

На правах рукописи

Сиромаха Валерий Николаевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность 05.09.03 – «Электротехнические комплексы и системы»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2009 год

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ)».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Бадёр Михаил Петрович (МИИТ)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Жарков Юрий Иванович (РГУПС)

кандидат технических наук  
Бакеев Евгений Евгеньевич (ВНИИЖТ)

Ведущее предприятие: ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д218.005.02 при Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) по адресу: 127994, ГСП – 4 г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, аудитория \_\_\_\_\_.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



д.т.н., старший научный  
сотрудник Н.Н.Сидорова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

**Актуальность темы.** Увеличение объемов работ по реконструкции и ремонту оборудования системы электроснабжения железнодорожного транспорта вызывает увеличение нагрузки на энергодиспетчера и, как следствие, повышает вероятность ошибочных действий. Особенно это актуально для последних лет, в связи с дефицитом квалифицированных кадров. Современные компьютеры позволяют реализовать новые технологии работы энергодиспетчера, обеспечивающие повышение производительности труда энергодиспетчера и безопасности работ по эксплуатации системы электроснабжения железнодорожного транспорта. Разработка новых технологий должна базироваться на исследовании работы энергодиспетчера, в том числе статистическими методами и математическим моделированием.

Главная тенденция при создании новых систем управления – значительное расширение функциональности. Большинство эксплуатируемых на дорогах систем телемеханики не отвечают современным требованиям. Большое количество сбоев и ошибок при передаче команд телеуправления и сообщений телесигнализации не позволяет эффективно использовать новые технологии работы энергодиспетчера. Необходим переход на новые, более защищенные, протоколы передачи информации. В условиях ограниченного финансирования и сворачивания инвестиционных программ становится актуальна модернизация действующих систем телемеханики. Необходимо создание и интеграция в единую систему управления подсистем поддержки и контроля действий энергодиспетчера, диагностики оборудования. Это позволит осуществлять эффективное управление режимами работы системы, перейти к обслуживанию по состоянию.

**Цель работы.** Исследование работы энергодиспетчера в современных условиях и разработка новых технических решений для автоматизации энергодиспетчерского управления электроснабжением электрифицированных железных дорог.

**Постановка задачи.** В соответствии с целью работы поставлены следующие задачи исследований:

а) произвести анализ структуры и задач энергодиспетчерского управления, исследовать оперативную работу энергодиспетчера дистанции электроснабжения в современных условиях;

б) выполнить математическое моделирование основных производственных функций энергодиспетчера дистанции электроснабжения для выбора основных направлений автоматизации;

в) предложить новые принципы реализации системы телемеханики для повышения эффективности оперативного руководства технологическими процессами в системе электроснабжения;

г) разработать технологическое обеспечение работы энергодиспетчера с использованием автоматизированного рабочего места;

е) разработать структурные решения и аппаратное и программное обеспечение автоматизированных рабочих мест энергодиспетчера центрального энергодиспетчерского пункта дороги и дистанции электроснабжения.

**Объект и методы исследования.** В работе в качестве объектов исследования выбраны энергодиспетчерские круги Московской, Октябрьской, Северной, Куйбышевской железных дорог. Теоретические исследования базируются на основных положениях и методах математической статистики, математического моделирования, теории передачи информации, теоретических основ электротехники.

### **Научная новизна**

1. Произведен статистический анализ основных функций энергодиспетчера, осуществляющего оперативное управление работами в системе электроснабжения электрических железных дорог.

2. Разработаны математические модели информационных процессов оперативного управления системы электроснабжения электрических железных дорог, позволяющие оценить временные параметры для новых технологий оперативного управления электроснабжением.

3. Предложена методика формирования типовых заявок для работ на контактной сети.

4. Сформулированы критерии рациональной конфигурации типовых заявок для работ на контактной сети, учитывающие способы выделения секций.

5. Предложены принципы модернизация системы телемеханики с передачей команд телеуправления и сообщений телесигнализации в цифровых протоколах по существующим тональным каналам связи, а диагностической информации и телеизмерений с использованием сетей ОАО

«РЖД».

6. Предложена концепция динамического щита телесигнализации.

**Практическая ценность.** Повышение производительности труда энергодиспетчеров и обеспечение безопасных условий производства ремонтных, аварийно-восстановительных работ в системе электроснабжения электрических железных дорог за счёт использования компьютерных технологий как в действиях энергодиспетчера, связанных с переключением аппаратуры и контролем её состояния, так и при документировании различных процедур его оперативной работы.

**Реализация результатов работы.** По результатам проведенных исследований разработано программное и аппаратное обеспечение ЦЭДП и автоматизированного рабочего места энергодиспетчера АРМ ЭЧЦ. Программное обеспечение передано в ОФАП. По сети дорог РФ внедрено 7 АРМ ЦЭДП дороги, в состав которых входит более 150 АРМ ЭЧЦ. Программное и аппаратное обеспечение АРМ ЭЧЦ вошло в состав диспетчерского полукомплекта системы телемеханики МСТ-95, выпускаемой заводом МЭЗ ОАО РЖД. Изготовлено и поставлено на дороги более 100 комплектов телемеханики. Разработана методика составления типовых заявок. Типовые заявки, составленные по предложенной методике, используются на дистанциях электроснабжения Куйбышевской, Московской и Восточно - Сибирской железных дорог.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на научно-практической конференции Неделя науки – 2008 «Наука – Транспорту» в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) в 2008 году.

**Публикации.** Материалы, отражающие основное содержание работы, опубликованы в шести научных трудах, из них одна публикация в издании рекомендованном ВАК:

Электроника и электрооборудование транспорта. 2009. №4.

**Объем работы.** Диссертация состоит из главы, посвященной обзору и анализу существующих методов и технических решений по автоматизации энергодиспетчерского управления, шести глав основного содержания работы, заключения, трех приложений и списка литературы. Работа общим объемом 210 страниц содержит 150 страниц основного машинописного текста, 55 рисунков, 26 таблиц, в перечне использованных источников 40 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** представлен обзор методов и технических решений по автоматизации энергодиспетчерского управления.

Обеспечение безопасных условий работ, проводимых по хозяйству электроснабжения, в значительной мере осуществляет энергодиспетчер, поэтому нужен анализ работы энергодиспетчеров различных уровней управления в современных условиях, с использованием более свежих статистических данных. Исследование оперативной работы энергодиспетчера с использованием метода моделирования информационных процессов позволит оценить временные параметры его работы и определить основные направления автоматизации.

В 90-е годы на электрифицированных железных дорогах стали широко внедряться новые системы телемеханики. В системе телемеханики МСТ-95 был заложен ряд новых принципиальных решений. Однако расширение функциональности системы телемеханики невозможно без перехода на современные цифровые протоколы и форматы передачи данных. Система телемеханики АСТМУ, разработанная НИИЭФА – это аппаратура, которая принципиально отличалась от ранее выпускаемой телемеханики применением цифровых протоколов передачи данных и использованием микроконтроллеров в оборудовании контролируемых пунктов. Внедрение указанной аппаратуры было затруднено используемыми принципами организации системы связи. В системе телемеханики АМТ, разработанной специалистами МЭЗ ОАО РЖД, используются высокоскоростные сети передачи данных и протоколы TCP/IP. Использование такого подхода вызывает трудности при подключении контролируемых пунктов, удаленных от точек подключения к сети. Действующие отраслевые документы не предусматривают применение протоколов TCP/IP для телеуправления. Таким образом, нужна такая структура системы телемеханики, которая обеспечит использование существующих каналов связи телемеханики, повышение уровня защиты передаваемой информации и расширение функциональности.

Оснащение энергодиспетчера автоматизированным рабочим местом (АРМ ЭЦЦ) позволяет избежать большого количества рутинных действий ЭЦЦ по оперативному управлению и документированию различных видов его производственной деятельности. Несмотря на наличие на сети дорог АРМ

ЭЦЦ обеспечивающих программную реализацию указанного метода, он не используется в должной мере. Одна из причин – трудности при подготовке типовых заявок. Для упрощения подготовки типовых заявок необходима разработка универсальной методики.

Повышению эффективности управления системой электроснабжения способствует создание центральных энергодиспетчерских пунктов в составе ЕДЦУ дороги. Использование для передачи информации корпоративной сети может обеспечить получение на ЦЭДП не только телесигнализации, но и всей информации об оперативной работе участков энергодиспетчеров.

Выполнен обзорный анализ методов и технических решений в области автоматизации работы энергодиспетчера в работах Е.Е.Бакеева, О.В.Грибачева, Ю.И.Жаркова, В.В.Иванова, В.Я.Овласюка, А.В.Саморукова, Ю.Г.Спивака, Н.Д.Сухопрудского и др.

**Во второй главе** выполнен анализ задач диспетчерского управления электроснабжением железнодорожного транспорта, дана классификация оперативных действий энергодиспетчеров различных уровней управления, выполнен количественный анализ обслуженных заявок и согласований на работы для энергодиспетчерского круга дистанции электроснабжения.



Рис.1 – Классификация оперативных действий энергодиспетчера дистанции электроснабжения.

Энергодиспетчер осуществляет оперативное управление системой электроснабжения в пределах своего уровня. Чем ближе уровень иерархии в централизации к перевозочному процессу, тем более детальные и конкретные

функции возлагаются на энергодиспетчеров. Анализируя задачи, возникающие перед энергодиспетчерами различных уровней управления, необходимо исследовать оперативные действия в различных аспектах их деятельности. На рис.1 представлена классификация оперативных действий энергодиспетчера дистанции электроснабжения. В работе основной объект исследования - это блок №1.

Одной из основных задач энергодиспетчера является своевременное обслуживание работ на контактной сети, оформленных в виде рабочих заявок. Именно от максимального количества заявок, обслуженных энергодиспетчером за сутки, зависит надежная и безаварийная работа системы электроснабжения, а определение максимальной оперативной нагрузки энергодиспетчера за сутки, является определяющим фактором для автоматизации его работы. На рис. 2 показана гистограмма частоты предоставления максимального количества окон для работ на контактной сети за сутки  $k$ , по результатам статистического опыта для ЭЦ-12 Октябрьской дороги за 3,5 года. В статистическом опыте использовано 850 реализаций.

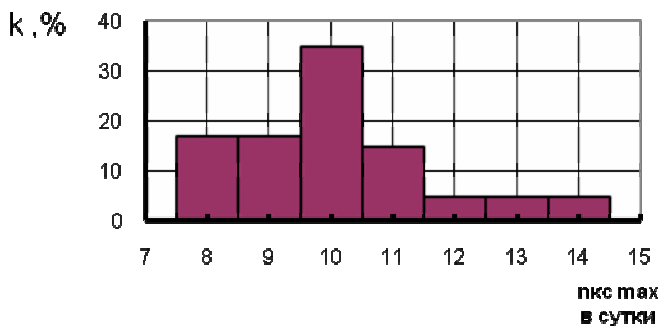


Рис. 2 – Гистограмма максимального количества окон для работ на контактной сети за сутки

На рис. 3 представлен максимальной количество обслуженных ЭЦ заявок за сутки работы энергодиспетчерского пункта. Анализ произведён по материалам оперативной деятельности ЭЦ-12 Октябрьской железной дороги за 3,5 года. Выявлена связь между общим количеством обслуженных заявок  $n$



за месяц работы ЭЧЦ и максимальным количеством обслуженных заявок  $n_{\text{кстmax}}$  для работ на контактной сети за сутки.

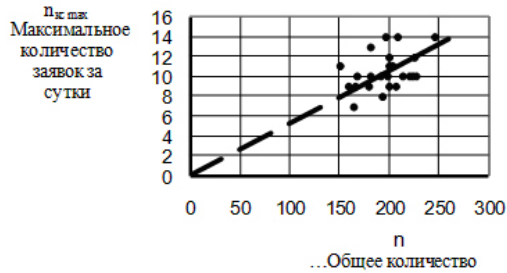


Рис. 3 – Зависимость максимального количества заявок в сутки от общего количества обслуженных заявок в течение месяца

Рассчитан максимальный объём заявок, реализованных ЭЧЦ за сутки для Куйбышевской и Московской дорог.

**В третьей главе** представлены результаты математического моделирования плановых работ по текущему содержанию и ремонту, занимающих наибольшее время оперативной работы ЭЧЦ. Плановые работы включают следующие процедуры: «согласование» работ; «прием и обработка» заявок на работы; «обеспечение» работ.

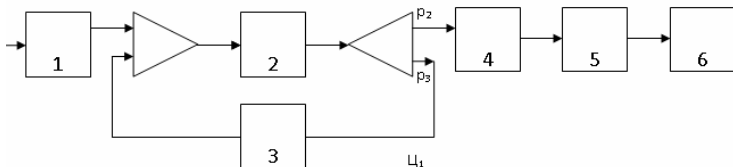


Рис. 4 – Модель информационного процесса «согласование работы в системе электроснабжения»

Используем метод исследования логических схем информационных процессов, который позволяет оценить временные характеристики процесса. Согласно методу осуществляется синтез некоторой логической схемы, адекватной исследуемому информационному процессу, включающей « типовые » элементы и логические связи. Логическая схема процедуры «согласования» энергодиспетчером работ представлена на рис. 4.

Каждый блок на схеме – рабочая операция:

1 – обращение клиента (производителя) к энергодиспетчеру с временными параметрами:  $\bar{m}_1$  – среднее время обращения,  $\sigma_1^2$  – дисперсия;

4 – формирование акта «согласования» энергодиспетчером работы с параметрами:  $\bar{m}_2$  и  $\sigma_2^2$ ;

5 – регистрация «согласования» в оперативном журнале или на мониторе АРМ с параметрами  $\bar{m}_5$  и  $\sigma_5^2$ ;

6 – длительность передачи по селектору факта «согласования» с параметрами  $\bar{m}_6$  и  $\sigma_6^2$ ;

Цикл Ц1 содержит:

2 – длительность запроса клиента о характере «согласования»;

3 – длительность диалога ЭЧЦ - клиент о содержании работ по «согласованию» с параметрами  $\bar{m}_2$  и  $\sigma_2^2$  и  $\bar{m}_3$  и  $\sigma_3^2$ .

На выходе цикла имеем логическую операцию разветвитель «ИЛИ» по вероятностям  $(p_1, p_2)$ .

Математическое ожидание времени «согласования» исследуемой модели определяется суммой всех звеньев:

$$m_0 = \sum_{i=1}^n m_i = m_1 + m_{Ц1} + m_4 + m_5; \quad (1)$$

Дисперсия определяется суммой дисперсий звеньев:

$$\sigma_0^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 = \sigma_1^2 + \sigma_{Ц1}^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \dots; \quad (2)$$

Параметры цикла определяются выражениями:

$$\bar{t}_{Ц1} = \frac{m_2 + p_2 m_3}{p_1}; \quad (3)$$

$$\sigma_{Ц1}^2 = [(m_2 + m_3)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2] + (1 + p_2) - \frac{2[m_3(m_2 + m_3) + \sigma_3^2]}{p_1} + m_3^2 + \sigma_3^2 - m_{Ц1}^2. \quad (4)$$

Значения математических ожиданий и дисперсий рабочих операций отдельных блоков модели определяются в результате хронометража оперативной работы энергодиспетчеров.

Процедуры с заявками на работы разделяются на составляющие: «прием и обработка заявок» (ПОЗ) и «пуск заявок в работу» (ПЗР).

Обобщенная логическая схема модели информационного процесса ПОЗ включает: прием заявок с формированием массива заявок для работ на предстоящую рабочую смену –  $T_{\text{прн}}$ , обработка сформированного массива –  $T_{\text{обр}}$ , документирование принятого и обработанного массива –  $T_{\text{дм}}$ . Принятие каждой заявки представляет процесс из элементарных операций: обращение клиента (производителя) к ЭЦЦ по селектору, принятие текста заявки по селектору, обратное повторение текста заявки энергодиспетчером, проверка статуса заявки, закрытие путей, осуществление коррекции выявленных ошибок. Общее время для принимаемых заявок:

$$T_{\text{прн}} = \sum_{i=1}^k T_{zi} \quad (5)$$

Из исходного массива выделяются заявки, требующие согласования с диспетчерами смежных структур. Далее выполняется проверка на достоверность по критериям дополнительные переключения и совместимость между собой. После каждой операции уменьшается необработанная информация общего массива. Последней осуществляется рабочая операция – «документирование».

Время на операцию «согласование» с поездным диспетчером:

$$T_{\text{ср1}} = \sum_{i=1}^{q_1} T_{\text{срj}}^{(\text{ДНЦ}_i)}, \quad (6)$$

где:  $q_1$  – число диспетчерских кругов ДНЦ<sub>i</sub>, входящих в сферу обслуживания круга ЭЦЦ, обычно  $q_1 = 3-4$ .

Каждая рабочая операция  $T_{\text{ср1}}^{(\text{ДНЦ}_i)}$  формализуется логической схемой, содержащей следующие блоки: «обращение» к ДНЦ<sub>i</sub>, «выборка информации» для ДНЦ<sub>i</sub>, цикл «передача-повторение» информации для ДНЦ<sub>i</sub>,

«документирование» информации для ДНЦ<sub>i</sub>. Аналогичную схему имеют процедуры «согласование» с ШЧД<sub>j</sub>, ЭЧЦ<sub>y</sub>, ПЧД<sub>y</sub>. Временные параметры их рабочих операций имеют значения, характерные для рассматриваемых конкретных диспетчерских структур. Время согласования заявок:

$$T_{cr2} = \sum_{j=1}^{q_2} T_{crj}^{(ШЧД)j}; T_{cr3} = \sum_{j=1}^{q_3} T_{crj}^{(ЭЧЦ)j}; T_{cr4} = \sum_{j=1}^{q_4} T_{crj}^{(ПЧД)j}, \quad (7)$$

где:  $q_2, q_3, q_4$  – число кругов ШЧД<sub>y</sub>, ЭЧЦ<sub>y</sub>, ПЧД<sub>y</sub>, находящихся в сфере обслуживания рассматриваемого ЭЧЦ.

Выражения для математических ожиданий времени обработки и дисперсий блоков составлены в соответствии с логическими схемами процедур:

$$m_{Tcrj} = m_{Tj1} + m_{Tj2} + m_{Tj5} + m_{TЦ1}; \quad (8)$$

$$\sigma_{crj}^2 = \sigma_{j1}^2 + \sigma_{j2}^2 + \sigma_{j5}^2 + \sigma_{Ц1}^2. \quad (9)$$

$$m_{TЦ1} = \frac{m_{Tj3} + p_2 m_{Tj4}}{p_2}; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{Ц1}^2 = & [(m_{Tj3} + m_{Tj4})^2 + \sigma_{j3}^2 + \sigma_{j4}^2](1 + p_2) - \\ & - \frac{2}{p_1} [m_{Tj4}(m_{Tj3} + m_{Tj4}) + \sigma_{j3}^2] + m_{Tj4}^2 + \sigma_{j4}^2 - m_{TЦ1}^2. \end{aligned} \quad (11)$$

Для оценки времени рабочей операции «достоверность» -  $T_{дт}$  целесообразно ее представить из трех последовательно соединенных «частных» рабочих операций по выявлению «достоверности»: заявленному точному месту работы, переключений на к.с. –  $T_{дт i}^{(к.с.)}$ , закрываемых для движения ЭПС путей –  $T_{дт i}^{(путь)}$ , переключений на ВЛ СЦБ (6-10 кВ) –  $T_{дт i}^{(СЦБ)}$ .

$$T_{дт} = \sum_{i=1}^k T_{дт i}^{(к.с.)} + \sum_{i=1}^k T_{дт i}^{(путь)} + \sum_{i=1}^k T_{дт i}^{(СЦБ)}; \quad (12)$$

где:  $k$  – количество заявок.

Математическое ожидание  $m_{T_{дт}}$  времени операции:

$$m_{T_{дт}} = \sum_{i=1}^k m_{T_{дт i}}^{(к.с.)} + \sum_{i=1}^k m_{T_{дт i}}^{(путь)} + \sum_{i=1}^k m_{T_{дт i}}^{(СЦБ)}. \quad (13)$$

Дисперсия  $\sigma_{дт}^2$  определяется как сумма дисперсий звеньев логической схемы:

$$\sigma_{дт}^2 = \sigma_{дт}^2(к.с.) + \sigma_{дт}^2(путь) + \sigma_{дт}^2(СЦБ) + \dots; \quad (14)$$

Длительность операции проверки заявок на «совместимость» между собой –  $T_{св}$  равно времени перебора всех возможных пар заявок в массиве и анализа выбранной пары на предмет возможности работы каждой из них без ущерба работы другой. Количество операций равно числу сочетаний из  $n$  заявок по два признака:

$$n_4 = C_k^2 \quad (15)$$

Время операции «совместимость» определяется суммой времени реализации всех последовательных звеньев:

$$T_{св} = \sum_{i=1}^n T_{св i} \quad (16)$$

Каждая из рабочих операций  $T_{св i}$  описывается логическими схемами, имеющими одинаковую структуру.

Процедура «обеспечение» работ на контактной сети может быть описан обобщённой логической схемой, состоящей из четырёх последовательно соединённых блоков. Суммарное время «обеспечения» –  $T_{обс}$ , равно сумме времени для реализации всех блоков:

$$T_{обс} = T_{прд} + T_{осн} + T_{увд} + T_{вст}, \quad (17)$$

где:  $T_{прд}$  – время, затраченное ЭЦД для реализации предварительных действий в процессе «обеспечения»,

$T_{осн}$  – время на основные действия энергодиспетчера,

$T_{\text{увд}}$  – время на формирование уведомления о завершении работ бригад,  
 $T_{\text{вст}}$  – время на восстановление схем после работ и открытие движения поездов.

В работе составлены логические схемы и расчетные формулы для каждого из блоков.

Выполнены проверка и анализ математического моделирования процедуры «согласование» работ и «принятие заявок» для двух энергодиспетчерских кругов Куйбышевской железной дороги. Анализировалась работа в дневную смену с хронометражем каждой элементарной операции. Анализ выполнен для традиционного метода с использованием бумажных носителей для документирования и с использованием АРМ ЭЧЦ. Результаты исследований представлены на рис.5 и рис. 6, где А – «согласование» работ по диагностированию контактной сети, Б – «согласование» работ по обходу и объезду контактной сети.

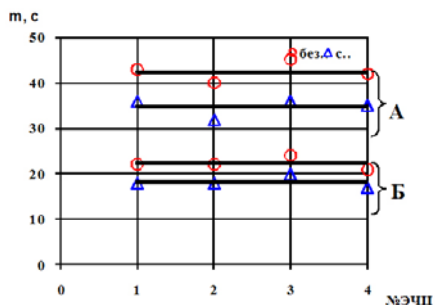


Рис. 5 – Результаты моделирования процедуры «согласование» работ

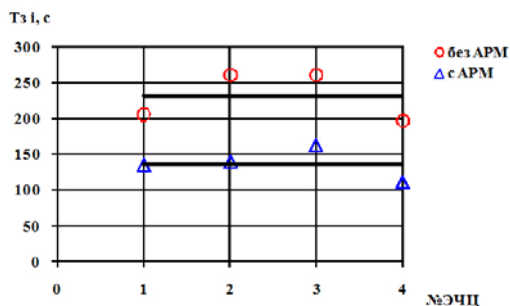


Рис. 6 – Результаты моделирования процедуры «принятие заявок» – ПРН энергодиспетчером

**В четвертой главе** рассмотрены методы передачи информации в системе управления объектами электроснабжения, предложена новая структура системы телемеханики, форматы и протоколы передачи данных.

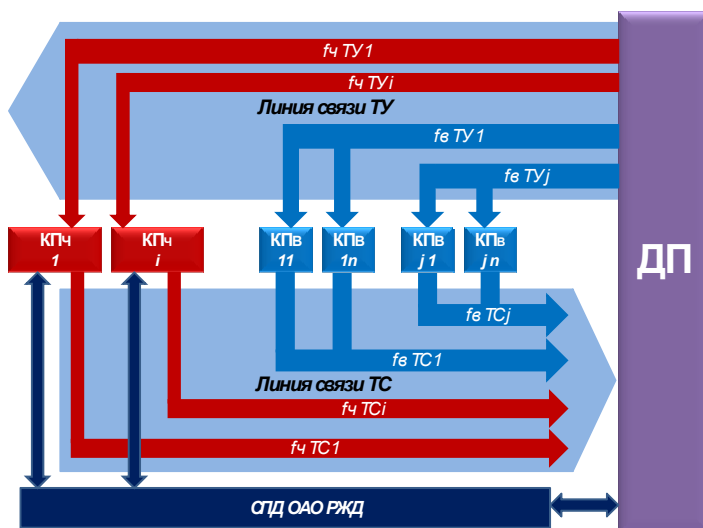


Рис. 7 – Схема и принципы организации связи в системе телемеханики

Повышение уровня защиты передаваемой информации и расширение функциональности системы телемеханики обеспечивает переход на цифровые протоколы и форматы передачи данных. Предлагается выделить функции телеуправления и телесигнализации в отдельную подсистему и осуществлять передачу команд телеуправления и сообщений телесигнализации по существующим тональным каналам связи с использованием цифровых протоколов. Передачу результатов диагностики силового оборудования осуществлять по сетям общетехнологического назначения ОАО РЖД. На рис. 7 представлена предлагаемая схема организации связи в системе телемеханики. Для каждого КП с высоким приоритетом используется один узкополосный канал в линии связи ТУ и один в линии связи ТС. Для каждой группы КП используется один узкополосный канал в линии связи ТУ и один в линии связи ТС, с разделением доступа к данному каналу связи по времени.

Структура предлагаемых к использованию кадров сообщений приведена на рис. 8. Используются следующие обозначения: В - байт начала, L - длина сообщения (передается дважды), С - поле управления (содержит информацию

о направлении сообщения, функциональном назначении кадра, классе диалоговых процедур, а также сигналы, обеспечивающие функции защиты от потерь и повторения сообщений), А - адрес КП, D - байты данных, CS - контрольная сумма (сумма байт сообщения по модулю 256), E - байт конца.

Тип сообщения	Формат сообщения
Короткое сообщение	B C A D CS E
Длинное сообщение	B L L B C A LxD CS E

Рис. 8 – Форматы сообщений

Для повышения класса достоверности при передаче команд ТУ предлагается двукратная передача команды, с последующей проверкой каждой из команд и их сравнением. При этом вероятность приема ложной команды:

$$R_{my} = R_{my1} R_{my2} R_{my12}, \quad (18)$$

где:  $R_{my1}$  - вероятность ложного приема первой посылки команды ТУ;

$R_{my2}$  - вероятность ложного приема второй посылки команды ТУ;

$R_{my12}$  - вероятность совпадения кодовых искажений в первой и второй посылках команды ТУ.

Очевидно, что при  $R_{my1} = R_{my2} = 10^{-10}$  и  $R_{my12} \leq 10^{-10}$ ,  $R_{my} \leq 10^{-30}$ , что соответствует требованиям класса достоверности I<sub>3</sub>.

Время выполнения переключения объекта для КП с частотным разделением  $\bar{t}_c^{(TYTC)}$  включает посылку команды и получение сообщения об изменении положения объекта:

$$\bar{t}_c^{(TYTC)} = \bar{t}_c^{(TY)} + \bar{t}_c^{(TC)}. \quad (19)$$

где:  $\bar{t}_c^{(TY)}$  – время передачи команды;

$\bar{t}_c^{(TC)}$  – время передачи сообщения об изменении положения объекта.

Время передачи информации об изменении положения объекта, не связанное с посылкой команды ТУ ( $\bar{t}_c^{(TCq)}$ ) для КП с частотным разделением:



$$\bar{t}_c^{(TC)} = \bar{t}_c^{(TC)} + \bar{t}_{c\Delta}^{(TC)}, \quad (20)$$

где:  $\bar{t}_{c\Delta}^{(TC)}$  – время, необходимое для завершения передачи предыдущего сообщения от КП. Время выполнения переключения объекта для КП с временным разделением:

$$\bar{t}_c^{(TYTC)} = \bar{t}_c^{(TY)} + \bar{t}_c^{(3)} + \bar{t}_c^{(TCK)}, \quad (21)$$

где:  $\bar{t}_c^{(3)}$  – время передачи запроса на КП.

Время передачи информации об изменении положения объекта, не связанное с посылкой команды ТУ ( $\bar{t}_c^{(TCB)}$ ) для КП с временным разделением:

$$\bar{t}_c^{(TCB)} = (\bar{N} - \bar{n}_k + \bar{n}_n)(\bar{t}_c^{(3)} + \bar{t}_c^{(TC)}) + \bar{t}_{c\Delta}^{(TC)}, \quad (22)$$

где:  $N$  – количество КП в группе;  $n_k$  – порядковый номер КП, который опрашивался в момент изменения положения объекта;  $n_n$  – порядковый номер КП, на котором произошло изменение положения объекта.

В таблице 1 представлены результаты расчетов временных параметров системы телемеханики при использовании цифровых протоколов и для МСТ-95.

Табл. 1 – Результаты расчетов временных параметров системы телемеханики.

Наименование параметра	Время, с (для МСТ95)	Время, с (для FT1.2)
Передача команды на КП. частотный /временной	5,3 / 4.2	3,7 / 3,7
Выполнение переключения на КП. частотный /временной	10.5 / 6.0	7,4 / 8,5
Переключение объекта на КП не связанное с ТУ. частотный /временной	7.8 / 8.3	5,6 / 8,2

**В пятой главе** представлена методика составления типовых заявок для работ на контактной сети и выбор рациональных критериев при формировании типовых заявок – работ на контактной сети.

На первом этапе составляется массив типовых заявок для работ только для контактной сети без сопутствующих линий ВЛ СЦБ, ВЛ ПЭ (рис.9).

Первоначально составляются заявки, выделяющие зоны работ по категории со снятием напряжения. Анализируя схему питания и секционирования КС, выделяем элементарные секции, на которые может быть разделена контактная сеть между двумя изолирующими сопряжениями одного пути. Для рассматриваемой элементарной секции КС возможны 4 варианта переключений (таблица 2).

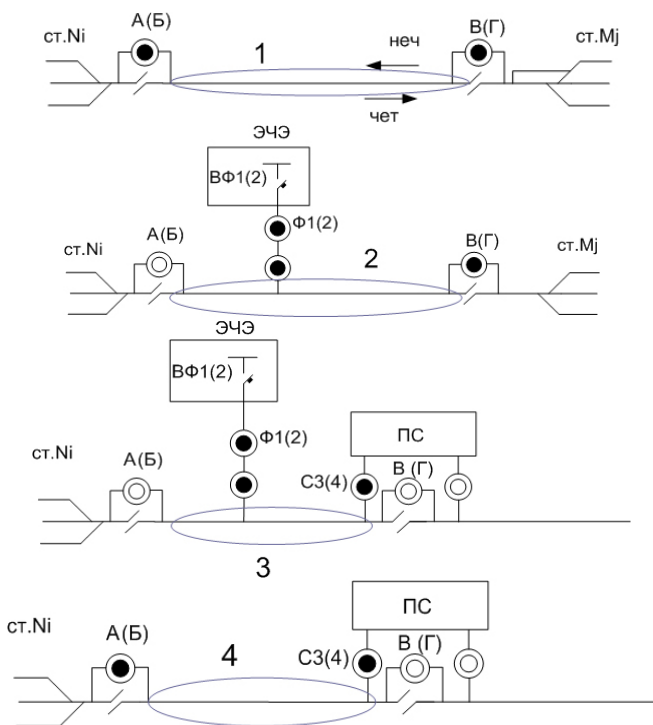


Рис. 9 – Схемы для типовых заявок перегонного участка.

Табл. 2 – Переключения для выделения секции контактной сети перегона.

номер варианта	Отключения оборудования
1	м/р А(Б) ст. Ni, м/р В(Г) ст. Mj,
2	БВ фид.1(2), Ф1(2) ЭЧЭ <sub>i</sub> , м/р А(Б) ст.Ni, м/р В(Г) ст. Mj
3	БВ фид.1(2),Ф1(2) ЭЧЭ <sub>i</sub> , м/р А(Б) ст.Ni, С1(С2) ПС, м/р В(Г) ст.Mj
4	м/р В(Г) ст. Ni, С1(С2) ПС, м/р В(Г) ст. Mj

Для формирования типовой заявки для работ на рассматриваемую перегонную секцию КС кроме переключений необходимо осуществить закрытие движения ЭПС. Секция контактной сети может занимать часть перегона между станциями или весь перегон. В любом случае движение ЭПС запрещается по всему перегону. В работе представлены методики составления типовых заявок для других секций, в том числе: перегонный участок на два пути одновременно, для одного пути перегонного участка и главного пути станции, главного пути станции, в парке станции, боковых путей станции, на секционных изоляторах.

При формировании типовых заявок для работ на КС необходима их проверка и оценка. Пусть заявлена работа «р» по категории со снятием напряжения (заштрихованная зона на рис. 10) на секции I контактной сети.

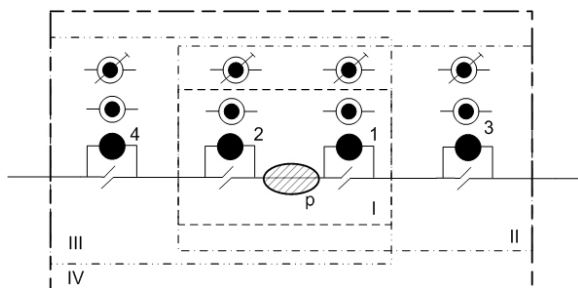


Рис.10 – Типовые секции I, II, III, IV для работы «р» на КС по категории со снятием напряжения

Для обеспечения работ с/р 1, 2 должны быть отключены. Однако с/р 1, 2 могут переключаться по ТУ, ДУ, РУ. Время, затраченное на эти операции ( $\Delta t_{\text{перекл.}}$ ), будет минимальным при ТУ и максимальным – при РУ. Время будет минимальным при с/р 1, 2, управляемых по ТУ. Типовая заявка должна быть сформулирована так, чтобы  $\Delta t_{\text{перекл.}} \rightarrow \Delta t_{\text{перекл. min.}}$ , поэтому типовая заявка по конфигурации I будет рациональна при наличии управления с/р 1, 2 по ТУ. В табл. 3 представлены варианты переключения с/р 1, 2. Варианты, где секционные разъединители имеет РУ, наименее рациональны (варианты 3, 6, 7, 8, 9). Поэтому целесообразно отказаться от использования типовой заявки по конфигурации I и использовать II или III. Для возможности реализации типовой заявки II с/р 1 должен управляться по РУ. С/р 2 может управляться соответственно по ТУ и ДУ. Варианты переключения с/р 2, 3 представлены в

табл. 4. Для возможности реализации заявки III секционный разъединитель 1 должен управляться по ТУ и ДУ. Результат перебора вариантов для с/р 1, 4 представлен в табл. 5. Если в исходном состоянии с/р 1, 2 управляются по РУ, то конфигурации II, III вообще не подходят к рассмотрению. В этом случае необходимо рассмотреть конфигурацию IV. Из сочетаний выбрать вариант переключений с/р 4, 3 ТУ, ТУ (табл. 6).

Табл. 3 Переключения с/р 1, 2

N п/п	Секционный разъединитель	
	1	2
1	ТУ	ТУ
2	ТУ	ДУ
3	ТУ	РУ
4	ДУ	ТУ
5	ДУ	ДУ
6	ДУ	РУ
7	РУ	ТУ
8	РУ	ДУ
9	РУ	РУ

Табл. 4 Переключения с/р 2, 3

N п/п	Секционный разъединитель	
	2	3
1	ТУ	ТУ
2	ТУ	ДУ
3	ТУ	РУ
4	ДУ	ТУ
5	ДУ	ДУ
6	ДУ	РУ

Табл. 5 Переключения с/р 1, 4

N п/п	Секционный разъединитель	
	1	4
1	ТУ	ТУ
2	ТУ	ДУ
3	ТУ	РУ
4	ДУ	ТУ
5	ДУ	ДУ
6	ДУ	РУ

Табл. 6. Переключения с/р 4, 3

N п/п	Секционный разъединитель	
	4	3
1	ТУ	ТУ
2	ТУ	ДУ
3	ТУ	РУ
4	ДУ	ТУ
5	ДУ	ДУ
6	ДУ	РУ
7	РУ	ТУ
8	РУ	ДУ
9	РУ	РУ

В работе также рассмотрен выбор рациональной типовой заявки с учётом станционного развития, питающих фидеров и для секций контактной сети боковых путей станции.

**В шестой главе** представлена техническая реализация автоматизированных рабочих мест энергодиспетчеров центрального энергодиспетчерского пункта и дистанции электроснабжения, в том числе

структура, состав аппаратного и основные функции программного обеспечения.

Структура ЦЭДП представлена на рис.11.

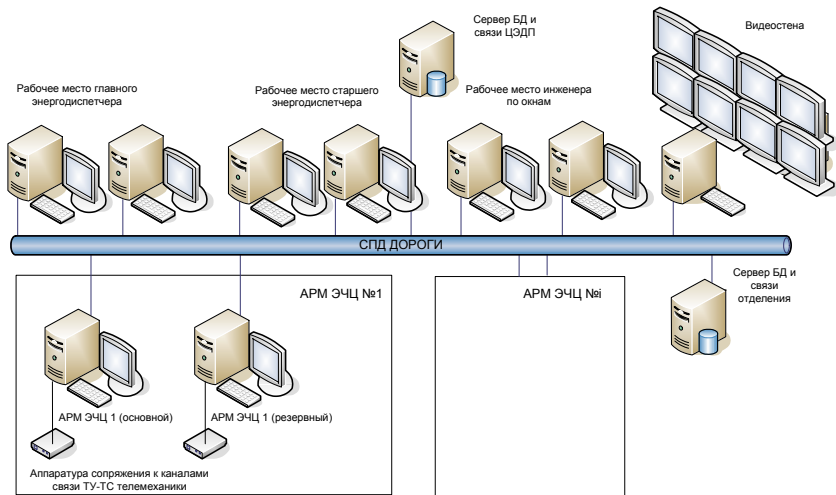


Рис.11 – Структура аппаратного обеспечения ЦЭДП

Сервер ЦЭДП обеспечивает связь участковыми АРМ ЭЦЦ и обеспечивает хранение базы данных. ЦЭДП связан со всеми региональными ЭЦЦ через дорожную сеть передачи данных.

Минимальная конфигурация оборудования для АРМ ЭЦЦ предусматривает два компьютера, два монитора, два адаптера связи и обеспечивает возможность горячего резервирования. Адаптер связи обеспечивает подключение двух линий связи телесигнализации и двух линий связи телеуправления. Реализована цифровая обработка сигналов в линиях связи с использованием цифрового сигнального процессора.

В современных системах телемеханики щит телесигнализации формируется из мониторов и обеспечивает отображение всех телеуправляемых объектов круга. При этом размеры такого щита остаются соизмеримыми с габаритами классического щита, а количество мониторов зависит от размера круга. Предложены основные принципы реализации динамического щита телесигнализации. Представление информации

осуществляется на 3-х мониторах обеспечивающих отображение структурной схемы и одной межподстанционной зоны. В режиме контроля состояния круга компьютер автоматически выводит на экран фрагмент щитовой схемы, содержащий последний переключившийся объект. Диспетчер использует несколько видов схем с различным уровнем детализации. При отображении структурной схемы выводится окно каталога событий, с информацией о последних переключившихся объектах и временем события.

Основные функции программного обеспечения АРМ энергодиспетчера ЦЭДП:

- Координация оперативного управления эксплуатацией электроэнергетического хозяйства железной дороги совместно с диспетчерами дистанций электроснабжения и поездными диспетчерами;
- Оперативная сигнализация о состоянии устройств электроснабжения и сигнализации о повреждениях на них;
- Обработка оперативно-технологической информации (прием заявок на производство работ с кругов, передачи информации об их согласовании и организации работ по планированию и предоставлению «окон»).

Основные функции программного обеспечения АРМ энергодиспетчера дистанции электроснабжения:

- Индикация положения телеуправляемых и ручных объектов, их нормального и текущего состояния, возможность квитирования;
- Автоматизация обеспечения производства работ, в том числе программное управление схемой электроснабжения, автоматизированное ведение разделов суточной ведомости;
- Контроль условий безопасности производства работ;
- Выдача оперативной информации по заявкам, каталогу событий, электрооборудованию по запросу энергодиспетчера.

**В седьмой главе** рассмотрен технико-экономический эффект от внедрения ЦЭДП дороги. Расчет, выполненный с использованием статистических показателей работы хозяйства электроснабжения, позволяет оценить годовой экономический эффект от внедрения одного Центрального энергодиспетчерского пункта в размере 7,8 млн. руб. Срок окупаемости ЦЭДП при плановой стоимости  $C = 19,2$  млн.руб. и годовым экономическим эффектом от внедрения ЦЭДП  $P = 7,8$  млн.руб. составит 2,5 года.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Основным направлением автоматизации работ энергодиспетчера должна быть оперативная деятельность, связанная с организацией работ по заявкам. Параметры автоматизированного рабочего места энергодиспетчера должны выбираться с учётом максимального количества обслуженных заявок за сутки.

2. Для анализа оперативной работы энергодиспетчера могут быть использованы методы математического моделирования информационных систем. Выявлены структуры элементарных логических операций, рассчитаны их «весовые» составляющие в общем процессе. Математическое моделирование информационных процессов оперативной работы энергодиспетчера показывает сокращение продолжительности информационного процесса при использовании АРМ.

3. Предлагаемая структура системы телемеханики для управления электроснабжением железных дорог позволяет решить проблемы расширения функциональности эксплуатируемых систем, используя существующие каналы связи ОАО РЖД, и соответствует требованиям отраслевых документов.

4. Предложены и разработаны принципы формирования типовых заявок для работ на контактной сети, сформированы критерии выбора рациональных конфигураций типовых заявок по условию способов переключений для выделения секций. Опыт использования типовых заявок на дистанциях электроснабжения Куйбышевской, Московской и Восточно-Сибирской железных дорог показал высокую эффективность метода.

5. Разработано и внедрено на железных дорогах РФ, программное и аппаратное обеспечение АРМ ЭЦЦ и АРМ энергодиспетчера ЦЭДП.

Основное содержание диссертации и результаты выполненных исследований опубликованы в следующих работах:

1. В.Н.Сиромаха. Количественный анализ заявок энергодиспетчеру дистанции электроснабжения на проведение ремонтно-профилактических работ, г. Москва). Вестник ВНИИЖТ.2008. №1. - С. 42-45.

2. О.В.Грибачев, В.Н.Сиромаха. Принципы модернизации системы телемеханики для управления электроснабжением железных дорог на основе специализированных цифровых протоколов. Вестник ВНИИЖТ.2008. №4. - С. 38-41.
3. В.Н. Сиромаха. Централизация управления системой электроснабжения железнодорожного транспорта в пределах дороги. Электроника и электрооборудование транспорта.2009. №4. - С. 24-27.
4. В.Н.Сиромаха. Системы телемеханики для управления объектами электроснабжения. Труды Всероссийской научно-практической конференции «Электрификация-75» 2004. - С. 129-132.
5. Л.А.Агаршева, В.Н.Сиромаха, И.В.Невдачин. Новые технические решения в управлении системой электроснабжения железных дорог. Четвертый международный симпозиум «Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте». Тезисы докладов. 2007. Санкт-Петербург. С.5-6.
6. В.Н.Сиромаха. Методика составления типовых заявок для работ на контактной сети электрифицированных железных дорог. Четвертый международный симпозиум «Электрификация и организация скоростных и тяжеловесных коридоров на железнодорожном транспорте». Тезисы докладов. 2007. Санкт-Петербург. - С.90-91.

---

Сиромаха Валерий Николаевич

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

специальность 05.09.03 - «Электротехнические комплексы и системы»

---

Подписано в печать 21.05.09

Заказ № 239

Формат 60 × 84/16

Тираж – 80

Усл. печ. л. – 1,5

---

127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9  
Типография МИИТа