязь с ТЧМ.

Энергия высокой частоты передается от передатчика к приемнику в системе ПРС как за счет полей излучения, так и за счет полей индукции. Второй способ передачи высокочастотной энергии нашел наибольшее распространение, поскольку энергия передатчика концентрируется и направляется вдоль трассы движения локомотива с помощью направляющих линий (НЛ), в качестве которых применяются провода воздушной линии связи (ВЛС), высоковольтные провода линии продольного энергоснабжения, ДПР (два провода – рельс) и автоблокировки (ЛЭП – 10 кВ) и специально подвешиваемый на опорах контактной сети провод (волновод).

Существуют два пути передачи высокочастотной энергии вдоль НЛ:

между проводами, тогда образуется волновой канал с противофазной или межпроводной электромагнитной волной;

между проводом (или проводами) и землей, тогда возникает синфазная или земляная волна.

Основной параметр оценки эффективности применения той или иной НЛ – это километрическое затухание каждого из волновых каналов. Наименьшим затуханием обладает противофазная волна, наибольшим – синфазная.

Существенное затухание сигнала за счет земляной волны обусловлено тем, что часть потока волнового поля, излучаемого передатчиком стационарной радиостанции, проникает в почву и, поглощаясь там, теряется в виде тепла. От того, какая доля электромагнитной энергии поля попадает в почву, зависит скорость убывания этого поля

вдоль железнодорожной трассы. Процесс проникновения поля в почву связан с ее электрическими свойствами – величиной диэлектрической проницаемости ϵ и величиной электропроводимости σ .

Более подробно этот вопрос рассматривается в работе автора [1].

Анализ экспериментально снятых диаграмм напряженности радиополя полезного сигнала показывает, что на некоторых участках Свердловской железной дороги имеет место снижение дальности радиосвязи до 2-5 км между локомотивными и стационарными радиостанциями [2]. Результаты же расчета дальности радиосвязи по методике [3] показывают возможность обеспечения уверененной радиосвязи на этих участках дороги. Методика расчета дальности радиосвязи осталась прежней и в новой инструкции [4].

Определенное количественное расхождение между расчетными и экспериментальными данными измерений сигнала обусловлено тем, что дальность радиосвязи по методике [3, 4] рассчитывается с учетом заранее заданного минимально допустимого уровня полезного сигнала, и поэтому вычисляется общая дальность радиосвязи, а не конкретная координата (участок) пути. В действительности же уровень сигнала на том или ином участке перегона (координате пути) может быть намного ниже минимально допустимого значения, и поэтому расчет по [3, 4] не позволяет установить причину подчас существенного снижения сигнала на конкретном участке перегона железной дороги. Это снижение сигнала может быть обусловлено, например, влиянием поверхностного слоя почвы, группового провода заземления и других устройств энергоснабжения, увеличением расстояния между антенной локомотива и проводами НЛ (более 15 м) на одно- и двухпутных участках железной дороги, неисправностью НЛ за счет некачественного изготовления изоляторов или плохого соединения проводов НЛ между собой, а также других причин, допущенных при проведении технического и технологического процессов.



Именно поэтому расчет уровня сигнала непосредственно на станциях и на каждом километре (или через каждые 100 м, например) участка железной дороги позволяет установить причины снижения сигнала в любой точке перегона.

Уровень сигнала в месте приема (на входе приемника локомотивной радиостанции, например) определяется по формуле

$$U_{\text{пр}} = \sqrt{P_{\text{пр}} \cdot Z_B} = \sqrt{P_{\text{пр}} \cdot Z_B \cdot 10^{-0,1 A_3}},$$

где P – выходная мощность передатчика стационарной радиостанции, Вт;

$Z_B = 50$ или 75Ω – волновое сопротивление фидера (коаксиального кабеля);

$P_{\text{пр}} = P \cdot 10^{-0,1 A_{\Sigma}}$ – мощность сигнала на входе приемника локомотивной радиостанции, Вт.

Общее затухание A_{Σ} , подсчитываемое для каждого конкретного километра на участке дороги или на станции, определяется по формуле [4]

$$A_{\Sigma} = A_{\text{пер}} + \sum a_{\text{ст}} + \sum a_{\text{лок}} + \sum a_{\text{лин}} + a_{\text{н}}, \text{ дБ},$$

где $A_{\text{пер}}$ – переходное затухание между проводами НЛ и локомотивной антенной;

$\sum a_{\text{ст}}, \sum a_{\text{лин}}, \sum a_{\text{лок}}$ – суммарное затухание сигнала соответственно в стационарных, линейных и локомотивных устройствах, $\sum a_{\text{лок}} = 1,5-2 \text{ дБ}$;

$a_{\text{н}}$ – постоянная затухания НЛ на перегоне. Она учитывается только при расчете затухания на участке дороги, дБ/км.

Суммарное затухание $\sum a_{\text{ст}}$ рассчитывается по формуле [4]

$$\sum a_{\text{ст}} = a_{\Phi} l_{\Phi} + a_{\text{СУ}} + a_{\text{ив}} + a_{\text{он}} + k_p + a_3,$$

где a_{Φ} – постоянная затухания фидера, $a_{\Phi} = 0,008 \text{ дБ/м}$;

l_{Φ} – длина фидера (от стационарной радиостанции до устройства согласования (УС) с направляющей линией),

$l_{\Phi} = 50-400 \text{ м}$;

$a_{\text{СУ}}$ – затухание, вносимое СУ, $a_{\text{СУ}} = 1,5-2 \text{ дБ}$;

$a_{\text{ив}}$ – затухание, вносимое индуктивным способом возбуждения проводов НЛ, $a_{\text{ив}} = 1,5-2,8 \text{ дБ}$;

$a_{\text{он}} = 5-6 \text{ дБ}$ – концевое затухание на ближнем конце при синфазном возбуждении волновода или проводов воздушной линии связи;

k_p – коэффициент, учитывающий распространение высокочастотной энергии передатчика стационарной радиостанции в обе стороны от места ее установки;

a_3 – затухание, учитывающее ослабление напряженности поля сигнала за счет экранирования локомотивной антенны по отношению к проводам НЛ из-за нарушения

сторонности ее расположения на крыше локомотива, $a_3 = 4,5 \text{ дБ}$ (электровозы), $a_3 = 2,5 \text{ дБ}$ (тепловозы). Это затухание при расчете уровня сигнала в методиках [3, 4] почему-то не учитывается.

Суммарное затухание $\sum a_{\text{лин}}$ вычисляется по формуле

$$\sum a_{\text{лин}} = a_{\text{ТПС}} + a_p + n a_{\Pi} + m a_{\text{тр}} + a_3,$$

где $a_{\text{ТПС}}, a_p$ – затухания, вносимые схемой высокочастотного обхода тяговой подстанции (ТПС) и нормально разомкнутого разъединителя соответственно,

$a_{\text{ТПС}} = 1-4 \text{ дБ}, a_p = 1-2,5 \text{ дБ}$;

a_{Π} – затухание, вносимое соответственно воздушными ($a_{\Pi} = 0,7 \text{ дБ}$) и кабельными ($a_{\Pi} = 2,5 \text{ дБ}$) переходами при изменении стороны НЛ (волновода);

n – количество соответствующих переходов НЛ в пределах перегона дороги;

m – число обрабатываемых трансформаторов на перегоне;

$a_{\text{тр}}$ – затухание, вносимое силовыми одно- и трехфазными трансформаторами и зависящее от длины проводов, которыми трансформаторы подключаются к проводам НЛ. Например, у однофазных трансформаторов $a_{\text{тр}} = 0,15 \text{ дБ}$ и $a_{\text{тр}} = 0,3 \text{ дБ}$, если длина проводов соединения составляет соответственно $l_{\text{пр}} = 5 \text{ м}$ и $l_{\text{пр}} = 10 \text{ м}$. Трехфазные трансформаторы имеют затухание при этих же длинах проводов соответственно $a_{\text{тр}} = 0,22 \text{ дБ}$ и $a_{\text{тр}} = 0,5 \text{ дБ}$. При больших длинах проводов затухание $a_{\text{тр}}$ возрастает по экспоненциальному закону;

a_3 – затухание земляной волны, возникающее при синфазной запитке проводов НЛ на первых трех километрах от стационарной радиостанции. Затухание a_3 также не учитывается при расчете уровня сигнала $U_{\text{пр}}$ на перегоне [3, 4].

При использовании в качестве НЛ волновода затухание $\sum a_{\text{лин}} = 0$, если на перегоне отсутствуют воздушные и кабельные переходы. Если же в качестве НЛ используются высоковольтные линии, то затухание $\sum a_{\text{лин}} \neq 0$. Поэтому общее затухание A_{Σ} увеличивается, а дальность радиосвязи соответственно снижается.

На рис. 1 показаны зависимости величины сигнала $U_{\text{пр}}$ от общего затухания A_{Σ} при разных значениях волнового сопротивления и выходной мощности передатчика стационарной радиостанции. На рис. 1 представлены те области зависимости значения сигнала от общего затухания A_{Σ} которые оценивают его минимально допустимый уровень. Подсчитывая затухание A_{Σ} на каждом километре перегона (через каждые 100 или 50 м, например) по данной методике, по рис. 1 определяет-

ся значение сигнала на входе приемника локомотивной радиостанции, которое сравнивается с данными эксперимента (диаграммы напряженности поля сигнала).

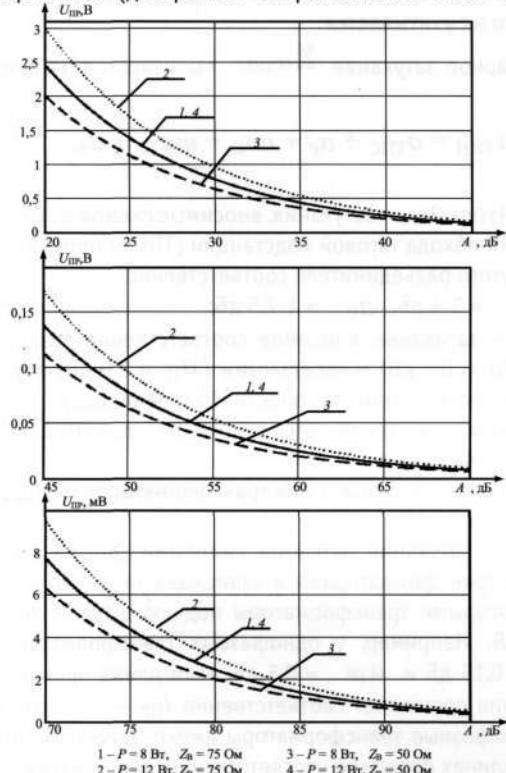


Рисунок 1 – Зависимость величины сигнала U_{PR} от общего затухания A

На основе этой методики можно построить теоретические диаграммы распределения уровней сигнала на каждом перегоне или участке железной дороги. Эти диаграммы позволяют с достаточной для практики точностью определить не только возможные потери сигнала, но и установить причины снижения эффективности передачи высокочастотной энергии сигнала по проводам НЛ вдоль железнодорожной трассы.

В качестве примера рассмотрим передачу энергии сигнала вдоль железнодорожной трассы по волноводному проводу. Прежде всего рассчитаем затухание сигнала от стационарной радиостанции до проводов НЛ:

$$\begin{aligned} \sum a_{\text{CT}} &= a_{\phi} l_{\phi} + a_{cy} + a_{nb} + a_{oh} + k_p + a_3 = \\ &= 0,08 \cdot (50-400) + (1,5-2,0) + (1,5-2,5) + (5-6) + 3 + (2,5-4,5) = 14-22 \text{ dB}. \end{aligned}$$

Итак, затухание в соединительной линии находится в пределах $\sum a_{\text{CT}} = 14-22 \text{ dB}$.

При организации связи между ДСП и ТЧМ необходимо учесть затухание $A_{\text{ПЕР}}$. В нашем случае $A_{\text{ПЕР}} = 30 \text{ dB}$ (волновод). Суммируя эти затухания, получаем $A_{\Sigma} = (14-22) + 30 = 44-52 \text{ dB}$. При этом на станции уровень сигнала на

входе радиоприемника может составлять $U_C = 50-100 \text{ мВ}$ (см. рис. 1). В работе [5] установлено, что переходное затухание $A_{\text{ПЕР}}$ зависит не только от расстояния между проводами НЛ, но и от сопротивления потерь в антенне и системе настройки, от фактора (коэффициента) связи между антенной и выходным контуром передатчика, от высоты подвеса проводов НЛ и антенны, диаметра провода и др. Например, при расстоянии между проводом НЛ и антенной 5-30 м затухание $A_{\text{ПЕР}}$ может составлять 11-65 дБ. Следовательно, с учетом номинальных значений различных параметров (указанных выше), величина $A_{\text{ПЕР}} = 30 \text{ dB}$ может быть снижена до $A_{\text{ПЕР}} = 20 \text{ dB}$ (т.е. в 3,16 раза) и даже до $A_{\text{ПЕР}} = 10 \text{ dB}$ (т.е. еще в 3,16 раза) [5]. Таким образом, при правильно настроенной радиостанции затухание между проводами НЛ и антенной может быть снижено на 20 дБ, т.е. в 10 раз.

Если снижается величина затухания A_{Σ} , то увеличивается уровень сигнала U_{PR} . Например, на станции затухание $A_{\Sigma} = 52 \text{ dB}$ (см. выше), что соответствует УПР = 0,05 В (см. рис. 1). При $A_{\Sigma} = 42 \text{ dB}$ ($52 - 10 = 42 \text{ dB}$) имеем $U_{\text{PR}} = 0,2 \text{ В}$, а при $A_{\Sigma} = 32 \text{ dB}$ ($52 - 10 - 10 = 32 \text{ dB}$) получаем $U_{\text{PR}} = 0,5 \text{ В}$.

При организации радиосвязи между ДСП и ТЧМ необходимо учитывать постоянную затухания НЛ на перегоне $a_H = 1,5-12 \text{ dB/km}$ (для волновода $a_H = 2,5 \text{ dB/km}$) [3, 4], затухание земляной волны в зависимости от типа почвы $a_3 = 2-16 \text{ dB}$ [1] и затухание изоляторов на перегоне за счет утечки изоляции на один изолятор. Затухание за счет утечки изоляции только на один изолятор может составить $a_y = 1-3 \text{ dB}$ [1].

При расстоянии между опорами контактной сети 70 м затухание сигнала на одном километре перегона будет составлять только на изоляторах $a_y = 15-45 \text{ dB/km}$. Эта величина затухания показывает необходимость обязательного и качественного проведения технологического процесса. В случае обнаружения каких-либо признаков порчи изоляторов и волновода необходимо проведение технического ремонта волновода. Практически можно считать, что в среднем затухание на изоляторах $a_y = 2,5 \text{ dB/km}$, затухание сигнала на участке равно сумме $a_{OH} = a_H + a_y = 2,5 + 2,5 = 5 \text{ dB/km}$.

Следовательно, общее затухание A_{Σ} , как это следует из результатов проведенного анализа, находится в пределах

$$\begin{aligned} A_{\Sigma} &= \sum a_{\text{CT}} + A_{\text{ПЕР}} + a_3 + a_{OH} = \\ &= (14-22) + (10-30) + (2-16) + (1-5) = 27-50-73 \text{ dB}. \end{aligned}$$

Отсюда затухание на станции составит

$$A_{\Sigma \text{ CT}} = (14-22) + (1-30) = 24-38-52 \text{ dB}.$$



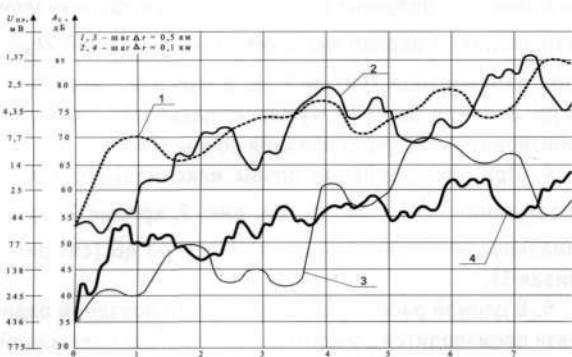


Рисунок 2 – Зависимость величины сигнала $U_{\text{ПР}}$ от расстояния r и от затухания A_{Σ}

Здесь среднее значение $A_{\Sigma \text{ СТ}} = 38$ дБ, минимальное значение $A_{\Sigma \text{ М}} = 24$ дБ, максимальное $A_{\Sigma \text{ МК}} = 52$ дБ.

Затухание на перегоне: среднее значение $A_{\Sigma \text{ СТ}} = 50$ дБ, минимальное $A_{\Sigma \text{ М}} = 27$ дБ, а максимальное $A_{\Sigma \text{ МК}} = 73$ дБ.

С учетом этих данных ($A_{\Sigma} = 27-73$ дБ) на рис. 2 и 3 представлены возможные на практике зависимости уровня сигнала от затухания A_{Σ} . При этом, зная затухание A_{Σ} на том или ином участке перегона, можно определить уровень сигнала $U_{\text{ПР}}$.

На рис. 2 показаны четыре зависимости затухания A_{Σ} от расстояния r с шагом $\Delta r = 0,5$ км (кривые 1 и 3) и с шагом $\Delta r = 0,1$ км (кривые 2 и 4), а на рис. 3 показана кривая с шагом $\Delta r = 0,01$ км. Кривые на рис. 2 и 3 построены с учетом изменения затухания почвы в пределах $a_3 = 2-16$ дБ. Чем меньше уровень затухания почвы a_3 , тем выше уровень сигнала $U_{\text{ПР}}$. Например, на рис. 2 (кривая 2) при расстоянии $r = 3$ км затухание $A_{\Sigma} = 65$ дБ, при этом уровень сигнала $U_{\text{ПР}} = 14$ мВ, на 4 км при значении $a_3 = 10$ дБ уровень затухания $A_{\Sigma} = 80$ дБ, уровень сигнала $U_{\text{ПР}} = 2,5$ мВ, а на 7 км при максимальном значении $a_3 = 16$ дБ уровень затухания $A_{\Sigma} = 86$ дБ, а уровень сигнала только $U_{\text{ПР}} = 1,35$ мВ.

При затухании на станции $A_{\Sigma \text{ СТ}} = 35$ дБ (кривые 3, 4) уровень сигнала выше, чем при затухании $A_{\Sigma \text{ СТ}} = 54$ дБ (кривые 1, 2). Таким образом, при увеличении уровня сигнала на станции увеличивается уровень сигнала на перегонах и соответственно дальность радиосвязи.

Из анализа зависимости $U_{\text{ПР}} = f(A_{\Sigma})$ следует, что уровень сигнала на станции ($r = 0$ км) определяет не только дальность действия радиосвязи, но и уровень сигнала в конкретной точке перегона: чем он больше по величине,

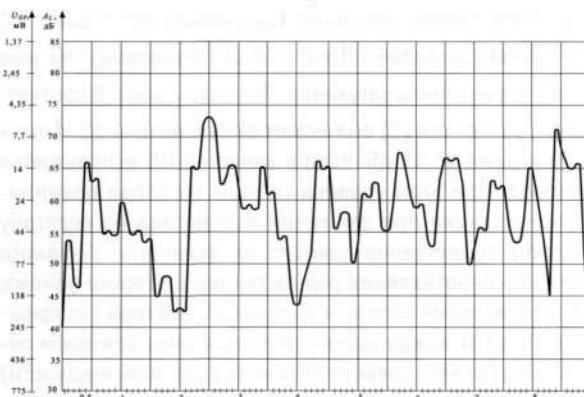


Рисунок 3 – Зависимость величины сигнала $U_{\text{ПР}}$ от расстояния r и от затухания A_{Σ}

тем больше дальность радиосвязи и уровень сигнала на перегоне.

Практика и данный анализ показывают, что уровень сигнала на станции может находиться в пределах $U_{\text{ПР}} = 50-200$ мВ ($A_{\Sigma} = 54-42$ дБ). Отсюда следует, что необходимо стремиться к тому, чтобы уровень сигнала на станции был не меньше $U_{\text{ПР}} = 100$ мВ ($A_{\Sigma} = 47$ дБ).

Из анализа зависимости рис. 2 и 3 также следует, что на дальность радиосвязи существенно влияет общее затухание A_{Σ} на том или ином участке железной дороги. Величина A_{Σ} особенно зависит от переходного затухания $A_{\text{ПЕР}}$, затухания почвы A_3 и от затухания соединительной линии между согласующим устройством и стационарной радиостанцией $\Sigma_{\text{ст}}$. По кривым рис. 2 и 3 можно определить участки уверенной радиосвязи, участки с минимально допустимым уровнем сигнала, а также зоны, где радиосвязь не удовлетворяет нормативным требованиям качества радиосвязи (слабая связь и/или «мертвая зона»).

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. Уровень сигнала на входе антенны (на выходе фидерной линии) по сравнению с уровнем выходного сигнала стационарной радиостанции (на входе фидерной линии) снижается в 5-12 раз (14-22 дБ). Уровень сигнала на входе антенны можно увеличить за счет снижения длины фидера l_{Φ} , которая не должна быть более $l_{\Phi} \geq 100$ м. В этом случае затухание $a_{\Phi} = l_{\Phi} \cdot a_{\Phi} < 0,8$ дБ (1,096, т. е. потери 9,6%). Если же $l_{\Phi} = 400$ м (реальная длина кабеля), то затухание $a_{\Phi} = 3,2$ дБ (1,445, т. е. потери 44,5%). Следовательно, в длинной фидерной линии потери энергии сигнала могут возрасти в среднем в 5 раз по сравнению с вариантом $a_{\Phi} = 0,8$ дБ.

2. Переходное затухание $A_{\text{ПЕР}}$ между проводами НЛ и антенной составляет $A_{\text{ПЕР}} = 30$ дБ (волновод). На наш взгляд, эта величина затухания $A_{\text{ПЕР}}$ завышена. В соответствии с расчетами [5] она может быть снижена до $A_{\text{ПЕР}} = 20$ дБ и даже до 10 дБ, если в качестве НЛ используется волновод. При этом уровень сигнала на входе приемника радиостанции при движении локомотива по перегону (участку) существенно зависит от величины активного входного сопротивления радиостанции в режиме приема, от сопротивлений потерь и излучения, фактора (коэффициента) связи между антенной и выходным контуром передатчика (от него зависит величина выходной мощности) и от сопротивления потерь в антенне и системе настройки [5]. Все это указывает на то, качественно ли проведены технологические работы по настройке радиоканала за счет ремонта и профилактики радиоаппаратуры.

3. В работе показана зависимость величины затухания A_{Σ} от типа почвы. При этом затухание за счет почвы может находиться в пределах $a_3 = 2-16$ дБ. Эта величина

затухания a_3 получена для волновода (синфазная запитка проводов). Среднее значение затухания равно $a_{3C} = 9$ дБ, минимальное $a_{3C} = 2$ дБ, а максимальное $a_{3C} = 16$ дБ. В инструкциях [3, 4] расчет дальности радиосвязи производится без учета влияния почвы a_{3C} .

4. При учете влияния почвы максимальная величина затухания $A_{\Sigma} = 86$ дБ (см. рис. 2, кривые 2, 1), минимальная величина затухания $A_{\Sigma} = 43$ дБ (см. рис. 2, кривая 3).

5. В данной работе расчет дальности поездной радиосвязи производится с учетом дополнительных затуханий – за счет экранирования $a_{\mathcal{E}}$, влияния почвы a_3 и изоляции в изоляторах a_u . Эти слагаемые потерь в методиках [3, 4] не учитывались, и поэтому расчет дальности поездной радиосвязи был не совсем точным. Предлагаемая методика расчета ПРС позволяет более точно определить уровень сигнала в любой точке перегона железной дороги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Художитков П.И. Анализ и оценка влияния геоэлектрических параметров почвы на волновой канал поездной радиосвязи // Информационные технологии, электронные системы и приборы железнодорожного транспорта: Сборник трудов. - Екатеринбург: УрГУПС, 2005. - Вып. 36 (119). - С. 132-147.
2. Художитков П.И. Анализ условий эксплуатации и режимов работы электрооборудования локомотивов и их влияние на надежность поездной радиосвязи: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Екатеринбург: УрГАПС, 1995. -22 с.
3. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи: ЦШ МПС № 4818. - М.: Транспорт, 1991. -94 с.
4. Правила организации и расчета сетей поездной радиосвязи открытого акционерного общества «Российские железные дороги» № Х3 7970. - М.: Транспорт, 2006. - 112 с.
5. Художитков П.И., Шамрай А.А., Пак А.М. Анализ и оценка переходного затухания между проводами направляющей линии и локомотивной антенной в системе поездной радиосвязи гектометрового диапазона волн // Молодые ученые - транспорту: Труды науч.-техн. конф. - Екатеринбург: УрГУПС, 2001. -Т.1.-С. 202-220.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Предложен метод повышения надежности и помехоустойчивости каналов связи, осуществляющих передачу, прием и преобразование информации в системах железнодорожной автоматики и телемеханики. Выполнен анализ процессов, показывающий эффективность предлагаемого метода.

Современные системы автоматики и телемеханики железнодорожного транспорта (СЖАТ) существенно усложнились. В наиболее значительной степени усложнение проявилось с возложением на СЖАТ функций управления не только устройствами СЦБ, но и управления перевозочными процессами [1]. Что привело к необходимости выполнения новых разработок и создания научных основ СЖАТ, позволяющих оптимизировать технико-эксплуатационные характеристики систем и реализовать их надежную работу при безусловном выполнении требований безопасности движения [2]. В значительной степени это относится к устройствам, которые реализуют передачу, прием и преобразование информации и осуществляют связи различных функциональных подсистем СЖАТ [3].

Повышение надежности функционирования и помехоустойчивости каналов связи возможно различными методами. В [4] предложен способ передачи информации, где в качестве сигнала-переносчика используется сложное шумоподобное колебание. Однако практически этот способ не был реализован. В теории информации известно, что чем сложнее сигнал, тем более он информативен и лучше противостоит помехам. Усложнение сигналов в отведенной для передачи полосе частот можно осуществить, во-первых, путем выбора для несущего колебания не одной

спектральной линии, а широкого спектра колебаний; во-вторых, воздействовать на несущее колебание не одним мгновенным значением модулирующего сигнала, а всеми его отсчетными значениями (выборками) на относительно длинном отрезке.

Рассмотрим линейную систему с переменными параметрами, передаточной функцией которой управляет модулирующее колебание (рис. 1). Отрезок этого колебания длительностью T_S и числом степеней свободы $2F_S T_S$ устанавливает на время T_S свою передаточную функцию для несущего колебания. Несущее колебание представляет собой периодически повторяющееся шумоподобное колебание. Единственное ограничение, накладываемое на него, – соблюдение неравенства $FT \geq F_S T_S$. За время T_S через систему пройдет несколько периодов несущего колебания. Благодаря этому на приеме можно организовать синхронное накопление. Следующий отрезок такой же длительности установит свою передаточную функцию на время T_S и т. д. Очевидно, что сигнал $x(t)$ в канале является сверткой $y(t)$ и $s(t)$, матричная форма записи которой соответствует уравнению, приведенному на рис. 1. Каждое отсчетное значение сигнала $x(t)$ в канале

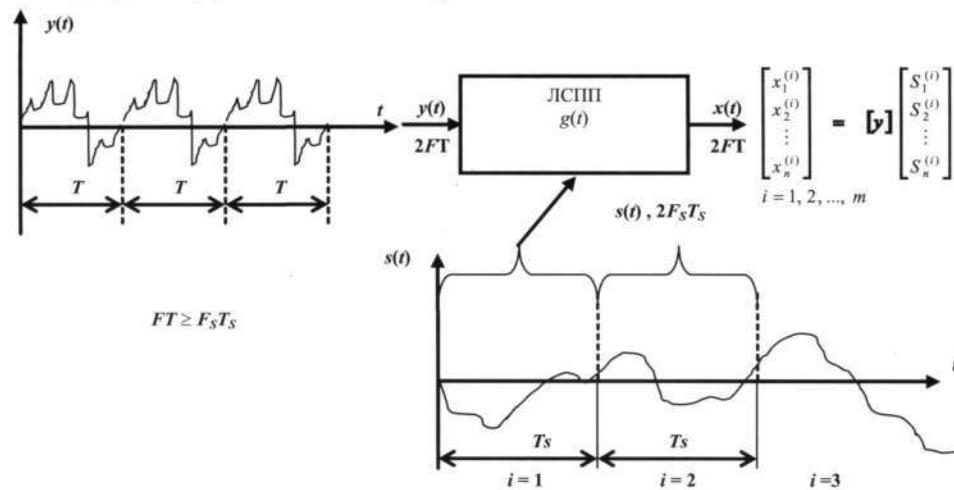


Рисунок 1 – Пояснение принципа модуляции

связи есть результат линейного взаимодействия всех степеней свободы несущего колебания со всеми степенями свободы i -го отрезка модулирующего колебания, т. е. в каждом отсчетном значении сигнала в канале содержится информация об отрезке в целом.

Пусть требуется передавать дискретные сообщения $s^{(i)}(t)$, характеризующиеся числом степеней свободы $2F_s^{(i)}T_s^{(i)}$. Выберем в качестве несущего колебания периодический сигнал $y(t)$ с периодом T и числом степеней свободы $2FT$. Для всех i должно выполняться условие

$$F_s^{(i)}T_s^{(i)} \leq FT. \quad (1)$$

Для осуществления модуляции на вход линейной системы подадим несущее колебание $y(t)$, а импульсную характеристику $s(t)$ будем задавать так, чтобы она в отсчетных точках на оси времени воспроизводила отсчетные значения сигнала $s^{(i)}(t)$, когда передается i -е сообщение. Тогда сигнал на выходе можно записать следующим образом:

$$\hat{s}^{(i)}(t) = \int_0^T y(t-\tau) s^{(i)}(\tau) d\tau; \\ \begin{cases} T \leq t < 2T & \text{при } i = 1 \\ 2T \leq t < 3T & \text{при } i = 2 \\ \dots \\ mT \leq t < (m+1)T & \text{при } i = m. \end{cases} \quad (2)$$

Выбор периода повторения и спектра несущего колебания $y(t)$ произведен в рамках неравенства (1). Этот выбор определяет и местоположение спектра сигнала $x(t)$ на оси частот.

Пусть количество отсчетных значений несущего колебания, взятых через $\Delta t = 1/2F$ на интервале T , равно $(n+1)$. Столько же отсчетных значений на этом интервале будет и у сигнала $x(t)$. Количество отсчетных значений у сигналов $s^{(i)}(t)$, взятых через такие же интервалы, учитывая неравенство (1), будет не меньше числа степеней свободы каждого из них. Будем обозначать эти отсчетные значения индексами внизу. Если у всех функций оставить только значения в этих отсчетных точках, то интеграл (2) можно расписать в виде системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \hat{o}_1^{(i)} &= y_n s_1^{(i)} + y_{n-1} s_2^{(i)} + \dots + y_1 s_n^{(i)} \\ \hat{o}_2^{(i)} &= y_1 s_1^{(i)} + y_n s_2^{(i)} + \dots + y_2 s_n^{(i)} \\ \dots \\ \hat{o}_n^{(i)} &= y_{n-1} s_1^{(i)} + y_{n-2} s_2^{(i)} + \dots + y_n s_n^{(i)} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Отсчетные значения сигнала $x(i)$ появляются на выходе модулятора через интервалы Δt в реальном мас-

штабе времени так, что за время T выдается вся последовательность отсчетов, принадлежащих i -му сообщению.

После появления последнего отсчетного значения $\hat{o}_n^{(i)}$, согласно алгоритму (2), во всей системе уравнений (3) меняется индекс i и передается следующее сообщение и т. д. Запишем систему уравнений (3) в матричной форме

$$\begin{bmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ \vdots \\ x_n^{(i)} \end{bmatrix} = [y] \begin{bmatrix} s_1^{(i)} \\ s_2^{(i)} \\ \vdots \\ s_n^{(i)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, m.$

Матрица $[y]$ квадратная n -го порядка, и все строки ее получаются из первой путем циклических перестановок. Первая строка матрицы $[y]$ может быть произвольным набором чисел. Соответственно и сигнал $y(t)$ может иметь произвольную форму. Это позволяет при передаче любых сигналов выбирать независимо несущее колебание так, чтобы оптимизировать систему по какому-либо критерию, а при отображении передаваемых сообщений сигналами выбирать сигналы так, чтобы оптимизировать систему по тому же или иному критерию.

Для выделения модулирующего колебания $s^{(i)}(t)$ принятый сигнал $x^{(i)}(t)$ на фоне аддитивной помехи $n(t)$ должен быть подвергнут линейному преобразованию вида

$$z(t) = \int_0^T \int_0^T y(t-\theta-\tau) s(\tau) g(\theta) d\tau d\theta + \int_0^T n(t-\theta) g(\theta) d\theta, \quad (5)$$

где $g(t)$ – импульсная характеристика демодулятора.

Модем, у которого импульсная характеристика демодулятора и несущее колебание выбраны из условия минимизации среднеквадратичного отклонения сигнала $z(t)$ на выходе от модулирующего колебания $s(t)$, назовем адаптированным к помехам в канале. Как показано в [5], у адаптированного модема характеристика демодулятора определяется выражением

$$g(t) = \frac{K_0}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \sqrt{N_m - N(\omega)} e^{-j\psi(\omega)} e^{j\omega t} d\omega, \quad (6)$$

где K_0 – постоянное число;

$N(\omega)$ – энергетический спектр помех в канале;

N_m – постоянное число, превышающее пиковое значение $N(\omega)$;

$\Psi(\omega)$ – произвольный фазовый спектр, а несущее колебание связано с импульсной характеристикой демодулятора матричным соотношением

$$[y] = [g]^{-1}, \quad (7)$$

где матрица $[g]$ построена из отсчетных значений импульсной характеристики демодулятора на интервале T путем циклических перестановок.

Отсчетные значения импульсной характеристики $g(t)$ могут быть найдены по ее преобразованию Фурье с помощью формул

$$g_v = \frac{2}{T} \left[\frac{A_0}{2} + (-1)^v \frac{A_{FT}}{2} + \sum_{k=1}^{FT-1} \left(A_k \cos \frac{2\pi k v}{2FT} + B_k \sin \frac{2\pi k v}{2FT} \right) \right]. \quad (8)$$

Первая строка матрицы $[y]$, полученной из соотношения (7), представляет отсчетные значения несущего колебания на периоде T .

Проходя через демодулятор с импульсной характеристикой $g(t)$, сигнальная составляющая $x(t)$ принятого колебания преобразуется в модулирующее колебание согласно выражению

$$\begin{bmatrix} s_1^{(i)} \\ s_2^{(i)} \\ \vdots \\ s_n^{(i)} \end{bmatrix} = [g] \begin{bmatrix} x_1^{(i)} \\ x_2^{(i)} \\ \vdots \\ x_n^{(i)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, m$.

Составляя систему уравнений по этому матричному равенству и переходя от системы уравнений к интеграло-свертке для непрерывных функций, получим следую-

щий алгоритм работы демодулятора линейного модема:

$$s^{(i)}(t-T) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_i^{(i)}(\tau, T) x^{(i)}(T-\tau) g(3T-t-\tau) d\tau \quad (10)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, m$,

где $\mu_i^{(i)}(\tau, T)$ — сканирующая функция, обладающая следующими свойствами:

$$\mu_i^{(i)}(\tau, T) = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq \tau < T \text{ и } T \leq t < 2T; \\ 0 & \text{при всех других } \tau \text{ и } T. \end{cases}$$

На рис. 2а показана схема, реализующая алгоритм модуляции. Несущее колебание в этой схеме модулируется всеми возможными передаваемыми сообщениями сразу, а коммутатор выдает на выход только то модулированное колебание, которое соответствует передаваемому в данный момент сообщению.

Сканирующая функция реализуется в демодуляторе с помощью сканирующего коммутатора (рис. 2б), который в моменты времени $t = iT$ подключает первые n отводов линии задержки к входам сумматора, а затем через интервалы Δt добавляет по одному отводу справа и разрывает по одному отводу слева так, что группа из n подключенных к входам сумматора отводов линии задержки продвигается от начала к концу, сопровождая продвигающийся по ней сигнал.

Если весовые коэффициенты на отводах линии задержки воспроизводят первую строку и первый столбец матрицы $[g]$, прочитанные справа налево и вниз, то эта схема будет реализовывать алгоритм (10).

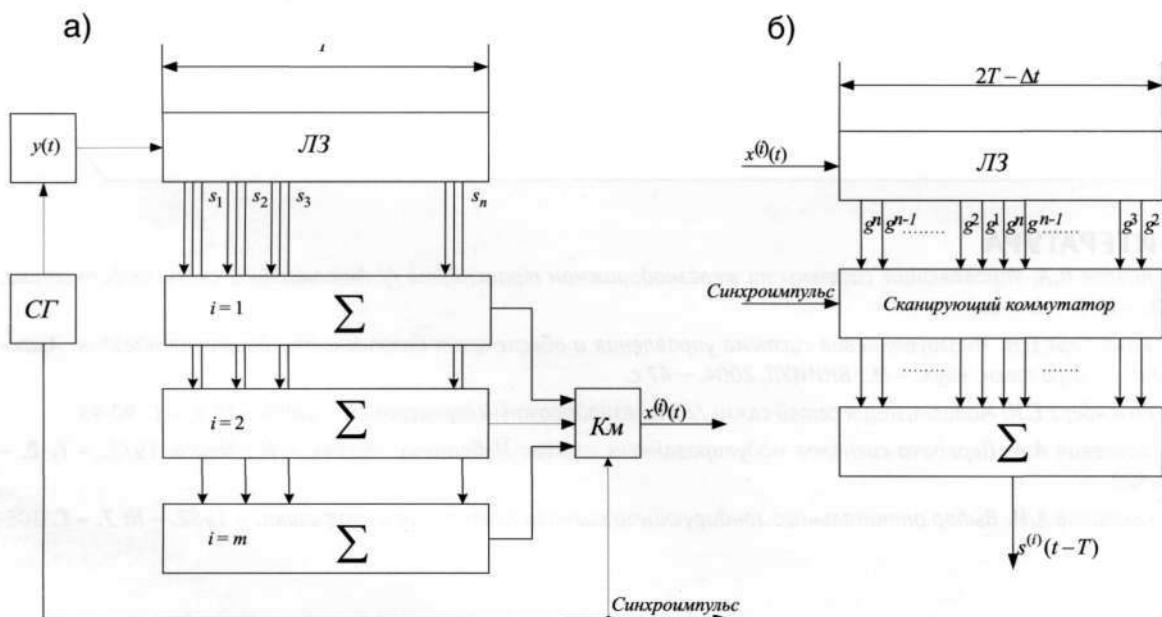


Рисунок 2 – Модем для передачи дискретных сообщений

Можно показать, что отношение сигнал/помеха на выходе демодулятора равно

$$\left(\frac{c}{n}\right)_{\text{вых}} = \frac{P_{c\text{вых}}}{P_{n\text{вых}}} = \frac{\frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega) d\omega}{\frac{1}{4} \int_{-\infty}^{\infty} N(\omega) [N_m - N(\omega)] d\omega}, \quad (11)$$

а выигрыш отношения сигнал/помеха равен

$$B = \left(\frac{c}{n}\right)_{\text{вых}} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega) d\omega \int_{-\infty}^{\infty} N(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} N(\omega) [N_m - N(\omega)] d\omega \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S^2(\omega)}{N_m - N(\omega)} d\omega}. \quad (12)$$

Видим, что: 1) выигрыш тем больше, чем более неравномерен энергетический спектр помех; 2) при заданной мощности сигнала $S(t)$ выигрыш может быть реализован подбором структуры сигнала за счет целенаправленного формирования шумоподобного несущего колебания.

Таким образом, предлагаемый метод передачи и преобразования информации позволяет повысить надежность и помехоустойчивость каналов связи в системах СЖАТ. Он подтвержден рядом экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов П.А. Управляющие системы на железнодорожном транспорте // Автоматика, связь, информатика. -2003.-№ 1.- С. 4-5.
2. Розенберг Е.Н. Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов: Автoref. дис. ... д-ра техн. наук. - М.: ВНИИУП, 2004. - 47 с.
3. Розенберг Е.Н. Модернизация сетей связи//Железнодорожный транспорт. - 1999. - № 9. - С. 92-93.
4. Харкевич А.А. Передача сигналов модулированным шумом: Избранные труды. - М.: Наука, 1973. - Т. 2. - С. 524-529.
5. Самойлов А.И. Выбор оптимального зондирующего сигнала// Геология и геофизика. - 1982. - № 7. - С. 105-112.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОДЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ПОЛУВАГОНОВ

По состоянию на начало 2007 г. общий парк полуваагонов России насчитывает около 316 тыс. единиц. Из них большинство находится в инвентарном парке ОАО «РЖД» - примерно 80%, или 254 тыс. единиц. При этом средний возраст парка составляет 19 лет при назначенном сроке службы полуваагона 22 года. Ежегодно истекает срок службы более чем у 32 тыс. полуваагонов [1], поэтому в условиях существующего недостатка полуваагонов особую роль играет восстановление ресурса полуваагона при его капитальном ремонте.

Анализ технического состояния полуваагонов парка ОАО «РЖД» показал, что 47% могут быть допущены в эксплуатацию на срок от 3 до 5 лет после проведения капитального ремонта [2, 3]. Традиционно срок продления определяется экспертным путем, но такой способ оценки остаточного ресурса достаточно субъективен. Объективнее определять срок на основании экспериментальных или расчетных данных.

В настоящее время накоплен большой объем экспериментальных данных по испытаниям и эксплуатационной надежности полуваагонов. Это позволяет обоснованно использовать только расчетные способы. Таким образом, совершенствование методики оценки технического состояния полуваагонов и расчетного обоснования продления их срока службы является актуальным.

В связи с этим разработана усовершенствованная методика технического диагностирования полуваагонов, основной особенностью которой является то, что остаточный срок службы полуваагона предлагается определять исходя из расчетов прочности, устойчивости и остаточного ресурса. Это по сравнению с экспертной оценкой существенно повышает достоверность выбранного решения по назначению нового срока службы полуваагона. Кроме того, методика позволяет определять остаточный срок службы с одинаковой достоверностью для любого количества вагонов, представленных на техническое диагностирование.

В соответствии с предлагаемой методикой предусмотрены четыре основных этапа (рис. 1): 1 этап – подготовительный; 2 этап – экспертный; 3 этап – расчетно-экспериментальный; 4 этап – заключительный.

Первые два этапа являются обязательными при техническом диагностировании вагонов. На первом этапе назначается комиссия экспертов для проведения работ по техническому диагностированию. С целью обоснования выбора объема ремонта и приведения полуваагона в работоспособное состояние для продления срока службы в методике предусмотрена оценка и прогнозирование интенсивности эксплуатации полуваагона.

В соответствии с методикой проводится оценка условий эксплуатации, которая учитывает такие факторы, как интенсивность эксплуатации (пробег полуваагона, коэффициент порожнего пробега), номенклатура перевозимых грузов, пункты и условия погрузки-выгрузки.

Важным этапом является анализ технической документации, который включает в себя проверку паспортов на вагон, проверку соответствия номера модели, на которые распространяется методика, анализ сроков проведения периодических плановых ремонтов.

На втором этапе работ производится наружный и внутренний осмотр полуваагона, позволяющий выявить несоответствия конструкторской документации, которые произошли в ходе эксплуатации. К таким несоответствиям относятся трещины, изменение размеров и формы элементов, наличие деталей, не предусмотренных конструкторской документацией, и другие видимые дефекты конструкции. Все выявленные несоответствия учитываются при расчетной оценке остаточного ресурса вагона.



Рисунок 1 – Последовательность работ по техническому диагностированию и продлению срока службы полуваагонов

Для оценки уменьшения толщины элементов рамы, которое произошло в процессе эксплуатации полуавтона, проводится исследование коррозионного износа при помощи ультразвуковой толщинометрии, что позволяет определить на ранней стадии наиболее слабые элементы и соответственно снижение прочностных характеристик конструкции полуавтона.

С целью обнаружения внутренних и поверхностных дефектов в сварных соединениях и основном металле в соответствии с методикой предусмотрен неразрушающий контроль, который выполняется при помощи ультразвуковой дефектоскопии. Обнаруженные дефекты устраняются путем ремонта или замены детали, в случае отсутствия возможности или нецелесообразности устранения дефекта вагон бракуется и дальнейшей эксплуатации не подлежит.

Обоснование вида и объема ремонта, а также возможности продления срока службы выполняется на основе анализа имеющихся повреждений и неисправностей полуавтона. Для выявленных неисправностей проводится экспертная оценка причин их появления: неисправности, возникшие в процессе эксплуатации (рис. 2а); неисправности, вызванные особенностями конструкции или дефектами производства (рис. 2б); неисправности, вызванные несоблюдением правил эксплуатации (рис. 2в, г).



Рисунок 2 – Характерные повреждения кузова полуавтона

Выявление причин появления неисправностей позволяет более точно оценить вид и объем ремонта. Одно из важных направлений анализа повреждений – выявление дефектов и повреждений, которые в момент контроля не являются критическими, но могут за период планируемой эксплуатации достичь значений, выходящих за пределы допустимых.

На третьем этапе работ производится оценка и прогнозирование остаточного срока службы полуавтона с учетом

отремонтированных и замененных элементов. В соответствии с разработанной методикой предусмотрена оценка остаточного срока службы на основании расчетов.

При определении остаточного срока службы расчетным путем проводят расчет прочности на соответствие вагона требованиям «Норм...» [4]. В рассматриваемой методике предусмотрено использование специализированного программного вычислительного комплекса ANSYS, реализующего метод конечных элементов, для расчетов прочности конструкции кузова. При построении расчетной модели рекомендуется применять пространственные пластинчатые четырехузловые (рис. 3а) или восьмиузловые (рис. 3б) конечные элементы.

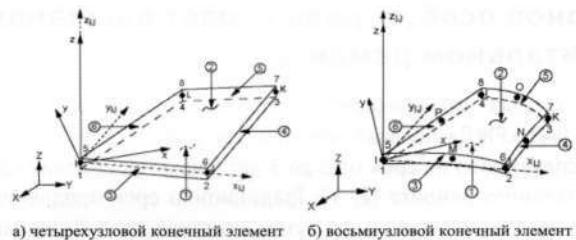


Рисунок 3 – Пространственные пластинчатые конечные элементы

Применение таких конечных элементов, в отличие от балочных, позволяет достаточно точно оценить напряженное состояние не только в пролетах балок, но и в местах их соединения, а также в местах приложения нагрузок. Путем проведения исследовательских расчетов установлено, что применение твердотельных конечных элементов не приводит к повышению точности расчета, но при этом увеличивает время вычислений. С целью уточненного анализа прочности конструкции полуавтона в зонах соединения элементов производится локальное измельчение сетки конечных элементов. Пример конечно-элементной расчетной модели полуавтона показан на рис.4.

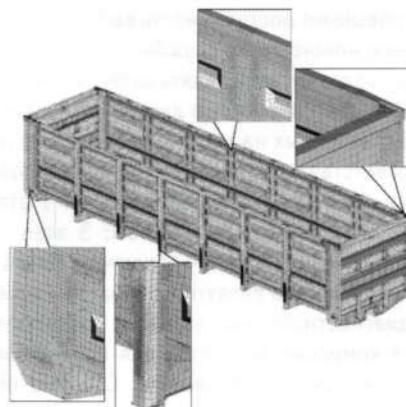


Рисунок 4 – Конечно-элементная расчетная модель полуавтона с сеткой конечных элементов



В расчетах прочности, согласно разработанной методике, учитывается реальная толщина элементов на момент проведения диагностирования, а также прогнозируемое уменьшение толщины металла за вновь назначенный срок службы полуавтона и изменения, которые внесены в конструкцию в результате ремонта полуавтона.

С целью прогноза коррозионного износа элементов полуавтона проведены дополнительные исследования по определению фактической скорости коррозии. На основании результатов исследований установлено, что фактическая скорость коррозии меньше нормативной (рис. 5). Поэтому в методике используются данные о прогнозировании коррозионного износа, полученные в результате исследования.

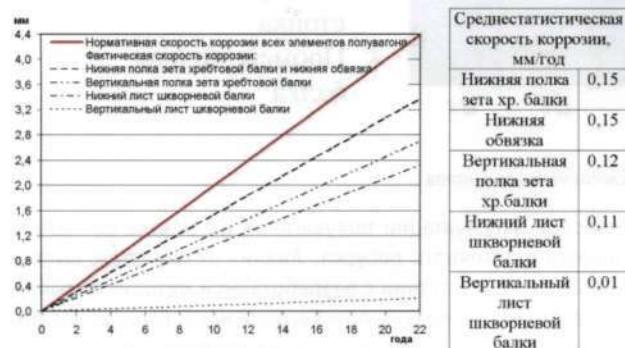


Рисунок 5 – Нормативная и фактическая скорость коррозии основных несущих элементов полуавтона

В расчете прочности конструкции полуавтона использованы режимы нагружения, принятые в «Нормах...» [4]. Оценка прочности производится путем сравнения расчетных эквивалентных напряжений с допускаемыми значениями σ (рис. 6).

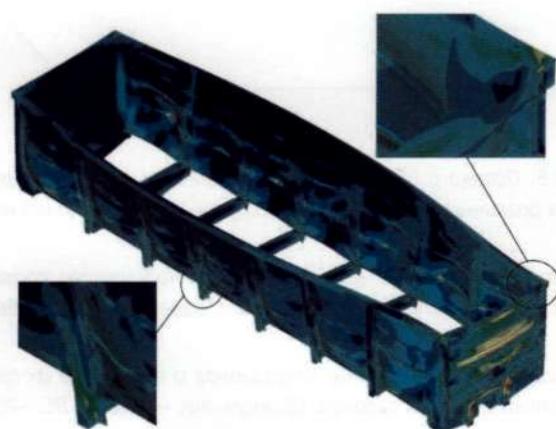


Рисунок 6 – Распределение полей эквивалентных напряжений в элементах кузова полуавтона

Для оценки возможности конструкции выдерживать нагрузки с учетом уменьшения толщины металла несущих элементов предусмотрен расчет устойчивости в соответствии с «Нормами...» для наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок по формулам:

$$n_y = \frac{\sigma_{kp}}{\sigma} \geq [n_y] \quad \text{или} \quad n_y = \frac{\tau_{kp}}{\tau} \geq [n_y]$$

где σ_{kp} и τ_{kp} – критические напряжения сжатия и сдвига;

σ и τ – напряжения сжатия и сдвига элемента из расчета на прочность.

В соответствии с разработанной методикой оценка остаточного ресурса вагона T_k выполняется по формуле:

$$T_k = \frac{\left(\frac{\sigma_{a,N}}{[n]} \right)^m \cdot N_o}{N_{ci} \cdot \sum_j (\sigma_{a_i}^I)^m \cdot P_j^I + N_{cII} \cdot \sum_k (\sigma_{a_{ki}}^H)^m \cdot P_k^H}$$

В качестве исходных данных для расчета усталостной прочности используются значения динамических напряжений в исследуемых точках конструкции полуавтона, полученные по результатам расчета прочности.

В общем случае, для того чтобы оценить остаточный ресурс полуавтона, необходимо провести расчет усталостной прочности по всем его элементам. С целью сокращения количества рассматриваемых элементов проведено обследование по выявлению наиболее поврежденных и нагруженных элементов конструкции (рис. 7), на основании которого определены элементы, для которых рассчитывается остаточный ресурс. Обследование проведено по 307 полуавтона с истекшим сроком службы. При обследовании определялись вероятности отказов элементов конструкции P_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$, где N – количество элементов) по формуле:

$$P_i = \frac{\sum_1^k \frac{R_H}{R}}{k},$$

где k – количество обследованных вагонов;

R_H – количество неисправных элементов одного типа в вагоне;

R – общее количество элементов одного типа.

Поэтому расчет остаточного ресурса проводится только по наиболее нагруженным в эксплуатации элементам. Для каждого выбранного элемента полуавтона рассчитывают свой срок службы T_{Ki} ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)

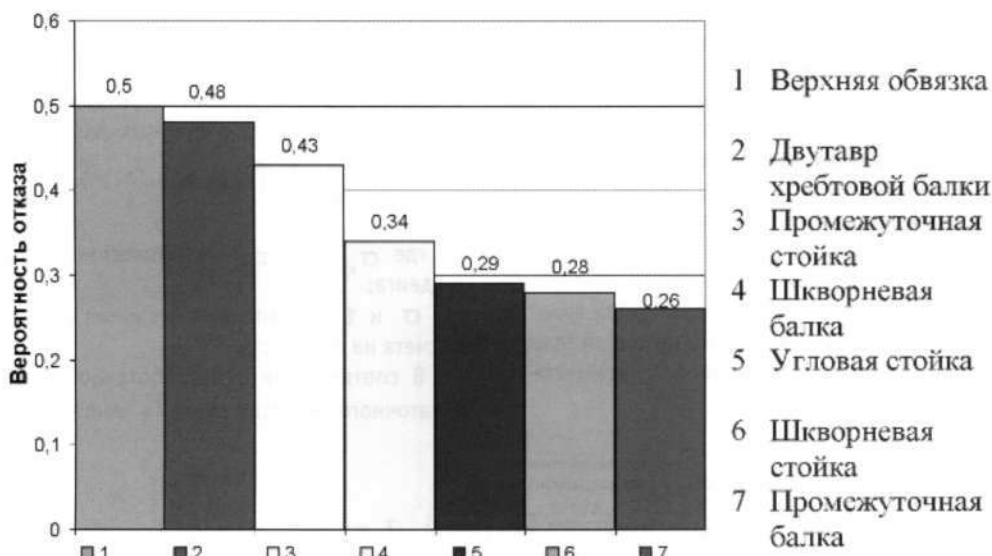


Рисунок 7 – Вероятности отказов наиболее повреждаемых элементов

где N – количество элементов). Остаточный срок службы определяется как минимальное значение из множества сроков службы каждого выбранного элемента

$$T_k = \min\{T_{k1}, T_{k2}, T_{k3} \dots T_{kN}\}.$$

На заключительном этапе работ по техническому диагностированию и продлению срока службы оформляется техническое решение, на основе которого полуваагоны либо исключаются из инвентарного парка, либо срок их службы продлевается.

Таким образом, на основе разработанной методики возможно выполнение работ по определению срока без-

опасной эксплуатации полуваагонов на основе расчетной оценки остаточного ресурса. Анализ результатов, выполненных в соответствии с разработанной методикой работ, показал, что около 85% полуваагонов могут быть допущены в эксплуатацию после проведения капитального ремонта, из них 56% может быть продлено на 5 лет, 43% – на 4 года, 1% – менее чем на 3 года.

Апробация методики в период с марта по ноябрь 2007 г. доказала ее работоспособность. Методика внедрена на Барнаульском (490 вагонов) и Рославльском (1 346 вагонов) вагоноремонтных заводах, а в настоящее время внедряется в вагоноремонтных депо по всей сети ОАО «РЖД».

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюцкий А.А., Кякк К.В., Федоров С.А., Почитало в Ю.В. Оценка и обоснование потребности компаний сферы железнодорожной транспортировки грузов в грузовых вагонах различных типов на перспективу до 2010 года: Отчет о НИР. - СПб: ИЦ ВС, 2007. - 22 с.
2. Донченко А.В., Трубачев Ю.А., Назаренко К.В. Диагностика грузового и пассажирского подвижного состава //Проблемы механики ж.д. транс-та: Труды X Междунар. конф. - Секция 4. Прочность, надежность, диагностика. - Днепропетровск, 2000. - С. 173-174.
3. Дроздов А.Ф., Афанасьев А.Е., Битюцкий Н.А. Техническое диагностирование полуваагонов и продление их срока службы// Совершенствование методов испытаний и диагностики грузовых вагонов: Сб. науч. тр. - СПб: ИЦ ВС. -2007. - Вып. 2. - С. 79-89.
4. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. -317 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ПРИВОДОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассматриваются вопросы применения полупроводниковых приборов в системах управления тяговым приводом электрического подвижного состава постоянного тока. Пояснена методология синтеза электронных систем управления тяговым приводом для режимов тяги и электрического торможения.

Для увеличения числа ходовых ступеней скорости на всех современных электровозах и моторных вагонах применяют регулирование возбуждения тяговых двигателей постоянного тока шунтированием обмоток возбуждения сопротивлением, импульсным регулированием возбуждения и выключением части витков обмотки возбуждения. При шунтировании обмоток возбуждения только активным сопротивлением резкое повышение напряжения сети может привести к существенному уменьшению коэффициента ослабления возбуждения в переходном режиме, так как нарастающий ток в цепи тяговых двигателей проходит преимущественно через шунт, поскольку нарастанию тока в цепи обмоток возбуждения препятствует их большое индуктивное сопротивление. Увеличение тока якоря при относительно малом изменении тока возбуждения ухудшает условия коммутации тяговых двигателей. Это особенно опасно при восстановлении полного напряжения после его снятия (например, в результате отрыва токоприемника от контактного провода и последующего восстановления контакта).

Для устранения этих явлений на современном электроподвижном составе используется индуктивный шунт. Разветвление тока якоря в отношении β и $1 - \beta$ между обмоткой возбуждения и шунтирующей цепью при переходных процессах обеспечивается определенным соотношением индуктивностей этих цепей. Для нестационарного режима уравнение $I_B \cdot R_B = I_{sh} \cdot R_{sh}$ примет вид

$$i_B \cdot R_B + L_B \cdot \frac{di_B}{dt} = i_{sh} \cdot R_{sh} + L_{sh} \cdot \frac{di_{sh}}{dt}$$

где L_B и L_{sh} – индуктивность обмотки возбуждения двигателя и индуктивного шунта соответственно;

R_{sh} – суммарное омическое сопротивление шунтирующей цепи.

Согласно поставленному выше условию, требуется, чтобы во время переходного процесса сохранялись равенства:

$$i_B = \beta \cdot i_{sh}$$

$$i_{sh} = (1 - \beta) \cdot i_A,$$

откуда

$$\beta \cdot i_B \cdot R_B + L_B \cdot \beta \cdot \frac{di_A}{dt} = (1 - \beta) \cdot i_A \cdot R_{sh} + L_{sh} \cdot (1 - \beta) \cdot \frac{di_A}{dt};$$

$$\beta \cdot i_A \cdot R_B = (1 - \beta) \cdot i_A \cdot R_{sh},$$

откуда

$$\beta \cdot L_B = (1 - \beta) \cdot L_{sh};$$

$$L_{sh} = \frac{\beta}{1 - \beta} \cdot L_B. \quad (1)$$

Для машин с насыщенной магнитной системой индуктивность обмотки возбуждения

$$L_B = a \cdot w \cdot \frac{d\Phi}{dl_B} \cdot 10^{-8},$$

где a – коэффициент меньший единицы, учитывающий размагничивающее влияние вихревых токов, наводимых в массивном остове двигателя;

w – число витков обмотки возбуждения [1, 2].

Чтобы сохранить соотношение (1) при любом значении тока возбуждения L_B , индуктивность шунта L_{sh} и его поток Φ_{sh} должны изменяться пропорционально потоку двигателя,

$$\Phi_{sh} = \frac{a \cdot w}{w_{sh}} \cdot \Phi,$$

где w_{sh} – число витков обмотки индуктивного шунта.

В этом случае при восстановлении напряжения большая часть тока якоря пройдет через обмотки возбуждения, двигатель перейдет в режим полного возбуждения, и в дальнейшем режим ослабления возбуждения постепенно восстановится. Вследствие действия вихревых токов практически невозможно избежать толчка тока в якоре при нестационарных режимах [3].

В отличие от индуктивного шунта полупроводниковые «ключи» имеют два состояния – открытое и закрытое. В открытом состоянии, кроме омического сопротивления на приборах, имеется прямое падение напряжения $U_{T(tot)}$. Для современных силовых тиристоров, рассчитанных на напряжение 4 кВ и более, величина $U_{T(tot)} = 1,3-1,4$ В, что

накладывает ограничения на проектирование схем тиристорных шунтов (рис. 1).

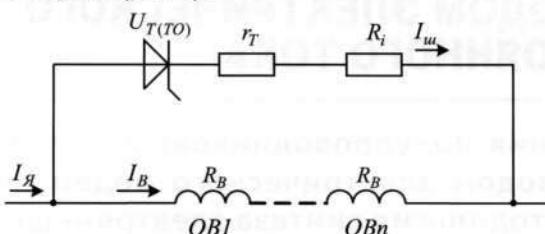


Рисунок 1 – Расчетная схема тиристорного шунта

Для схемы рис.1 в стационарном режиме

$$I_B \cdot n \cdot R_B = I_A \cdot R_i - I_B \cdot R_i + U_{T(TO)} + I_A \cdot r_T - I_B \cdot r_T,$$

где r_T – динамическое сопротивление тиристора в открытом состоянии;

R_i – сопротивление i -й ступени резистора ослабления возбуждения;

R_B – сопротивление обмотки возбуждения тягового двигателя;

n – число последовательно включенных обмоток возбуждения.

$$\sum R_u = R_i + r_T;$$

$$I_B \cdot n \cdot R_B = I_A \cdot \sum R_u - I_B \cdot \sum R_u + U_{T(TO)};$$

$$\frac{I_B \cdot (n \cdot R_B + \sum R_u)}{I_A} = \sum R_u + \frac{U_{T(TO)}}{I_A}; \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\sum R_u}{n \cdot R_B + \sum R_u} + \frac{U_{T(TO)}}{I_A \cdot (n \cdot R_B + \sum R_u)} = \beta_0 + \beta_{\text{доб}}.$$

В уравнении (2) β_0 – коэффициент ослабления возбуждения, учитывающий влияние сопротивлений R_i и r_T , $\beta_{\text{доб}}$ – составляющая коэффициента ослабления возбуждения, учитывающая влияние падения напряжения на тиристоре. Величина $\beta_{\text{доб}}$ зависит от параметров тиристора, тяговых двигателей и резисторов в цепи ослабления возбуждения.

Из табл. 1 видно, что с увеличением мощности тягового двигателя падение напряжения на сопротивлении обмоток главных полюсов уменьшается и приближается к напряжению на открытом тиристоре $U_{T(TO)}$, а влияние тиристора на величину коэффициента ослабления возбуждения увеличивается.

Для получения штатной величины коэффициента ослабления возбуждения необходимо откорректировать значения сопротивлений резисторов ослабления возбуждения каждой ступени

$$R_i = \frac{\beta_i \cdot n \cdot R_B}{(1 - \beta_i)} - \frac{U_{T(TO)}}{I_{A\max} \cdot (1 - \beta_i)} - r_T,$$

где β_i – коэффициент ослабления возбуждения на i -й ступени.

Для исключения возможности дополнительного ослабления возбуждения двигателя расчеты сопротивления

Таблица 1

Показатель	Вид ЭПС				
	ЭР2	ЭТ2	ВЛ10	ВЛ11	ВЛ15
Тип тягового электродвигателя	УРТ-110А	1ДТ-003.8У1	ТЛ-2К1		ТЛ-3
Ток часового режима, А	146	345	480	480	500
Сопротивление обмоток главных полюсов при температуре 20°C, Ом	0,182	0,0178	0,025	0,025	0,0192
Падение напряжения на сопротивлении обмоток главных полюсов, В	26,6	6,1	12	12	9,6
Мощность часового режима, кВт	200	235	670	670	750
Тип индуктивного шунта	ИШ-104А	ИШИ.001	ИШ-2К	ИШ-063	ИШ-029
Номинальный ток индуктивного шунта, А	35	165	300	310	400
Сопротивление индуктивного шунта, Ом	0,352	0,045	0,0306	0,0236	0,0168
Масса индуктивного шунта, кг	295	555	580	580	610
					526

R_i ступени ослабления возбуждения необходимо производить при максимальном значении тока якоря $I_{\text{я, max}}$.

Применение IGBT-транзистора вместо тиристора увеличит $\beta_{\text{доб}}$ так как падение напряжения на открытом транзисторе (напряжение насыщения U_{CESat}) для приборов, рассчитанных на напряжение 3,3 кВ, составляет

$U_{\text{CESat}} = 3,3\text{-}3,4 \text{ В}$ [4]. В настоящее время компания Mitsubishi Electric разработала новейшую канавочную технологию TRENCH IGBT-модулей (класс F), благодаря которой достигнуто чрезвычайно низкое напряжение насыщения $U_{\text{CESat}} = 1,8 \text{ В}$ для приборов, рассчитанных на напряжение 1200 В. Их применение является перспективным в схемах управления тяговыми двигателями. На рис. 2 приведены следующие характеристики тягового двигателя ТЛ2К1:

1 – характеристика полного возбуждения;
2, 4, 6 и 7 – характеристики ослабления возбуждения 1, 2, 3 и 4 ступеней соответственно при включении в шунтирующую цепь тиристора;

3, 5, 8 и 9 – характеристики ослабления возбуждения 1, 2, 3 и 4 ступеней соответственно при включении в шунтирующую цепь индуктивного шунта.

На рис. 3 приведены характеристики 1-4 ступени ослабления возбуждения при включенном тиристоре, которые показывают влияние падения напряжения на полупроводниковом приборе, особенно в зоне малых токов.

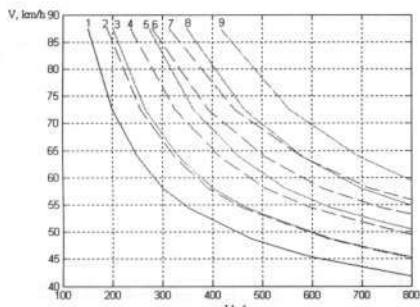


Рисунок 2 – Характеристики тягового двигателя ТЛ2К1 при включении в шунтирующую цепь тиристора,
 $Ud = 1500 \text{ В}$

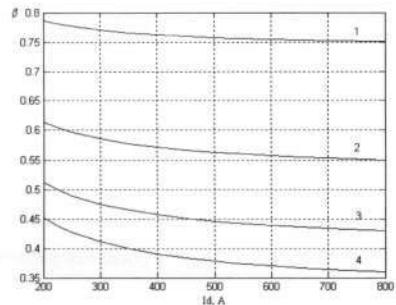


Рисунок 3 – Зависимость $\beta = f(Id)$ при включении в шунтирующую цепь тиристора

В схемах электрического (реостатного и рекуперативного) торможения с импульсным регулированием осуществляется одновременное регулирование тормозного реостата или напряжения (соответственно) и возбуждения. На рис. 4а приведена расчетная схема реостатного торможения и рассмотрены ее особенности

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

Здесь I_B , $I_{\text{я}}$, λ – средние значения токов возбуждения, якоря и коэффициент заполнения. Для интервала включенного состояния прерывателя (рис. 4б – режим 1):

$$L_B \cdot \frac{di_{B1}}{dt} + R_B \cdot i_{B1} - R_m \cdot i_{m1} = 0; \quad (3)$$

$$L_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}1}}{dt} + R_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}1} + R_T \cdot i_{T1} = e_1; \quad (4)$$

$$R_m \cdot i_{m1} - R_T \cdot i_{T1} = 0; \quad (5)$$

$$i_{\text{я}1} = i_{B1} + i_{m1} + i_{T1}. \quad (6)$$

Согласно рис. 4в, для интервала выключенного состояния прерывателя (режим 2):

$$L_{\text{я}} \cdot \frac{di_{\text{я}2}}{dt} + (R_{\text{я}} + R_T) \cdot i_{\text{я}2} = e_2; \quad (7)$$

$$L_B \cdot \frac{di_{B2}}{dt} + R_B \cdot i_{B2} = 0. \quad (8)$$

Из уравнений (3), (5) и (6) получаем:

$$L_B \cdot \frac{di_{B1}}{dt} + (R_B + R_3) \cdot i_{B1} - R_3 \cdot i_{\text{я}1} = 0; \quad (9)$$

$$R_3 = \frac{R_m \cdot R_T}{R_m + R_T},$$

где R_W и R_T – сопротивления резисторов ослабления возбуждения и тормозного реостата.

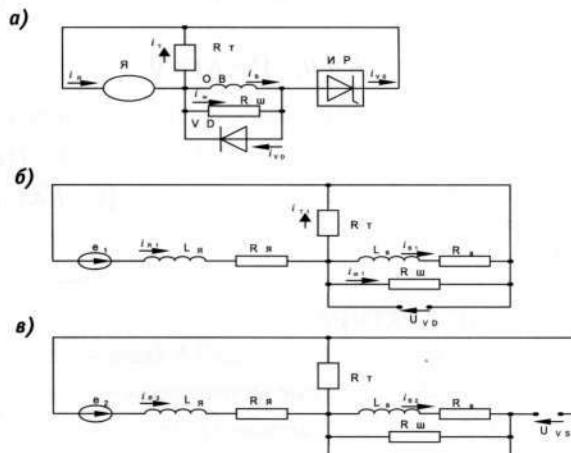


Рисунок 4 – Расчетная схема

Из уравнений (4), (5) и (6):

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

Принимая длительности интервалов 1 и 2 в пределах периода T равными λT и $(1-\lambda)T$, интегрируем выражения (8) и (9):

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

$$\frac{1}{T} \int_0^{\lambda T} u_{L_{B1}} dt + \frac{R_B + R_{\text{э}}}{T} \int_0^{\lambda T} i_{B1} dt - \frac{R_{\text{э}}}{T} \int_0^{\lambda T} i_{\text{я}1} dt = 0.$$

Средние значения токов и напряжений за интервалы 1 и 2:

$$I_{B1} = \frac{\int_0^{\lambda T} i_{B1} dt}{\lambda T}; \quad I_{B2} = \frac{\int_0^{(1-\lambda)T} i_{B2} dt}{(1-\lambda)T};$$

$$I_{\text{я}1} = \frac{\int_0^{\lambda T} i_{\text{я}1} dt}{\lambda T}; \quad I_{\text{я}2} = \frac{\int_0^{(1-\lambda)T} i_{\text{я}2} dt}{(1-\lambda)T};$$

$$L_B \frac{di_{B1}}{dt} = u_{L_{B1}} = \frac{\int_0^{\lambda T} u_{L_{B1}} dt}{\lambda T};$$

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

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

$$I_{B1} = I_{B2} = I_B; \quad (12)$$

$$I_{\text{я}1} = I_{\text{я}2} = I_{\text{я}}. \quad (13)$$

В этом случае

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

С учетом (12) и (13), уравнений (10) и (11) получим

$$(R_B + R_{\text{э}}) I_B \lambda - R_{\text{э}} I_{\text{я}} \lambda + R_B I_B (1-\lambda) = 0. \quad (14)$$

Из (14) можно получить зависимость $\beta = f(\lambda)$ для различных значений: $R_{\text{ш}}$, R_T , R_B

$$\beta = \frac{I_B}{I_{\text{я}}} = \frac{R_{\text{э}} \lambda}{R_{\text{э}} \lambda + R_B}. \quad (15)$$

Из уравнений (4) и (5) может быть получена характеристика скорости в функции коэффициента заполнения $V = f(\lambda)$ для двух последовательно соединенных двигателей

$$V = \frac{R_{\text{я}} I_{\text{я}} + R_{\text{э}} (I_{\text{я}} - I_B) \lambda + R_T I_B (1-\lambda)}{2c\Phi}.$$

Анализ формулы (15) показывает, что при постоянных значениях сопротивления, шунтирующего обмотку возбуждения, коэффициент ослабления β линейно возрастает при малых $R_{\text{ш}}$ и нелинейно – при значительных $R_{\text{ш}}$, причем в зонах малых коэффициентов заполнения наблюдается резкое увеличение β . Для линейного изменения коэффициента ослабления возбуждения необходимо менять величину сопротивления $R_{\text{ш}}$ по линейному закону, что можно сделать, подключив параллельно шунтирующему резистору управляемый полупроводниковый ключ. Тогда величина шунтирующего резистора будет определяться коэффициентом заполнения импульсного цикла λ' этого регулятора $r_{\text{ш}} = R_{\text{ш}} = (1 - \lambda')$.

На рис. 5 приведены зависимости коэффициента ослабления возбуждения от коэффициента заполнения.

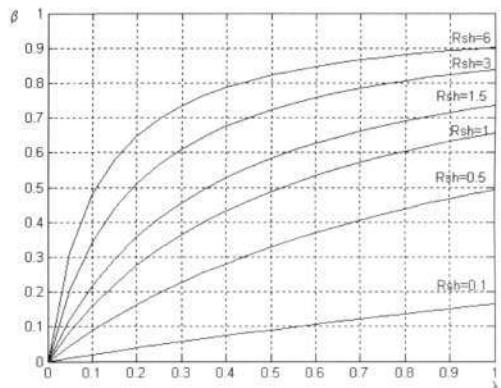


Рисунок 5 – Зависимость $\beta = f(\lambda)$ при $R_V = 0,5 \text{ Ом}$ и $R_T = 20 \text{ Ом}$

ЛИТЕРАТУРА

- Захарченко Д.Д., Ротанов Н.А. Тяговые электрические машины. -М.: Транспорт, 1991. -343 с.
- Иоффе А.Б. Тяговые электрические машины. - М.-Л.: Энергия, 1965. - 232 с.
- Тихменев Б.Н., Трахтман Л.М. Подвижной состав электрических железных дорог. Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты. - М.: Транспорт, 1980. -471 с.
- Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. - М: Додэка, 2001. - 380 с.

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КОНИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ ПРИ ОПОРНО-ОСЕВОЙ ПОДВЕСКЕ ДВИГАТЕЛЯ ТЕПЛОВОЗА

Приведены результаты исследований и подтверждена возможность повышения несущей способности конического соединения с натягом с макронеровностями на поверхности охватывающей детали.

Тепловозные зубчатые передачи при опорно-осевой подвеске двигателя работают в тяжелых условиях, обусловленных значительными динамическими нагрузками на малых по ширине участках зубьев.

Концентрация нагрузок на концевом участке зубьев со стороны двигателя при передаче тягового момента определяется перекосом сопряженных зубьев колеса и шестерни (рис. 1). Перекос вызван консольным расположением шестерни на валу тягового электродвигателя (ТЭД). В результате перекоса зубьев распределение тяговой нагрузки по их длине происходит неравномерно (рис. 2).

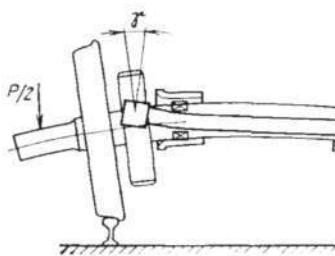


Рисунок 1 – Схема зацепления зубьев колеса и шестерни тепловоза

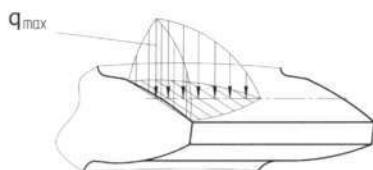


Рисунок 2 – Эпюра нагрузки в зацеплении зубьев с перекосом

Это вызывает проворот шестерни и возможность ее схода с конической посадочной поверхности хвостовика вала ТЭД, приводит к отказу тягового редуктора локомотива в целом. Данная причина вынуждает искать пути повышения несущей способности конического соединения с натягом шестерни – вал ТЭД в габаритах эксплуатируемой передачи.

Анализ опубликованных работ [1-3] показывает, что повышать прочность соединений с натягом можно различными приемами. Так, из применяемых способов сборки наибольший эффект дает использование нагрева охватывающей детали. В значительной степени прочность посадки определяется состоянием сопрягаемых поверхностей, т. е. их шероховатостью, упорядоченностью неровностей, а также отклонениями формы и расположения поверхностей. Применение гальванических покрытий из мягкого и твердого материалов, использование промежуточных сред (клей, краска и др.) также оказывают влияние на увеличение несущей способности соединений. Но все эти меры и способы дают значительный эффект для относительно небольших размеров и в основном для узлов, работающих в режиме статического нагружения. Для высоконагруженных соединений (таких как зубчатое колесо и шестерня тягового редуктора локомотива), работающих в условиях динамического нагружения, перечисленные приемы не дают весомых результатов.

Новый подход к выполнению поверхностей соединений с натягом, предложенный д. т. н., профессором А.В. Бородиным [4], основан на введении структурных макроизменений в контактирующие поверхности и на управлении регулярностью, формой, глубиной и другими параметрами макронеровностей в виде канавок и углублений.

Физическая сущность принципа заключается в следующем: на одной из поверхностей соединения выполняются углубления, в которые перемещается (на высоту ΔU_1) часть материала при соединении деталей, что создает дополнительный эффект фиксации поверхностей (рис. 3).

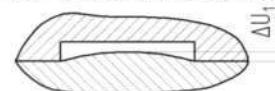


Рисунок 3 – Соединение с дискретной посадочной поверхностью

В реальных механизмах соединяемые посадкой с натягом детали нередко имеют изменяющиеся по длине сопряжения размеры поперечных сечений и разную длину. Поэтому необходимо учитывать влияние консольных торцовых частей шестерни на распределение контактного давления по посадочной поверхности вала.

Для расчета конического соединения с натягом шестерня – вал ТЭД создана математическая модель прессового конического соединения, учитывающая влияние консольных торцовых частей шестерни и структурных макроизменений в контактирующих поверхностях на несущую способность соединения. При сборке соединения материал вала в пределах канавки деформируется меньше, чем на площадках контакта (рис. 4).

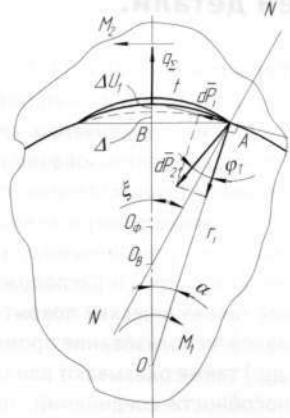


Рисунок 4 – Усилия, действующие в соединении с дискретным стыком, при передаче крутящего момента

Образуется упругая деформационная волна, дополнительное окружное усилие от которой направлено перпендикулярно к радиусу посадочной поверхности.

Окружное усилие P_i передаваемой одной деформационной волной,

$$P_i = \int_0^{l_{\text{KH}}} dP_i. \quad (1)$$

Окружное усилие равно проекции равнодействующей силы от деформационной волны на касательную к nominalной поверхности сопряжения

$$dP_i = dP_{2l} \cdot \sin(\varphi_T + \alpha) \quad (2)$$

Возникающий угол деформации ξ в точке A (рис. 5) способствует повышению сдвигающего усилия соединяемых деталей.

$$dP_{2l} = dP_{21} \cdot \sin(\varphi_T + \alpha) \quad dP_{21} \geq \frac{q_K \cdot dl \cdot l_{KH}}{\cos(\xi + \varphi_T)}. \quad (3)$$

Окружное усилие в рассматриваемых сечениях канавки Q_K , в свою очередь, зависит от геометрических размеров канавки и от величины контактного давления на границах площадки контакта, определяемого по формулам Лямэ:

$$dP_i = q_K \cdot dl \cdot l_{KH} \cdot \operatorname{tg}(\phi_T + \alpha); \quad (4)$$

$$q_K = q_{cpr} \left(1 - 0,67 \frac{\Delta U_1}{U_1} \right); \quad (5)$$

$$q_{cpf} = \frac{\delta}{d(C_1/E_1 + C_2/E_2)}, \quad (6)$$

где dP_{21} – равнодействующая сила от деформационной волны;

dl – ширина элемента волны:

$l_{\text{кн}}$ – ширина канавки в рассматриваемом сечении:

Φ_T — УГОЛ ТРОНИЯ В СООДИНИИ:

ΔU_1 — высота деформированной волны.

H — величина деформации в гладком соединении:

$\bar{q}_{срГ}$ – среднее контактное давление в гладком соединении.

δ – величина осевого натяга в соединении:

E_1 и E_2 – модули упругости материалов соединяемых деталей;

C_1 и C_2 – константы Лямз.

Коническое соединение с гарантированным натягом, используемое для связи вала 1 двигателя и шестерни 2 ТЭД тепловоза (рис. 5а), имеет следующие характеристики: угол уклона $\alpha = 2,86^\circ$. Вал изготовлен из стали 50 и имеет твердость HB 240-260. Материал шестерни – сталь 12ХН4А, твердость посадочной поверхности HB 300-330. Механические характеристики: материала вала $\sigma_B = 628$ МПа, $\sigma_T = 373$ МПа, материала шестерни $\sigma_B = 900$ МПа, $\sigma_T = 750$ МПа. Осевой натяг при сборке составляет 1,3-1,5 мм.

Для увеличения несущей способности соединения по величине крутящего момента и более равномерного распределения передаваемого через стык силового потока предлагается на посадочной поверхности шестерни, как имеющей большую твердость, изготовить три канавки, оси которых параллельны осям вала (рис. 5б, в). Достаточная глубина h_1 канавок не превышает величины натяга в соединении. Ширина и глубина канавок в различных сечениях различна. По мере удаления от торца эти размеры уменьшаются. Общая площадь углублений не превышает 15% от номинальной площади контакта.

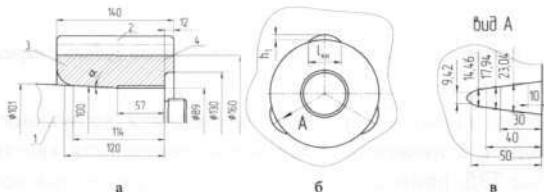


Рисунок 5 – Соединение с модифицированной поверхностью в контакте шестерня – вал ТЭД (а), фрагмент развертки посадочной поверхности шестерни (б) и ширина углубления в отдельных ее сечениях (в)

Результаты расчета по созданной математической модели показали, что величина крутящего момента в соединении с модифицированной поверхностью в контакте M_d увеличивается до 34,45 кНм пропорционально суммарному окружному усилию P_{Σ} , передаваемому всеми канавками, в среднем на 17 % по сравнению с гладким соединением M_G (29,46 кН*м).

$$M_G = f \cdot q_{cpG} \cdot S_G 0,5 d_{cp} \quad (7)$$

$$M_d = f \cdot q_{cpG} \cdot S_G 0,5 d_{cp} + P_{\Sigma} \cdot 0,5 \cdot d_{cpB}, \quad (8)$$

где d_{cp} – средний диаметр прессового конического соединения;

d_{cpB} – средний диаметр деформационной волны;

f – коэффициент трения;

S_G – площадь поверхности контакта гладкого соединения.

Для подтверждения расчетных результатов был проведен эксперимент.

Цель экспериментальных исследований состояла в определении эффективности нанесения макронеровностей на сопрягаемые поверхности конического соединения.

Сравнительные экспериментальные исследования эффективности нанесения макронеровностей на сопрягаемые поверхности проводились методом проворота в следующей последовательности. Вначале определялся момент проворота для гладких поверхностей. Затем на посадочных поверхностях втулок выполнялись три соосные канавки, и снова определялся момент проворота прессового конического соединения уже с дискретной поверхностью в контакте (табл. 1). Втулка была изготовлена заодно с рычагом (с базой 200 мм), а необходимое усилие запрессовки создавалось гидравлическим прессом 2ПГ-50.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили повышение нагрузочной способности прессового конического соединения с дискретной поверхностью в контакте на 15-20% по сравнению с гладкими. Разброс результатов связан прежде всего с отклонениями размеров, формой поверхностей, шероховатости в заданных документацией пределах. В то же время следует отметить удовлетворительное согласование расчетов и результатов экспериментов.

На основании проведенных исследований, как теоретических, так и экспериментальных, предложено новое устройство конического соединения с повышенной несущей способностью при одновременном действии крутящего момента и сдвигающего усилия (свидетельство на полезную модель № 9632 РФ «Коническое соединение с гарантированным натягом». Авторы: А.В. Бородин, Т.В. Вельгодская, В.М. Волков).

Таблица 1 – Крутящий момент проворота прессового соединения, кН*м

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7
Гладкая поверхность	29,5	28,8	29,3	30,1	30,5	29,5	29,3
При наличии канавок	35,0	34,5	34,2	35,1	35,5	34,4	34,5
Номер образца	8	9	10	11	12	13	14
Гладкая поверхность	29,7	30,5	30,1	30,6	30,1	30,5	29,8
При наличии канавок	34,3	35,8	35,2	34,5	34,1	35,0	34,7
Номер образца	15	16	17	18	19	20	21
Гладкая поверхность	29,3	30,2	29,5	29,5	30,4	30,3	30,5
При наличии канавок	34,5	35,7	34,1	35,2	35,0	34,5	35,5

ЛИТЕРАТУРА

- Гречишев Е.С., Ильяшенко А.А. Соединения с натягом. - М., 1981. - 240 с.
- Балацкий Л.Т. Прочность прессовых соединений. - Киев, 1982. - 180 с.
- Зенкин А.С. Технологические основы сборки соединений с натягом. - М., 1982. - 48 с.
- Бородин А.В. Соединение с натягом повышенной несущей способности для узлов подвижного состава// Исследование процессов взаимодействия объектов железнодорожного транспорта с окружающей средой. - Омск: ОмГУПС, 1995.-С. 21-25.

ОБСЛУЖИВАНИЕ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Электрификация железных дорог неразрывно связана с установкой, демонтажом и техническим обслуживанием опор контактной сети. На сегодняшний день появляется все больше опор, которые отслужили нормативный срок и подлежат замене. Помимо этого, новые опоры хотя и не исчерпали свой ресурс, но тоже могут нести угрозу безопасности движения поездов по причине своей разрегулировки.

При закреплении железобетонной опоры в грунт первоначально определяется действующий на нее изгибающий момент и исходя из этого (в соответствии с типовыми проектами) – необходимость установки опоры в фундамент. Установка опоры «стаканного» типа, безусловно, снижает процент разрегулировки, но и такие опоры тоже могут отклоняться от нормы. Отклонение опор приводит к увеличению зигзага контактного провода, неравномерному износу токоприемника, обрыву проводов, падению опоры.

В соответствии с [1] проверка и выборочное диагностирование надземной части железобетонных опор контактной сети рекомендуется проводить по их состоянию, но не позднее 12 лет после ввода в эксплуатацию. Учитывая, что на рассматриваемых участках дороги опоры служат более 12 лет, а их отклонение продолжает существенно влиять на увеличение или уменьшение зигзага контактного провода, было принято решение проверять угол наклона один раз в квартал. Поэтому за шаг процесса принимаем один квартал.

Для того чтобы точно определить отклонение оси опоры от нормы [1], необходимо воспользоваться специальными приборами.

Известен способ контроля угла отклонения опор контактной сети от вертикали с помощью теодолита [2], предусматривающий установление подставки под теодолит, закрепление теодолита, выравнивание его расположения по горизонтали, проектирование координат верхней и нижней точек опоры на специальную измерительную рейку, определение разности между координатами верхней и нижней точек, расчет угла наклона оси опоры (рис. 1).

Применяется также устройство для контроля установочных параметров опор контактной сети [3], включающее строительный уровень и металлическую линейку, которая перемещается в направляющих.

С помощью описанных выше приборов нами были измерены с периодичностью 1 раз в квартал в течение одного года отклонения опор контактной сети от своей оси на разных участках железной дороги. Измерения проводи-

лись в двух плоскостях – вдоль и поперек пути. По результатам была построена диаграмма распределения углов наклонов опор контактной сети от вертикали (рис. 2).



Рисунок 1 – Теодолит

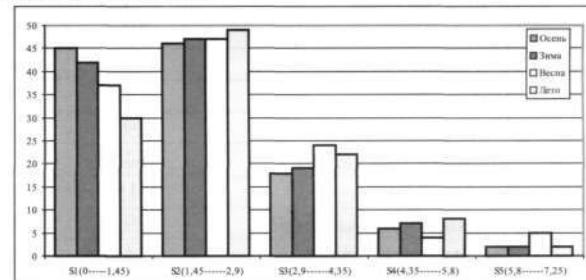


Рисунок 2 – Гистограмма распределения углов наклонов опор контактной сети от вертикали (данные 2006–2007 гг.)

При построении диаграммы горизонтальная ось была разбита на 5 интервалов. Так как угол отклонения опор от своей оси принято измерять в процентах от ее высоты [1] и учитывая, что максимальное отклонение опоры было зафиксировано на уровне 7,25%, то длина каждого интервала составила 1,45%. Общее число опор 120.

На основе анализа полученных интервалов можно сказать, что количество опор, попавших в начале измерений

Таблица 1 – Матрица оценок переходных вероятностей наклона оси опор контактной сети относительно вертикали (осень-зима)

Предыдущее состояние, %	Последующее состояние, %				
	0-1,45	1,45-2,9	2,9-4,35	4,35-5,8	5,8-7,25
0-1,45	0,88	0,12	0	0	0
1,45-2,9	0,04	0,88	0,08	0	0
2,9-4,35	0,08	0	0,92	0	0
4,35-5,8	0	0	0	0,80	0,20
5,8-7,25	0	0	0	0	1,00

Таблица 2 – Матрица оценок переходных вероятностей наклона оси опор контактной сети относительно вертикали (зима-весна)

Предыдущее состояние, %	Последующее состояние, %				
	0-1,45	1,45-2,9	2,9-4,35	4,35-5,8	5,8-7,25
0-1,45	0,77	0,23	0	0	0
1,45-2,9	0	0,9	0,04	0	0
2,9-4,35	0	0	1,0	0,14	0
4,35-5,8	0	0	0	0,67	0
5,8-7,25	0	0	0	0	1,0

Таблица 3 – Матрица оценок переходных вероятностей

Предыдущее состояние, %	Последующее состояние, %				
	0-1,45	1,45-2,9	2,9-4,35	4,35-5,8	5,8-7,25
0-1,45	0,67	0,38	0,04	0,00	0,00
1,45-2,9	0,09	0,65	0,24	0,02	0,00
2,9-4,35	0,00	0,11	0,39	0,44	0,06
4,35-5,8	0,00	0,00	0,33	0,50	0,17
5,8-7,25	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00

в предел {0; 1,45}, через год уменьшилось на 30%. В последующих интервалах число опор увеличивается. Чтобы наглядно оценить процесс разрегулировки, необходимо составить матрицу переходных вероятностей (табл. 1).

Из полученной матрицы видно, что вероятность перехода опоры из состояния (5,8-7,25) в предыдущие состояния практически равна нулю. Также надо отметить, что состояние (2,9-4,35) является состоянием стабильности. Иначе говоря, опора может долго находиться в этом интервале, но в результате вероятность перехода ее в предыдущее состояние меньше вероятности перехода в последующее. Это означает, что саморегулировка положения опоры маловероятна.

Для того чтобы спрогнозировать состояние опор в следующем квартале, необходимо возвести полученную матрицу в степень. Прогнозируемая матрица переход-

ных вероятностей (в период зима-весна) будет иметь вид

$$\begin{pmatrix} 0,88 & 0,12 & 0 & 0 & 0 \\ 0,04 & 0,88 & 0,08 & 0 & 0 \\ 0,08 & 0 & 0,92 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 0,779 & 0,2 & 0,009 & 0 & 0 \\ 0,07 & 0,779 & 0,144 & 0 & 0 \\ 0,14 & 0,009 & 0,846 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,64 & 0,36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

После проведения экспериментальных замеров опор весной рассчитали переходные вероятности (табл. 2).

Прогнозируемые и экспериментальные значения совпали с погрешностью 5%. Поэтому можно считать данный метод надежным и при необходимости заранее планировать период управляющего воздействия на опору или контактную подвеску во избежание аварий.

При описании процесса разрегулировки используем модель марковского процесса с дискретными пространством состояний и временем. Для описания процесса достаточно найти переходные вероятности. С учетом [2] оценки переходных вероятностей по методу максимального правдоподобия рассчитаны по формуле

$$q_{ij}(\tau) = n_{ij}(\tau)/[n_i(\tau-1)], \quad (1)$$

где $n_{ij}(\tau)$ – число наклонившихся опор, наблюдавшихся в состоянии i в момент $\tau - 1$ и в состоянии j в момент τ ;

$n_i(\tau - 1)$ – число наклонившихся опор, наблюдавшихся в состоянии i в момент $\tau - 1$.

Для стационарных переходных вероятностей

$$\hat{q}_{ij} = \sum_{\tau=1}^k n_{ij}(\tau) / \sum_{\tau=0}^{k-1} n_i(\tau), \quad (2)$$

где k – число отсчетов.

Исходя из предположений стационарности процесса по формуле (2) рассчитаны оценки переходных вероятностей для текущего периода (табл. 3).

Математическое ожидание величины отклонения опоры

$$\mu[z(t)] = \sum_{i=1}^m z_i P_i(t) \quad (3)$$

где Z_i – средняя величина наклона опоры для i -го кванта;

$P_i(t)$ – вероятность нахождения опоры в i -м кванте в момент времени t .

После подстановки получим

$$\mu[z(t)] = 2,23 \%$$

Автокорреляционная функция, полученная в [4] в соответствии с [5], в нестационарном режиме имеет вид

$$R_z(t, t+\tau) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m z_i z_j P_i(t) q_{ij}(\tau) - \sum_{i=1}^m z_i \sum_{j=1}^m P_j q_{ji}(\tau) \cdot \sum_{i=1}^m z_i P_i(t) \quad (4)$$

для стационарного процесса

$$R_z(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m z_i z_j P_i q_{ij}(\tau) - \sum_{i=1}^m z_i \sum_{j=1}^m P_j q_{ji}(\tau) \cdot \sum_{i=1}^m z_i P_i. \quad (5)$$

При $\tau = 0$ матрица Q_{ij} вырождается, и в ней остаются только диагональные элементы, величина каждого из которых равна единице. Автокорреляционная функция при $\tau = 0$ будет равна

$$R_z(0) = \frac{\sum_{i=1}^m (z(i) - \mu[z(t)])^2}{N-1}, \quad (6)$$

$$R_z(0) = 0,23\%.$$

Для получения нормированной автокорреляционной функции полученные выражения необходимо разделить на квадрат среднего квадратического отклонения, или дисперсию. Выражение (6) как раз и является дисперсией.

Коэффициент вариации наклона опоры может быть получен из отношения

$$v_z(0) = \sum_{i=1}^m z_i P_i / \left[\left(\sum_{i=1}^m z_i^2 P_i - \left(\sum_{i=1}^m z_i P_i \right)^2 \right) \right], \\ v_z(0) = 0,19. \quad (7)$$

Спектральная плотность найдена по известным соотношениям

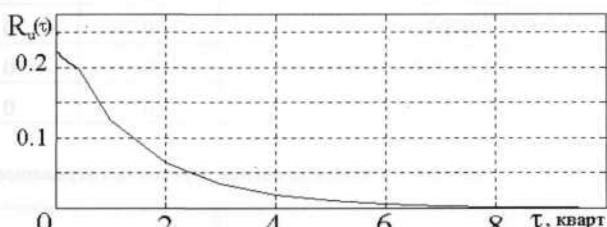
$$G_z(f) = 4 \sum_{\tau=0}^{\infty} R_z(\tau) \cos(2\pi f \tau) \Delta\tau, \quad 0 \leq f < \infty,$$

где $\Delta\tau$ – продолжительность шага процесса по времени.

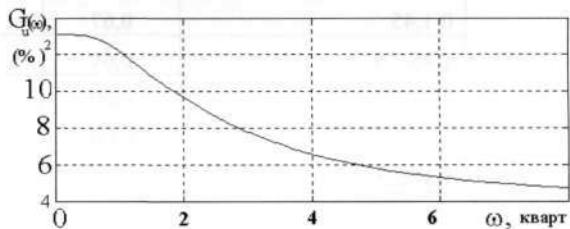
Время корреляции процесса будет равно

$$\tau_k = 2 \sum_{\tau=0}^{\infty} \frac{R_z(\tau)}{(R_z(0))^2} \Delta\tau.$$

После решения уравнения были построены графики автокорреляционной функции и спектральной плотности (рис. 3).



a) автокорреляционная функция



b) спектральная плотность

Рисунок 3 – Графики функций

Финальные вероятности найдены из решения известной [2] системы уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m P_i \cdot q_{ij} = P_j, \text{ для } j \in 1, \dots, m; \\ \sum_{i=1}^m P_j = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Матрица финальных вероятностей

S1	S2	S3	S4	S5
0,209	0,390	0,206	0,040	0,209

Рассмотрим опору контактной сети, наклон которой описывается цепью Маркова. Пусть имеется всего N →

состояний ($i \in 1, \dots, N$). Допустим, что известны все переходные вероятности неуправляемого процесса q_{ij} , или в матричной форме $\|q_{ij}\|$. Пусть также известны финальные вероятности пребывания процесса в состояниях и стоимости нахождения в этих же состояниях $\|z_i\|$. При нахождении параметра в каком-либо состоянии может быть принято решение о проведении управляющего воздействия (УВ). Последствием проведения УВ будет перевод параметра в другое состояние. Проведение УВ связано с затратами. Допустим, что такие затраты известны $\|C_{ij}\|$. Вероятность того, что в состоянии i будет принято решение перевести параметр в состояние j , обозначим как D_{ij} , или в матричной форме D_{ij} . Матрицу управляющих решений $\|D_{ij}\|$ предстоит найти в результате решения.

Тогда можно записать выражение для средних удельных затрат

$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N \sum_{j=1}^N \pi_i \cdot D_{is} \cdot q_{sj} \cdot z_j + \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N \pi_i \cdot D_{is} \cdot C_{is}, \quad (9)$$

где π_i – стационарная (финальная) вероятность пребывания параметра (опоры) в состоянии i ;

D_{is} – вероятность того, что в состоянии i будет принято решение перевести систему в состояние s ;

q_{ij} – переходная вероятность неуправляемого процесса;

z_j – стоимость пребывания параметра в состоянии j в течение одного шага;

C_{is} – стоимость управляющего воздействия;

N – число состояний.

При этом стационарные вероятности должны удовлетворять системе уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \pi_i \cdot q_{yij} = \pi_j \text{ для } j \in 1, \dots, N; \\ \sum_{j=1}^N \pi_j = 1, \end{cases} \quad (10)$$

где q_{yij} – вероятность перехода управляемого процесса, которая описывает процесс с учетом восстановления,

$$q_{yij} = \sum_{s=1}^N q_{is} \cdot D_{sj}. \quad (11)$$

Можно ввести обозначение

$$x_{is} = \pi_i \cdot D_{is}. \quad (12)$$

Тогда

$$M = \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N x_{is} \left(C_{is} + \sum_{j=1}^N q_{sj} \cdot z_j \right). \quad (13)$$

Система уравнений перепишется в виде

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{s=1}^N x_{is} \cdot q_{sj} = \sum_{s=1}^N x_{js} \text{ для } j \in 1, \dots, N; \\ \sum_{j=1}^N \sum_{s=1}^N x_{js} = 1. \end{cases} \quad (14)$$

В таком виде формулируется задача линейного программирования: минимизировать средние удельные затраты при ограничениях в виде системы уравнений (14). Решение сводится к поиску таких x_{is} , которые, удовлетворяя системе уравнений (14), свели бы средние удельные затраты к минимуму. Для решения задачи может использоваться стандартный алгоритм линейного программирования. Обратный переход от x_{jk} к D_{jk} осуществляется по формуле

$$D_{jk} = x_{jk} / \sum_{s=1}^N x_{js}. \quad (15)$$

В результате получается матрица $\|D_{ij}\|$ управляющих решений (табл. 4). В каждой строке этой матрицы имеется один элемент, равный единице, остальные элементы строки равны нулю. Часть элементов матрицы, равных единице, расположена на главной диагонали, остальные в разных столбцах. Наличие единиц не на главной диагонали означает необходимость обязательной регулировки параметра с переводом его в состояние, номер которого соответствует номеру столбца с единицей. Нахождение единиц на диагонали означает, что параметр регулировке не подлежит.

Таблица 4 – Матрица управляющих решений

S/S	S1	S2	S3	S4	S5
S1	1	0	0	0	0
S2	0	1	0	0	0
S3	0	0	1	0	0
S4	0	0	0	1	0
S5	1	0	0	0	0

Примечание. S1-S5 – состояния опоры.

Наклон опор контактной сети от вертикального положения не должен превышать 3% высоты опоры в сторону, противоположную действию основных нагрузок, и 1% – вдоль пути [1]. Основываясь на результатах решения уравнения линейного программирования, для рассматриваемого участка контактной сети можно увеличить допущения норм ПУТЭКС до 5-6%. То есть переводить опору в состояние S1 нужно, если она в текущий момент времени находится в состоянии S5 (см. рис. 2). Если опора находится в состояниях S1-S4, то достаточно применить регулировку проводов контактной подвески.

Стоимости пребывания опор контактной сети в состояниях наклона рассчитаны и представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Стоимости пребывания опоры в состояниях на клона, руб.

Наклон опоры, %	0-1,3	1,3-2,6	2,6-3,9	3,9-5,2	5,2-6,5	0-1,3
Средняя стоимость, руб.	120	240	360	480	600	720

Не следует забывать, что результаты получены для конкретных местных условий. В других условиях будут другие результаты. Если рассмотреть высокоскоростные участки, то там, скорее всего, границы поля допуска будут уже.

Выводы.

На основе полученных данных о наклонах опор контактной сети были рассчитаны оценки переходных вероятностей, сделан прогноз состояния опор в следующем

квартале. Прогнозируемые результаты совпали с экспериментальными с погрешностью 5%. Процесс разрегулировок опор признан стационарным. Решено уравнение линейного программирования. Принято решение о виде управляющего воздействия. Определены стоимости пребывания опор в состоянии наклона. Установлены предельные границы отклонения опоры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети. - М., 2004.
2. ГОСТ 10529-66. Теодолиты. Общие технические условия. -М.: Издательство стандартов, 1997.
3. Нехотин В.П., Родионов В.М. Информационный листок № 4 31/1291. - СПб: Дорожная электролаборатория Октябрьской железной дороги.
4. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. - М.: Высшая школа, 1976. - 406 с.
5. Галкин А.Г. Разработка моделей разрегулировки зигзагов и уклонов контактных проводов//УрГУПС:Деп. рукопись №-6382-жд02. - Екатеринбург, 2002. - 22 с.
6. Ефимов А.В., Галкин А.Г., Кузнецов Н.А. Исследование коэффициентов чувствительности квазидинамической модели токосъема на износ контактных проводов//Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Сб. науч. трудов. - Самара: САМИИТ. - 2001. - Вып. 23. - С. 75-79.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ДЕЙСТВИИ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Разработана математическая модель высоковольтного распределительного трансформатора типа ОМ как цепная схема с учетом взаимной индуктивности между слоями обмотки трансформатора при действии продольных перенапряжений.

Высокий процент повреждения однофазных масляных трансформаторов (ОМ) в грозовой летний период, снижение качества энергоснабжения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики приводят к нарушению нормального функционирования и отказам устройств, к задержкам поездов. Исследование процессов в трансформаторе ОМ при действии атмосферных (грозовых) перенапряжений и разработка мероприятий по усилению защиты трансформатора ОМ от грозовых перенапряжений является актуальной задачей.

При разработке высоковольтных трансформаторов надо знать, как выполнить изоляцию обмоток, чтобы она выдержала атмосферные и коммутационные перенапряжения. Для этого необходимо определить электрические напряжения во всех опасных точках обмотки и прочность соответствующей изоляции [1].

Основной способ практического определения импульсных напряжений – измерения на моделях обмоток трансформатора. Эти измерения проводятся при низком импульсном напряжении, а результаты пропорционально приводятся к значению напряжения испытательного импульса. Модели обеспечивают достаточную точность результатов, но трудоемки в изготовлении, а возможности изменения различных параметров обмоток при конструировании и изготовлении трансформаторов ограничены.

Свободными от указанных недостатков являются расчетные методы определения импульсных напряжений. В настоящее время используются матричные методы анализа переходных процессов в обмотках [2, 3]. Данные методы основаны на разделении обмотки на конечное число элементов (катушек, слоев), обладающих собственной и взаимной индуктивностью, а также продольной емкостью и емкостью на соседние элементы и магнитопровод. Определение импульсных напряжений сводится при этом к расчету индуктивных и емкостных параметров элементов, а затем к расчету переходного процесса в схеме замещения с сосредоточенными параметрами.

Распределение импульсных напряжений зависит от различных факторов: геометрического строения обмоток, изоляции и магнитопровода, характеристик применяемых материалов (диэлектрической проницаемости ϵ , магнитной проницаемости μ , удельной проводимости γ),

от формы воздействующего на трансформатор импульса напряжения.

Очевидно, что схема замещения многослойной обмотки должна иметь распределенные параметры, причем в ней должны быть учтены взаимное электромагнитное влияние между различными участками обмотки, влияние магнитопровода и различного рода неоднородности обмотки. Неоднородность слоевой обмотки – следствие различного диаметра слоев, а также градации межслоевой изоляции по высоте слоя. Учитывая перечисленные обстоятельства, следует отметить, что схема замещения многослойной обмотки очень сложна, удельные емкостные и индуктивные параметры ее различны в разных участках обмотки, к тому же сильно выражена емкостная и электромагнитная связь между всеми слоями. Это создает большие трудности при расчете импульсных процессов в данной схеме замещения.

Очевидно, что для описания таких сложных процессов и анализа явлений в высоковольтной обмотке (ВВО) трансформатора серии ОМ, имеющей 16 520 витков, расположенных в 40 слоях, необходимо ввести ряд упрощающих допущений, позволяющих с достаточной точностью решить задачу определения импульсных воздействий на обмотку. Основные допущения, принимаемые при расчете, можно сформулировать следующим образом [4]:

- при импульсном процессе трансформатор представляет собой линейную систему, т. е. характеристики материалов (ϵ , μ , γ) не изменяются в течение импульсного процесса;

- на стержне магнитопровода имеется хотя бы одна обмотка с замкнутыми накоротко концами (непосредственно или через источник испытательного импульса);

- джоулевые потери в элементах трансформатора сказываются лишь на затухании колебательных составляющих импульсного процесса и не влияют на частоты и амплитуды этих составляющих;

- временем распространения электромагнитного поля по кратчайшему пути между любыми точками обмоток можно пренебречь;

- импульсный ток распределяется равномерно по сечению витка;

– стержень трансформатора с обмотками создает осесимметричное электромагнитное поле;

– при большом соотношении числа витков в обмотках ($W_{\text{ВН}}/W_{\text{НН}} > 7$) влияние колебаний в обмотке НН (низкого напряжения) на градиенты обмотки ВН (высокого напряжения) относительно невелико и в первом приближении может не учитываться.

При принятых допущениях каждый виток обмотки можно заместить сосредоточенной индуктивностью (рис. 1), к концам которой подключены емкости на все остальные витки и элементы трансформатора (C_{mj} , C_{ms}), причем емкость его на другие витки поровну делится между концами данного витка. Индуктивности всех витков магнитно связаны между собой [4].

На рис. 1 показаны: 1, 2, ..., j, s, ..., m – номера узлов; 1, 2, ..., n – номера элементов ($n = m - 1$); K_i – межвитковая емкость i-го элемента; L_{ii} – собственная индуктивность i-го элемента; M_{in} – взаимная индуктивность между i-м элементом и любыми другими произвольно расположенным в окне магнитопровода элементами; I_i – ток через индуктивность; C_{oj} , C_{os} – емкости элемента по отношению к корпусу и магнитопроводу трансформатора; u_j , u_s – напряжения в узлах схемы замещения элемента.

Полная схема замещения обмоток трансформатора может быть получена как совокупность указанных схем замещения витков. Однако для практических расчетов такая схема замещения обмоток не применяется, так как из-за большого числа витков в обмотке расчет переходного процесса в данном случае требует больших затрат машинного времени.

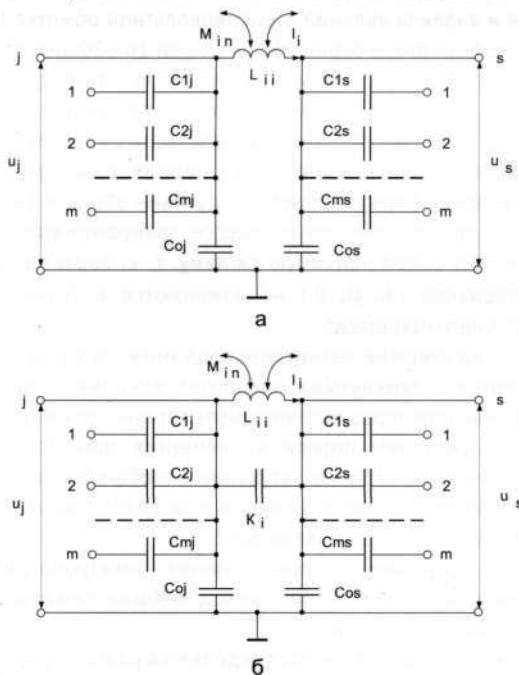


Рисунок 1 – Схемы замещения элемента обмотки:
а – витка; б – группы витков

Согласно [5], рекомендуется каждый слой многослойной обмотки разделять по высоте на 2-4 одинаковых элемента. Во всех случаях следует избегать сочетания в пределах одного слоя соседних элементов с резко отличающимся (более чем в 2 раза) числом витков. Элемент – это часть слоя, в пределах которого величину импульсного тока можно считать постоянной для всех витков, а импульсное напряжение – линейно изменяющимся вдоль провода.

Исследования на физической модели [6] трансформатора ОМ показали, что при действии импульсных напряжений максимальные напряжения наблюдаются в крайних слоях ВВО. В средних слоях ВВО практически отсутствуют свободные колебания.

Расчетная схема замещения трансформатора ОМ для исследования колебательных процессов в слоях ВВО представлена на рис. 2. Согласно [1], низковольтная обмотка не оказывает влияния на распределение напряжения в ВВО при частотах свыше 20 Гц, поэтому в схеме замещения она не учитывалась.

На схеме замещения (см. рис. 2) E – напряжение грозового импульса; R_i – внутреннее сопротивление источника грозового импульса; $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_{37}, K_{38}, K_{39}, K_{40}$ ($K'_1, K'_2, K'_3, K'_4, K'_5, K'_{37}, K'_{38}, K'_{39}, K'_{40}$) – межвитковые емкости половины первого, второго, третьего, четвертого, пятого, тридцать седьмого, тридцать восьмого, тридцать девятого и сорокового слоев ВВО соответственно (емкости со штрихом обозначают вторую половину межвитковой емкости слоев обмотки); $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_{37}, L_{38}, L_{39}, L_{40}$ ($L'_1, L'_2, L'_3, L'_4, L'_5, L'_{37}, L'_{38}, L'_{39}, L'_{40}$) – эквивалентная индуктивность рассеяния половины первого, второго, третьего, четвертого, пятого, тридцать седьмого, тридцать восьмого, тридцать девятого и сорокового слоев ВВО соответственно (индуктивности со штрихом обозначают вторую половину эквивалентной индуктивности слоев обмотки, эквивалентная индуктивность i-го элемента определялась как сумма собственной индуктивности рассеяния i-го элемента и взаимных индуктивностей данного элемента со всеми другими элементами ВВО); $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_{37}, R_{38}, R_{39}, R_{40}$ ($R'_1, R'_2, R'_3, R'_4, R'_5, R'_{37}, R'_{38}, R'_{39}, R'_{40}$) – половина активного сопротивления соответствующих слоев ВВО (сопротивление со штрихами соответствуют второй половине активного сопротивления слоев обмотки); C_{g1}, C_{g40} (C'_g1, C'_{g40}) – емкости половины первого и последнего слоев относительно магнитопровода (емкости со штрихами соответствуют второй половине соответствующих слоев); R_g – активное сопротивления сердечника трансформатора; $R_{K1}, R_{K2}, R_{K3}, R_{K4}, R_{K5}, R_{K6-36}, R_{K37}, R_{K38}, R_{K39}, (R_{K'1}, R_{K'2}, R_{K'3}, R_{K'4}, R_{K'5}, R_{K'6-36}, R_{K'37}, R_{K'38}, R_{K'39}, R_{K'40})$ – сопротивления, необходимые по условиям применения метода переменных состояния для исключения обращения параметрических матриц;

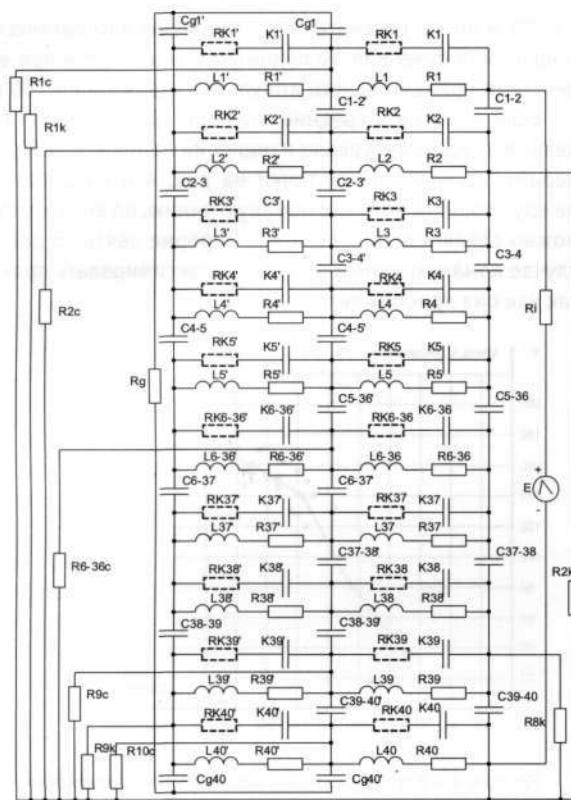


Рисунок 2 – Схема замещения трансформатора ОМ для исследования колебательных процессов в слоях ВВО при действии продольных перенапряжений

C_{1-2} , C_{2-3} , C_{3-4} , C_{4-5} , C_{37-38} , C_{38-39} , C_{39-40} (C'_{1-2} , C'_{2-3} , C'_{3-4} , C'_{4-5} , C'_{37-38} , C'_{38-39} , C'_{39-40}) – емкости, равные половине емкости между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвертым, четвертым и пятым, тридцать седьмым и тридцать восьмым, тридцать восьмым и тридцать девятым, тридцать девятым и сороковым слоями соответственно (емкости со штрихом обозначают вторую половину емкости между соответствующими слоями обмотки); C_{5-36} , C_{6-37} (C'_{5-36} , C'_{6-37}) – емкости, равные половине емкости между пятым и тридцать шестым, шестым и тридцать седьмым слоями соответственно (емкости со штрихом обозначают вторую половину емкости между соответствующими слоями обмотки); K_{6-36} (K'_{6-36}) – половина межвитковой емкости с шестого по тридцать шестой слои (вторая половина); L_{6-36} (L'_{6-36}) – половина эквивалентной индуктивности рассеяния слоев с шестого по тридцать шестой (вторая половина); R_{6-36} (R'_{6-36}) – половина активного сопротивления обмотки с шестого по тридцать шестой слои (вторая половина); R_{1c} , R_{1k} , R_{2c} , R_{2k} , R_{6-36c} , R_{8k} , R_{9c} , R_{9K} , R_{10c} – сопротивления, на которых происходит регистрация напряжения импульсного процесса.

С целью уменьшения количества элементов расчетной схемы в схеме замещения ВВО трансформатора ОМ

(см. рис. 2) параметры элементов (активные сопротивления, емкости, индуктивности) с шестого по тридцать шестой слои заменены эквивалентными. Это обусловлено большими затратами машинного времени на расчет многоэлементных схем.

Расчет переходного процесса сводится к формированию системы уравнений Кирхгофа для рассматриваемой схемы замещения обмотки с сосредоточенными параметрами (емкостями, индуктивностями и сопротивлениями) при воздействии на схему заданного внешнего импульса E и решению этих уравнений.

Известно, что состояние схемы определяется энергией, накопленной в реактивных элементах, а также независимыми источниками напряжений и токов [7]. Переменными состояния являются заряд конденсаторов и потокосцепление катушек индуктивности. При постоянных значениях емкостей и индуктивностей переменные состояния – напряжения на емкостях и токи в индуктивностях $x(t)$.

Метод переменных состояния позволяет выразить напряжения на индуктивностях и токи через емкости, т. е. вектор $p(t)$, а также напряжения и токи нереактивных элементов схемы $y(t)$ через переменные состояния $x(t)$ и независимые источники напряжения и тока $u(t)$.

Если заданы начальные значения переменных состояния $x(t)$ и известны независимые источники тока и напряжения $u(t)$, то по следующей системе уравнений:

$$\dot{x}(t) = p(t) = f_1[x(t), u(t)]; \quad (1)$$

$$y(t) = f_2[x(t), u(t)] \quad (2)$$

определяются вектор напряжений и токов нереактивных элементов $y(t)$, а также производные $\dot{x}(t)$ напряжения на индуктивностях и тока через емкости для начального момента времени. При решении дифференциального уравнения (1) определяются значения переменных состояния, т. е. вектор $x(t)$ для конца определенного интервала времени, называемого шагом интегрирования. Полученное значение вектора $x(t)$ принимается как начальное значение для следующего шага интегрирования. Далее операции повторяются заданное число раз.

На основе вышеизложенных принципов в среде Delphi была разработана программа для исследования волновых процессов в ВВО трансформатора ОМ при действии волн атмосферных перенапряжений. Интегрирование системы дифференциальных уравнений осуществлялось простым методом Эйлера с шагом $1 \cdot 10^{-14}$. Программа позволяет получать экстремальные значения импульсов токов и напряжений, а также осциллограммы в различных точках ВВО трансформатора.

В качестве примера на рис. 3 показаны графики распределения напряжения по первым двум слоям ВВО относительно конца обмотки, полученные расчетным путем при воздействии прямоугольного импульса напряжением 150 В и длительностью 2 мкс.

В целом, как и при физическом моделировании [6], картина распределения напряжения, полученная расчетным путем, показывает, что максимальные напряжения наблюдаются в первом и последнем слоях ВВО. В средних слоях ВВО свободные колебания практически отсутствуют.

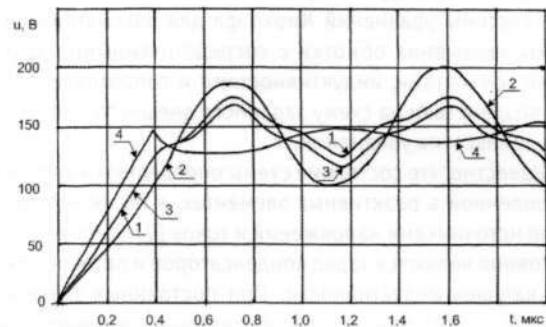


Рисунок 3 – Графики напряжения в ВВО трансформатора ОМ, рассчитанные с помощью математической модели при воздействии экспоненциального импульса напряжением 150 В:
1 – 195-й виток (середина первого слоя); 2 – 390-й виток (конец первого слоя); 3 – 598-й виток (середина второго слоя);
4 – 806-й виток (конец второго слоя)

Для адекватности происходящих в математической модели волновых процессов определялись коэффициенты корреляции между колебательными составляющими напряжений, полученными расчетным ($U_{\text{мод}}$) и опытным ($U_{\text{эксп}}$) путем. Значение коэффициента корреляции определяет, насколько зависимость между случайными переменными ($U_{\text{мод}}$ и $U_{\text{эксп}}$) близка к линейной функциональной. На рис. 4 показана корреляционная зависимость напряжения

на 195-м витке, рассчитанная с помощью математической модели и полученная экспериментальным путем при воздействии прямоугольного импульса напряжением 150 В.

Если вычислить средние значения напряжения Y (модель) в каждом интервале изменения напряжения X (эксперимент), нанести эти точки на рис. 4 и соединить их между собой, то получим ломаную линию, по виду которой можно сделать предположение о форме связи. В данном случае ломаную линию можно аппроксимировать прямой, так как она приближается к ней.

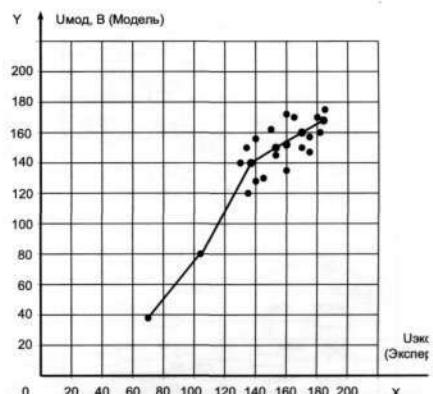


Рисунок 4 – Корреляционная зависимость напряжения на 195-м витке ВВО трансформатора ОМ, полученная расчетным и опытным путем при воздействии прямоугольного импульса напряжением 150 В

По полученным данным строим корреляционную таблицу (табл. 1).

Таблица 1 – Параметры, необходимые для определения коэффициента корреляции между 195-ми витками физической и математической моделей трансформатора ОМ

Y, модель, В	X, эксперимент, В										
	60	80	100	120	140-160 (150)	160-180 (170)	180-	m_y	$Y \cdot m_y$	$Y^2 \cdot m_y$	$\Sigma y \cdot m_x$
-	-	-	-	-	-	-	-				
80 (70)	10 (90)	120 (110)	140 (130)	(150)	(170)	(190)					
25-50 (37,5)	1							1	37,5	1 406	2 625
50-75 (62,5)											
75-100 (87,5)			1					1	87,5	7 656	9 625
100-125 (112,5)				1				1	112,5	12 656	14 625
125-150 (137,5)				2	3	1		6	825	113 438	121 000
150-175 (162,5)				2	2	5	2	11	1 787,5	290 469	290 875
m_x	1		1	5	5	6	2	20	2 850	425 625	438 750
$X \cdot m_x$	70		110	650	750	1 020	380	2 980			
$X^2 \cdot m_x$	4 900		12 100	84 500	112 500	173 400	72 200	459 600			

Для этого значения X и Y разбиваются на интервалы. Оптимальная величина интервала h определяется по формуле Стэрджа [8]

$$h = (x_{\max} - x_{\min}) / (1 + 3,322 \cdot \lg n),$$

где x_{\max} и x_{\min} – соответственно максимальная и минимальная величины;

n – количество вариантов.

За начало первого интервала рекомендуется принять величину, равную $(x_{\min} - h/2)$. В первой строке и первом столбце таблицы помещены интервалы изменения X и Y и значения середин интервалов. В ячейки, образованные пересечением строк и столбцов, заносятся частоты попадания пар значений (X и Y) в соответствующие интервалы по X и Y . Значения t_X и t_Y – суммы t_{xy} по соответствующему столбцу и строке. При небольшом числе вариантов ($n = 20$) коэффициент корреляции удобно вычислить по формуле

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \cdot \sqrt{n \sum y^2 - (\sum y)^2}};$$

$$r = \frac{20 \cdot 438750 - 2980 \cdot 2850}{\sqrt{20 \cdot 459600 - 2980^2} \cdot \sqrt{20 \cdot 425625 - 2850^2}} = 0,81.$$

Для остальных измеренных и расчетных витков первых двух слоев ВВО коэффициент корреляции получился следующий: 390-й виток – 0,78; 598-й виток – 0,93; 806-й виток – 0,80. В среднем коэффициент корреляции 0,83, что позволяет сделать вывод о достаточно тесной связи между U_{mod} и $U_{\text{эксп.}}$.

Разработанная модель дает возможность исследовать волновые процессы в крайних слоях ВВО трансформатора – наиболее подверженных перенапряжениям при воздействии импульсов с крутым фронтом. Такие исследования позволяют обосновать требования к средствам защиты трансформаторов от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

ЛИТЕРАТУРА

- Геллер Б. Импульсные процессы в электрических машинах/ Б. Геллер, А. Веверка. - М.: Энергия, 1973. - 440 с.
- Расчет на ЭВМ волновых процессов в обмотках трансформаторов методом передаточных функций/ Ю.А. Бахвалов, З.М. Белецкий, А.Г. Бунин//Изв. вузов. Электромеханика. - 1971. - №4. - С. 355-360.
- Расчет импульсных воздействий на главную и продольную изоляцию трансформаторов по многоэлементным схемам замещения/ Ю.А. Бахвалов, А.Г. Бунин, Л.Н. Конторович//Изв. вузов. Электротехника. - 1973. - № 12.
- Расчет импульсных воздействий в обмотках трансформаторов с применением ЭВМ/ З.М. Белецкий, А.Г. Бунин, А.Ф. Горбунцов, Л.Н. Конторович. - М.: Информэлектро, 1978. - 79 с.
- РТМ 16.800.268-75: Руководящие технические материалы к программе расчета перенапряжений в обмотках трансформаторов (VLM 3.1), разработанные в производственном объединении «Запорожтрансформатор» совместно с Новочеркасским политехническим институтом.
- Манаков А.Д., Шатров Е.Н. Исследование на физической модели трансформатора ОМ распределения импульсных напряжений вдоль высоковольтной обмотки// Труды Всероссийской, с международным участием, научно-практической конференции ученых транспортных вузов, инженерных работников и представителей академической науки. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. - С. 79-86.
- Чахмаксазян Е.А. Машинный анализ интегральных схем. Вопросы теории и программирования/ Е.А. Чахмаксазян, Ю.Н. Бармаков, А.Э. Гольденберг. - М.: Советское радио, 1974. - 272 с.
- Математическая статистика/ Под ред. А.М. Длина. - М.: Высшая школа, 1975. - 398 с.

О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОЙ ПЛОТНОСТИ ПРИ УКАТКЕ СЛОЕВ ОСНОВАНИЯ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Предлагается после конструирования и определения толщины нежесткой дорожной одежды выполнить расчет необходимой плотности ее слоев. Это позволит при строительстве автомобильных дорог уплотнять слои основания дорожной одежды до нужной величины, обеспечивать достаточную прочность и избегать разрушения от переуплотнения.

Дорожная одежда представляет собой укрепленную проезжую часть, состоящую из одного или нескольких конструктивных слоев. Слои одежды изготавливаются из различных материалов, которые обладают разной прочностью.

От воздействия колес автомобилей на покрытие в дорожной одежде возникают напряжения, затухающие с глубиной. Это позволяет строить многослойную одежду с использованием материалов, обладающих различной прочностью, в соответствии с величиной действующих усилий.

Дорожная одежда имеет покрытие и основание. Покрытие – это верхний прочный слой одежды, непосредственно воспринимающий нагрузки от колес автомобилей. Основание – несущая часть дорожной одежды, воспринимающая усилия от покрытия и равномерно передающая их на подстилающий слой или сразу на земляное полотно. Основание в отличие от покрытия не имеет непосредственного контакта с колесами автомобилей.

Сложившийся подход к конструированию и расчету нежестких дорожных покрытий дорожных одежд (в отличие от жестких, изготавливаемых из цементобетона и железобетонных плит) основывается на отраслевых дорожных нормах ОДН 218.046-01 и предполагает определение толщины слоя одежды с учетом характеристик материалов, из которых они сделаны. Обычно расчет выполняется по допустимому упругому прогибу или по требуемому общему модулю упругости.

На наш взгляд, недостаточно рассчитывать только толщину слоев одежды. Нужно еще знать, до какой величины следует уплотнять ее слои. Это при строительстве дорожной одежды позволит обеспечить необходимую прочность всей конструкции.

Под плотностью слоя дорожного материала понимается отношение его массы, включая массу воды в его порах, к занимаемому этим материалом объему.

Тогда

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где ρ – плотность слоя материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

m – масса слоя материала, кг;

V – объем слоя материала, м^3 .

Для нашего случая рассматриваемую массу слоя основания дорожной одежды можно найти с учетом распределения нагрузки и напряжений в слоях одежды (рис. 1).

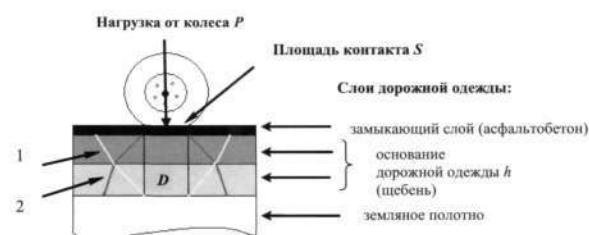


Рисунок 1 – Схема передачи нагрузки на основание дорожной одежды от колеса автотранспортного средства: 1 – распределение напряжений; 2 – распределение нагрузки

Из рис. 1 видно, что в первом приближении массу грунта, на которую действует вертикальная нагрузка от колеса P , можно ограничить цилиндром, имеющим диаметр D и высоту h . В дальнейшем при вычислении необходимой плотности слоев нежесткой дорожной одежды необходимо рассматривать отдельно массу каждого слоя.

Известно, что модуль упругости слоя материала основания дорожной одежды E устанавливается по величине прогиба дорожной одежды

$$E = \frac{\rho D}{l} (1 - \mu^2), \text{ МПа}, \quad (2)$$

где ρ – удельное давление в контакте колеса с покрытием дороги, МПа;

D – диаметр круга, площадь которого равна площади S , м², отпечатка шины, м;
 μ – коэффициент Пуассона;

l – величина упругого прогиба дорожной одежды под колесом автомобиля, м.

С учетом формулы (2) площадь основания цилиндра (отпечатка шины) S



$$S = \frac{\pi}{4} \left[\frac{EI}{p(1-\mu^2)} \right]^2 h \quad (3)$$

Объем сжимаемого материала в слоях нежестких дорожных одежд V

$$V = S h. \quad (4)$$

Тогда с учетом равенства (3) выражение (4) запишется в следующем виде:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\frac{EI}{p(1-\mu^2)} \right]^2 h. \quad (5)$$

С учетом (1) и (5) необходимая плотность материала слоя основания дорожной одежды ρ определится как

$$\rho = \frac{m}{\frac{\pi}{4} \left[\frac{EI}{p(1-\mu^2)} \right]^2 h}. \quad (6)$$

Следует отметить, что в формуле (6) при расчете необходимой плотности слоев основания нежесткой одежды учитываются модуль упругости слоя материала, упругий прогиб слоя одежды от действия вертикальной нагрузки, удельное давление в контакте покрытия с колесом, коэффициент Пуассона, толщина слоя и его масса. Такой полный учет многих факторов, влияющих на плотность слоя основания нежесткой дорожной одежды, получен впервые. Это позволяет более точно рассчитать нужную плотность каждого слоя основания, которая обеспечит достаточную прочность слоя, а в целом всего основания дорожной одежды.

Во время строительства основания нежесткой дорожной одежды его слои отсыпаются последовательно. При этом материал слоя находится в насыпном состоянии и перед укаткой уже обладает начальной плотностью. Обозначим начальную плотность слоя одежды через ρ_1 . С учетом этого формула (6) примет следующий вид:

$$\rho = \rho_1 + \frac{m}{\frac{\pi}{4} \left[\frac{EI}{p(1-\mu^2)} \right]^2 h}. \quad (7)$$

Вторая часть формулы (7) характеризует, насколько нужно еще уплотнить слой основания дорожной одежды (по сравнению с насыпной начальной плотностью ρ_1), чтобы он обладал достаточной прочностью при работе дорожной одежды.

Из формулы (7) видно, что с ростом прочности слоя материала дорожной одежды, когда возрастает модуль упругости E , величина необходимого доуплотнения уменьшается.

На рис. 2 приведено рассчитанное по формуле (7) изменение величины плотности слоя основания дорожной одежды в зависимости от модуля упругости слоя материала. Так, при увеличении модуля упругости со 100 до 600 МПа величина укатки слоя основания уменьшается в 1,2 раза – с 2200 до 1850 кг/м³, т. е. на 380 кг/м³. И наоборот, чем более рыхлый материал ($E=100-120$ МПа), тем большего уплотнения он требует. Например, щебеночные смеси с модулем упругости $E=300$ МПа должны иметь плотность слоя $\rho=1900$ кг/м³, а если $E=150$ МПа, то $\rho=2010$ кг/м³. Благодаря этому обеспечивается необходимая прочность слоев основания дорожной одежды. Если при расчете плотность получилась выше максимально возможной для данного материала, то следует усилить материал, например добавить в песок цемент, или увеличить толщину слоя основания дорожной одежды.

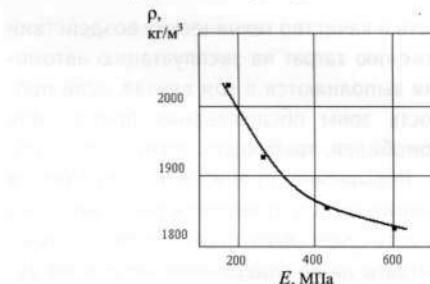


Рисунок 2 – Изменение плотности слоя основания ρ в зависимости от модуля упругости материала E

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ УСЛОВИЙ НА ОПТИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ПОСТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Характерная особенность эксплуатации автомобилей в северных регионах - неравномерный прирост наработки во времени. Другими словами, интенсивность эксплуатации автомобилей в течение года непостоянна. К одной из главных причин неравномерной эксплуатации можно отнести существенные колебания климатических условий, вследствие которых изменяются дорожные условия, частота отказов автомобилей, расход топлива и т.д. Результат таких колебаний - меняющаяся потребность автомобилей в технических воздействиях.

Своевременность и качество технических воздействий способствуют снижению затрат на эксплуатацию автомобилей. Эти условия выполняются в том случае, если пропускная способность зоны обслуживания больше или равна потоку автомобилей, требующих технического обслуживания (ТО). Повышение пропускной способности зоны путем увеличения постов приводит к росту затрат на ее содержание. То есть существуют такие параметры зоны ТО, при которых затраты на ее содержание, на ремонт автомобилей и потери от простоев из-за несвоевременного

и некачественного проведения ТО будут минимальны. Количество постов, при которых суммарные затраты минимальны, назовем оптимальным.

Существующие методики (табл. 1) не учитывают сезонных колебаний потребности парка в техническом обслуживании. Поэтому при неравномерной эксплуатации автомобилей и, следовательно, меняющемся потоке заявок на ТО использование данных методов приведет к неточному расчету числа постов. Кроме того, ни один из

Таблица 1 – Анализ существующих методик расчета количества постов технического обслуживания

Метод определения	Расчетные формулы	Авторы, предлагающие данный метод	Недостатки метода
Детерминированный	$X_{TO} = \frac{\left(t_i \cdot 60 + t_u \right) \cdot N_i}{T_{об} \cdot 60}$	Давидович Л.Н., Напольский Г.М., Колесник П.А., Шейнин В.А., Карташов В.П., Кузнецов Е.С., Янчевский В.А., Фролов В.М., Болдин А.П. и др.	Используемая при расчете суточная производственная программа N_i является средней в течение рассматриваемого периода. Следовательно, сезонные и случайные колебания во внимание не берутся. Не учитываются затраты на строительство и содержание постов.
Вероятностный	$X_{TO} = X_1 + X_2$ $X_1 = \frac{T_o}{\phi_s P_o}$ $X_2 = \frac{L_n}{N_{тех.} \cdot \tau_{ав}}$	Напольский Г.М., Кирсанов Е.А., Шейнин А.М., Буянов В.В.	При расчете используются формулы теории массового обслуживания, которые справедливы только для пуссоновского потока. В случае неравномерной эксплуатации пуссоновский поток для описания заявок на ТО не подходит. Составляющая X_2 учитывает случайные колебания потока заявок на ТО. Сезонные колебания при расчете не учитываются. Не учитываются затраты на строительство и содержание постов.
Введение корректирующего коэффициента ϕ	$\Pi = \frac{T_f \cdot \phi}{D_{pt} \cdot C \cdot \sigma \cdot \rho \cdot K_{исп}}$	ОНТП 01-91, Довбня Б.Е.[1]	Увеличивает количество постов ТО для обслуживания дополнительных заявок при случайных колебаниях потока. Сезонные колебания не рассматриваются. Не учитываются затраты на строительство и содержание постов.

методов не учитывает затраты на содержание самой зоны ТО и на ее строительство.

Зная объективные закономерности изменения оптимального количества постов от факторов, характеризующих неравномерность потока заявок на ТО, можно использовать существующие методики с применением корректирующих коэффициентов. Однако аналитическим методом не представляется возможным получить адекватные модели, описывающие работу зоны ТО, в силу того что большинство факторов имеют периодическую и (или) случайную составляющие. В таких случаях целесообразно применить имитационное моделирование [2], а разработка модели требует использование системного подхода.

Рассмотрим схему формирования оптимального количества постов ТО по минимуму суммарных затрат (рис. 1).



Рисунок 1 – Формирование оптимального количества постов

Таблица 2 – Результаты обработки данных о фактической периодичности ТО

Предприятие, город	Количество автомобилей	Марка	Закон распределения трудоемкости ТО-1	Закон распределения трудоемкости ТО-2
УТГиСТ-3 ООО «Сургутгазпром», г. Тюмень, г. Сургут	139	«Урал»	Логнормальный	Логнормальный
ЗАО «Аэродромдорстрой», г. Тюмень	111	КамАЗ	Логнормальный	Нормальный
ЗАО «Аэродромдорстрой», г. Тюмень	70	Volvo	Логнормальный	
ОАО «Городское хозяйство», г. Муравленко	75	КамАЗ	Логнормальный	Нормальный
ООО «ЮАТ-1», г. Нефтеюганск	168	«Урал»	Нормальный	Нормальный
ООО «ЮАТ-1», г. Нефтеюганск	235	КамАЗ	Нормальный	Логнормальный
УТГ НГДУ «Быстринскнефть» г. Сургут	168	«Урал»	Логнормальный	Нормальный
ООО «ПЯУАТ», г. Пыть-Ях	72	УАЗ	Нормальный	Логнормальный

Таблица 3 – Результаты обработки данных о фактической трудоемкости ТО

Предприятие, город	Количество автомобилей	Марка	Закон распределения трудоемкости ТО-1	Закон распределения трудоемкости ТО-2
УТГиСТ-3 ООО «Сургутгазпром», г. Тюмень, г. Сургут	139	«Урал»	Логнормальный	Логнормальный
ЗАО «Аэродромдорстрой», г. Тюмень	111	КамАЗ	Логнормальный	Логнормальный
ООО «ЮАТ-1», г. Нефтеюганск	168	«Урал»	Нормальный	Нормальный
ООО «ЮАТ-1», г. Нефтеюганск	235	КамАЗ	Нормальный	Логнормальный

Поток заявок на ТО является производным от числа автомобилей в парке Acc , интенсивности эксплуатации автомобилей L_{mes} и периодичности ТО. С учетом трудоемкости обслуживания каждой заявки t то формируется программа ТО $\sum t_{TO}$, которая в разные периоды времени будет принимать разные значения. Параметры зоны ТО, которые включают количество исполнителей на посту N_{pp} , фонд рабочего времени поста Φ_p и число постов X_{TO} , оказывают влияние на время ожидания обслуживания Тож и изменяют интенсивность отказов автомобилей λ_{tp} из-за несвоевременного проведения ТО, а также формируют затраты на содержание зоны Зод и строительство Зстр в случае проектируемого предприятия. Время ожидания обслуживания формируют затраты от простоя автомобилей Зпр, а интенсивность отказов – затраты на текущий ремонт (TP) Зтр. После определения суммарных затрат для разных вариантов параметров зоны выбирается оптимальный вариант.

Для создания имитационной модели формирования и обслуживания заявок на ТО необходимо установить связи между элементами системы.

Для описания закономерностей изменения интенсивности эксплуатации автомобилей использована модель, предложенная профессором Н.С. Захаровым,

$$L = L_C + L_T + L_P ,$$

где L_C – трендовое значение интенсивности эксплуатации;

L_T – сезонная компонента интенсивности эксплуатации;

L_P – случайная компонента интенсивности эксплуатации.

Описание закономерностей изменения периодичности и трудоемкости обслуживания осуществляется законом распределения. Для определения вида и численных значений параметров закона проведен пассивный эксперимент. Сбор статистических данных осуществлялся на семи автотранспортных предприятиях Тюменской области. Результаты обработки данных представлены в табл. 2 и 3.

Формирование затрат на ТР, связанных с несвоевременным проведением ТО, осуществляется на основе изменения вероятности отказа автомобиля, которая определяется в соответствии с законом распределения наработки автомобилей на отказ (рис. 2).

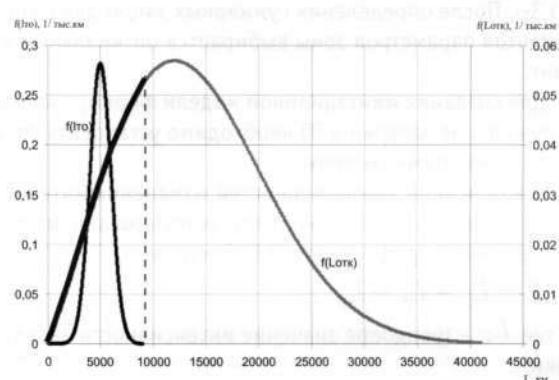


Рисунок 2 – Изменения вероятности безотказной работы автомобиля в зависимости от несвоевременного проведения ТО

Максимальный пробег между обслуживаниями соответствует крайней правой точке кривой распределения периодичности ТО $f(l_{\text{то}})$.

Таким образом, изменение вероятности отказа автомобиля от несвоевременного обслуживания можно оценить по левой части кривой распределения наработки на отказ $f(L_{отк})$. Вид и параметры закона определены на основе пассивного эксперимента.

Оценка неравномерности интенсивности эксплуатации осуществлялась с помощью коэффициента неравномерности

$$\varphi = \frac{L_{cp} + \Delta L_{max}}{L_{cn}},$$

где $L_{ср}$ – среднее значение интенсивности эксплуатации автомобиля за год, км/мес;

ΔL_{\max} – максимальное отклонение интенсивности эксплуатации от среднего значения, км/мес.

На основании закономерностей взаимодействия элементов системы разработана блок-схема имитационной модели (рис. 3) формирования и обслуживания заявок

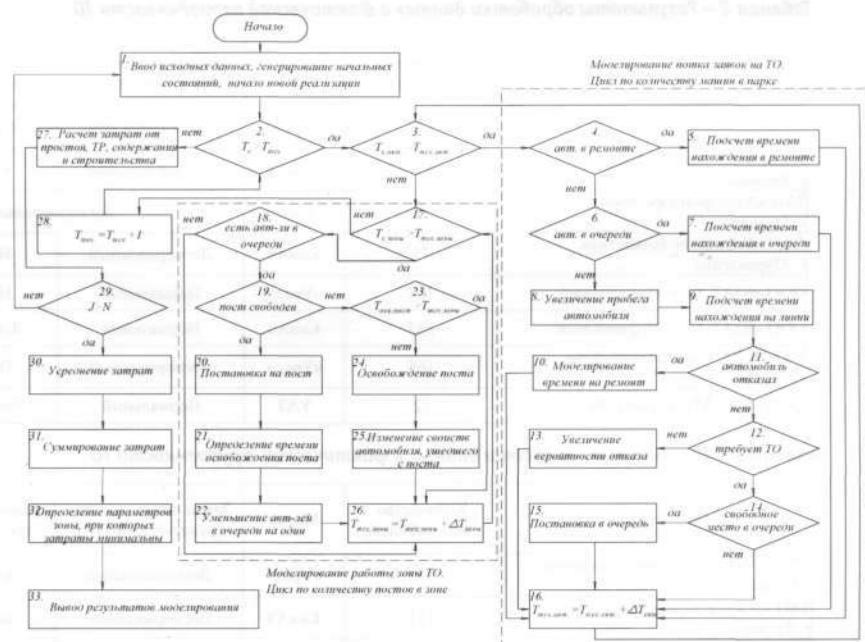


Рисунок 3 – Блок-схема имитационной модели

на ТО. Модель реализована в среде программирования Delphi 7 (рис. 4).

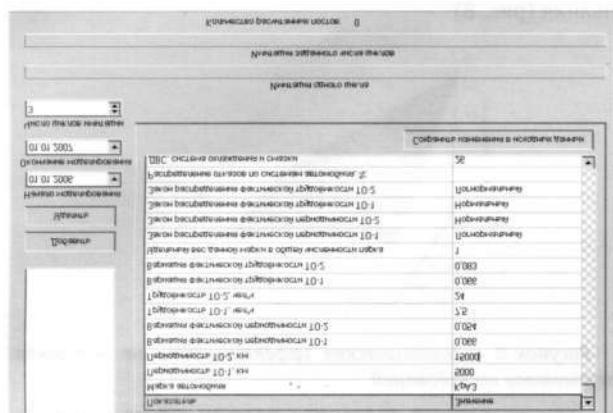


Рисунок 4 – Главное окно программы моделирования работы зоны ТО

На основе анализа ранее выполненных исследований и изучения асимптотик предложены гипотезы о виде закономерностей изменения оптимального числа постов от коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации, количества автомобилей в парке, часовой тарифной ставки автомобиля и суточного фонда рабочего времени поста. Зависимость оптимального количества постов от коэффициента неравномерности и часовой тарифной ставки автомобиля описывается логарифмической кривой, от суточного фонда рабочего времени поста – гиперболой, а от числа автомобилей в парке – линейной моделью.

Для нахождения параметров моделей и оценки их адекватности составлена матрица плана эксперимента и определено количество испытаний в каждой точке матрицы. Результаты эксперимента обрабатывались в программе Regress 2.5 [3]. Адекватность моделей определялась по критерию Фишера и средней ошибке аппроксимации.

В результате эксперимента гипотезы о видах моделей были подтверждены. Во всех случаях использовались аддитивные модели со смешанным эффектом, уровень адекватности превышал значение 0,95, а сами модели имеют вид:

$$X_{onm} = 0,034 A_{cc} \ln(\phi) + 0,045 A_{cc} - 2,44 \ln(\phi); (1)$$

$$X_{onm} = \frac{41,58 \ln(\phi)}{\phi^{0,76}} + 6,81 \ln(\phi) + \frac{118,57}{\phi^{0,76}} - 2; (2)$$

$$X_{onm} = 18,48 \ln(C_u) \ln(\phi) - 1,77 \ln(C_v) - 99,4 \ln(\phi) + 28,3, (3)$$

где X_{opt} – оптимальное число постов ТО;
 A_{cc} – количество автомобилей в парке;
 ϕ – коэффициент неравномерности;

C_u – часовая тарифная ставка автомобиля, руб./ч;

Φ – суточный фонд рабочего времени поста, ч.

В графическом виде модели представлены на рис. 5–7.

С помощью имитационной модели оценена целесообразность изменения метода организации работ ТО. Установлено, что при увеличении коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации переходит на поточный метод организации работ ТО целесообразнее при меньшей суточной программе ТО (табл. 4).

Таблица 4 – Значения суточной программы для перехода на поточный метод организации работ ТО

Коэффициент неравномерности	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Суточная программа по ТО-1/ ТО-2	20/7	14/5	11/4	10/3	9/3	7/2

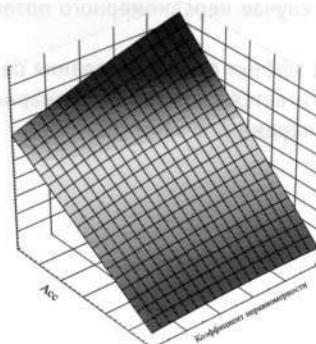


Рисунок 5 – Влияние коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации и количества автомобилей в парке на оптимальное число постов ТО (на примере группы автомобилей марки КамАЗ)

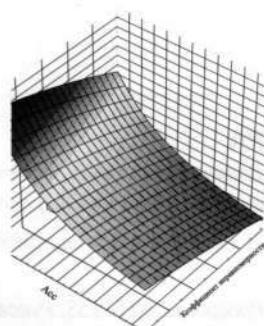


Рисунок 6 – Влияние коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации и суточного фонда рабочего времени поста на оптимальное число постов ТО (на примере группы автомобилей марки КамАЗ)

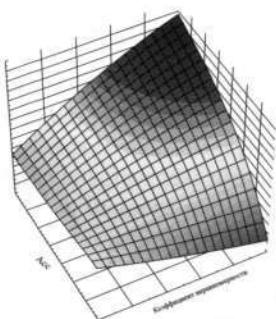


Рисунок 7 – Влияние коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации и часовой тарифной ставки автомобилей на оптимальное число постов ТО (на примере группы автомобилей марки КамАЗ)

Таким образом, полученные закономерности позволяют корректировать существующие методики расчета и использовать их в случае неравномерного потока требований на ТО.

Экономический эффект от использования результатов исследований достигается снижением суммарных затрат за счет изменения параметров зоны ТО.

На имитационной модели произведена оценка экономического эффекта от использования результатов исследования (рис. 8)

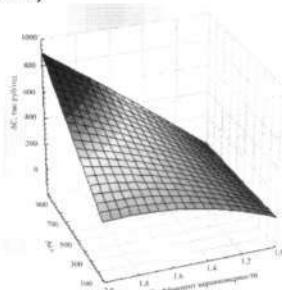


Рисунок 8 – Экономическая эффективность от внедрения результатов исследований

при различных значениях коэффициента неравномерности интенсивности эксплуатации и количества автомобилей в парке. Нужно отметить, что при повышении коэффициента неравномерности и увеличении количества автомобилей в парке эффективность использования разработанной имитационной модели возрастает. В случае если интенсивность эксплуатации автомобилей на предприятии имеет незначительные колебания и, следовательно, коэффициент неравномерности равен единице, то результаты расчета числа постов с использованием модели незначительно отличаются от расчетов по существующим методикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Довбня Б.Е. Влияние сезонных изменений интенсивности эксплуатации на производственную программу предприятий по техническому обслуживанию автомобилей: Дис.... канд. техн. наук. - Тюмень, 2000. - 190 с.
2. Завадский Ю.В. Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования. - М.: Транспорт, 1977.-72с.
3. Захаров Н.С. Программа REGRESS. Руководство пользователя. - Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. - 40 с.

Александр Михайлович Боровских, к.т.н., профессор, Василий Васильевич Покачалов, инженер
(Уральский государственный лесотехнический университет)

УТЕЧКИ ГАЗОВ ИЗ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В КАРТЕР

На железнодорожном и автомобильном транспорте в качестве силовых установок широко применяются двигатели внутреннего сгорания. Они устанавливаются на тепловозы, автомобили, тракторы и другие транспортные машины. От работы двигателей, их качества во многом зависит производительность этих машин, их экономичность, мощность, потребление горючесмазочных материалов. На эти параметры существенно влияют работа поршневых колец и утечка газов из камеры сгорания в картер. Однако вопросы утечки газов исследованы недостаточно.

Для дальнейшего изучения этой проблемы в Свердловской сельскохозяйственной академии была оборудована экспериментальная установка. Она состояла из одноцилиндрового дизельного двигателя ОД-9, электрического стенда КИ-1363-Б, пульта управления, дымометра, часов, электротахометра, манометров и термометров масла, топлива и воды, трубопроводов, кранов, газовых счетчиков, вакуумного насоса, его электродвигателя, дифманометра, мерного бака (рис. 1).

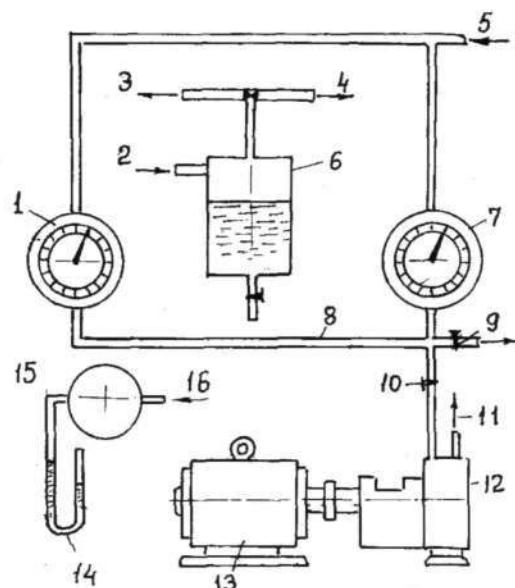


Рисунок 1 – Схема установки для измерения утечек газов из камеры сгорания: 1, 7 – газовые счетчики; 2 – масло из картера; 3 – газы в атмосфере; 4 – газы в картере; 5 – газы из картера; 6 – мерный бак; 8 – трубопроводы; 9 – кран в атмосферу; 10 – кран в вакуумный насос; 11 – газы в атмосфере; 12 – вакуумный насос; 13 – электромотор; 14 – дифманометр; 15 – ресивер; 16 – трубка для сообщения с картером

Замер утечки газов через кольцевое уплотнение поршня проводился двумя методами: при избыточном давлении

в картере и при разрежении [1].

Утечку газов через уплотнение поршня при избыточном давлении в картере замеряли с помощью газовых счетчиков барабанного типа 1 (см. рис. 1), которые своей входной стороной подключались к картеру двигателя, а выходной – в атмосферу. К картеру двигателя присоединялся водяной манометр 14, который служил для контроля давления или разряжения в картере двигателя. Для повышения точности при замере подключались параллельно два газовых счетчика, их данные суммировались. Чтобы не было утечек газов с маслом, минуя счетчики, масло из картера при замере его расхода подавалось в мерный бак, где газы отделялись от масла и возвращались в картер. Для замера утечек газов открывался кран 9 и закрывался кран 10. Газы из картера по трубе 5 поступали в счетчики 1 и 7 и по трубе 8 и крану 9 выходили в атмосферу.

По второму методу (при разрежении в картере) включался в работу вакуумный насос 7. Кран 9 закрывался, а кран 10 открывался, и в картере создавали небольшое разряжение. Его величина поддерживалась на уровне 15–20 мм вод. ст.

Утечки отмечались по счетчикам 1 и 7 через 20, 40 и 60 ч работы двигателя. Результаты испытаний представлены на рис. 2.

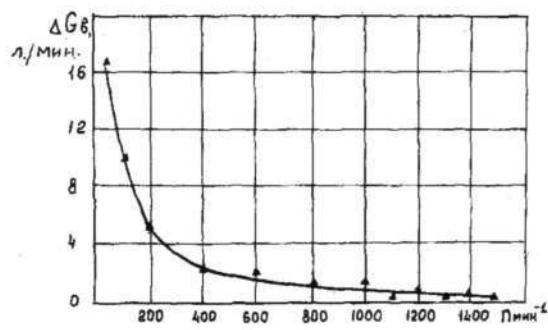


Рисунок 2 – Утечка газов в картер в зависимости от скоростного режима



Как показали исследования, величина прорыва газов в картер двигателя значительно зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. Чем больше частота вращения, тем меньше утечка газов в картер двигателя. Это обусловливается уменьшением времени протекания процессов сжатия и расширения, а следовательно, значительным сокращением времени установившегося процесса перетекания газов в картер. Кроме того, этому перетеканию газов предшествуют переходные процессы вытеснения масла из зазоров поршневых колец и образование свободных проходов для газов. Время, затраченное на данные процессы, зависит от подвижности колец, вязкости масла и давления газов, его можно принять приблизительно постоянным. Значит, с увеличением частоты вращения продолжительность времени чистой утечки газов становится все меньше. Это и приводит к снижению утечки газов в единицу времени. Опыты проводились на серийном поршне, имеющем семь колец: три компрессионных и четыре маслосъемных.

В работе исследовалось влияние угла опережения впрыска на утечку газов в картер двигателя. Результаты опытов показаны на рис. 3.

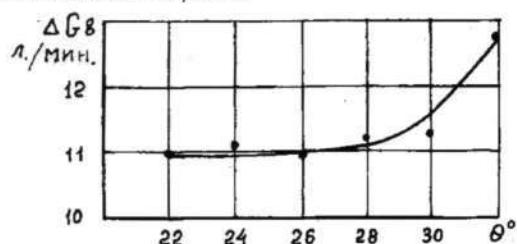


Рисунок 3 – Утечка газов в картер в зависимости от угла опережения впрыска топлива θ °

Как видно из рис. 3, повышение утечки газа в картер при увеличении угла опережения впрыска топлива объясняется возрастанием давления в цилиндре двигателя. При этом перепад давления между надпоршневым пространством и картером двигателя увеличивается. Более резкое возрастание давления наблюдается при увеличении угла опережения от 26 до 32° поворота коленчатого вала. Это имеет прямую связь с процессом сгорания топлива. Как отмечалось ранее, при этом увеличивалась и жесткость работы двигателя.

Таким образом, утечки газа из надпоршневого пространства особенно велики при небольшой частоте вращения двигателя, т. е. при пуске, что, естественно, затрудняет пуск двигателя, и они возрастают с увеличением угла опережения впрыска топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование эффективности работы поршней с различным количеством поршневых колец: Технический отчет /А.Г. Морозов, А.И. Скоморохов, В.В. Покачалов и др. - Екатеринбург: ТМЗ, 1978.

ПРАВИЛА НАПИСАНИЯ СТАТЕЙ

1. В редакцию направляется текст статьи с информацией об авторах, шифром УДК, двухязычной аннотацией с выделенными ключевыми словами, списком литературы, графиками, рисунками и таблицами. К тексту прилагается сопроводительное письмо и рецензия, заверенная у секретаря ученого совета. 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), набор формул и пояснительных символов производить с помощью редактора формул. Формат страницы А4, шрифт Times New Roman Сиг, 14 кегль, полуторный интервал. Все поля по 2 см.

3. Рисунки представляются в электронном виде в форматах *.tiff, *.jpeg (Adobe Photoshop). 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 электронном виде в формате *.xls (Microsoft Excel) или *.doc, *.rtf (Microsoft Word).

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. 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.

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



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

Адрес редакции: Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, 245-01-34
e-mail: vsay@nis.usurt.ru, Ineverova@nis.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

С 1 января 2007 г. журнал включен ВАКОм в перечень периодических, научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

Отпечатано в ПК «Лазурь» (г. Реж). Заказ № 592. Тираж 1000 экз. Подписано в печать 15.03.08

*Открыта подписка на научно-технический журнал "Транспорт Урала".
Стоимость одного номера 118 рублей. Периодичность 4 номера в год.*

Министерство связи Российской Федерации		Ф СП - 1												
АБОНЕМЕНТ на		46463 (индекс издания)												
Транспорт Урала		Количество комплектов												
На 2008 год по месяцам														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Куда		(почтовый индекс)	(адрес)											
Кому		Линия отреза												
ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА		46463 (индекс издания)												
Транспорт Урала		На												
Стоимость	подписки переад- ресовки	руб.	коп.	Количество	комплектов									
		руб.	коп.											
На 2008 год по месяцам		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
посыпый индекс		город												
		село												
		область												
код улицы		район												
		улица												
дом	корпус	квартира	Фамилия И. О.											
X														



ГОУВПО Уральский государственный
университет путей сообщения

Научно-исследовательская лаборатория
«Компьютерные системы автоматики»

Разработки

- Станционные системы железнодорожной автоматики:
 - Релейно-процессорная централизация ЭЦ-МПК
 - Микропроцессорная централизация МПЦ-МПК
 - Система технической диагностики СТД-МПК
- Диспетчерская централизация ДЦ-МПК
- Комплексная автоматизированная система диспетческого управления метрополитеном (КАС-ДУ):
 - Система управления движением поездов
 - Система построения нормативного и исполненного графиков движения
 - Система управления освещением и вентиляцией
 - Система управления эскалаторами
 - Система управления энергоснабжением
 - Система учета и анализа работы линий метрополитена

*Автоматизированная система оперативного диспетческого управления грузоперевозками (АСОДУ ГП)



Внедрения

- система ЭЦ-МПК сдана в постоянную эксплуатацию на 32 станциях магистрального и промышленного транспорта России и Казахстана с общим количеством стрелок более 1000;
- сдана в постоянную эксплуатацию система ДЦ-МПК на 5 диспетчерских кругах Куйбышевской ж.д.;
- разработаны проекты оборудования системой ЭЦ-МПК 40 станций с общим количеством более 1000 стрелок;
- в постоянную эксплуатацию сдана Комплексная автоматизированная система диспетческого управления в Петербургском, Нижегородском, Самарском и Екатеринбургском метрополитенах;
- в Петербургском метрополитене введена в эксплуатацию система автоворедения;
- введена в эксплуатацию автоматизированная система управления устройствами подводного автодорожного тоннеля;
- лабораторные установки систем ЭЦ-МПК, МПЦ-МПК и ДЦ-МПК функционируют в 6 ВУЗах и 1 колледже России.

Адрес:

620107. г.Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, корп. Б
тел./факс. (343) 358 - 56 - 07 e-mail: std-mpk@yandex.ru