На правах рукописи

Малеев Павел Геннадиевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Специальность: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в ОАО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М.А. Карцева»

Научный руководитель:	**Сафонов Вячеслав Леонидович,** доктор технических наук
Официальные оппоненты:	**Чудинов Станислав Михайлович,** доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заместитель генерального директора по научной работе ОАО «НИИ супер ЭВМ», г. Москва
	Муромцев Виктор Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Ведущая организация:	ОАО «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука», г. Москва

Защита состоится «25» декабря 2013 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д 212.015.10 при ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), по адресу: 308015 г. Белгород, ул. Победы, д. 85, ауд. 3-8, к.15.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ») по адресу: 308015 г. Белгород, ул. Победы, д. 85.

Автореферат разослан « » ноября 2013 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.015.10
доктор технических наук, профессор С.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Городской пассажирский транспорт в Москве, как и в других мегаполисах, постоянно развивается и функционально расширяется, потому что увеличивается пассажиропоток, устаревает оборудование, а это, в свою очередь, требует совершенствования системы управления транспортом и процедур принятия решений. Одним из основных видов пассажирского транспорта является Московский метрополитен, представляющий собой крупное транспортное предприятие с большим числом разнородного основного и вспомогательного оборудования, тесно связанного с программным обеспечением. Управление функционированием Московского метрополитена строится по линиям (радиусам) или по так называемым "диспетчерским кругам". Каждая линия управляется четырьмя основными службами: службой движения; службой электроснабжения; электромеханической службой; эскалаторной службой.

Служба электроснабжения, включающая специальное оборудование, аппаратуру и программное обеспечение, является одной из важнейшей служб метрополитена. Для обеспечения бесперебойной работы метрополитена внедрена автоматизированная система диспетчерского управления энергоподстанциями (АСДУЭ), в разработке и освоении которой активное участие принимал автор диссертации. При создании АСДУЭ возникла потребность в разработке новых научных подходов к подбору и компоновке технических средств системы, оптимальному планированию замены старых систем управления электрооборудованием, обоснованию автоматизации управления метрополитеном в условиях рисковых ситуаций. Эти факторы определяют актуальность темы диссертации и необходимость разработки методов и средств поддержки управленческих решений в системе электроснабжения Московского метрополитена, в том числе с учетом возникающих рисковых ситуаций.

Цели и задачи диссертационной работы

Целью настоящей работы является разработка методов и средств поддержки управленческих решений в системе электроснабжения Московского метрополитена для повышения эффективности функционирования оборудования.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие основные задачи:

1. Проведение анализа основных направлений развития автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением метрополитена.

2. Разработка критериев и методов обоснования управленческих решений по замене оборудования, находящегося в эксплуатации в системе

электроснабжения метрополитена, на новые модули без рисков потери функционирования.

3. Разработка метода обоснования управленческих решений на основе анализа рисковых ситуаций в системе электроснабжения метрополитена с использованием когнитивных карт.

4. Разработка предложений по структуре и составу комплекса технических средств автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением.

5. Разработка методики мониторинга функционирования оборудования и обеспечения заданного уровня функциональной надежности.

Объектом исследования является система управления электроснабжением Московского метрополитена.

Предметом исследования являются разработка методов и средств поддержки управленческих решений в системе электроснабжения

Методы исследования. Методы системного анализа и теории принятия многокритериальных решений, когнитивного моделирования, получения и обработки экспертной информации, проектирования средств управления вычислительной техникой.

Положения, выносимые на защиту

1. Критерии и методы обоснования управленческих решений по замене оборудования в системе электроснабжения метрополитена без рисков потери функционирования.

2. Метод обоснования управленческих решений на основе анализа рисковых ситуаций в системе электроснабжения метрополитена.

3. Структура и состав комплекса технических средств автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением.

4. Методика мониторинга функционирования оборудования и обеспечения заданного уровня функциональной надежности.

Научная новизна

1. Предложены и обоснованы критерии управленческих решений и новые способы замены оборудования в системе электроснабжения метрополитена, находящегося в эксплуатации, основанные на совместном применении различных методов многокритериального принятия решений.

2. Разработан новый метод обоснования управленческих решений, который состоит в анализе рисковых ситуаций в системе энергоснабжения метрополитена с использованием когнитивных карт.

3. Разработана новая методика мониторинга функционирования оборудования в системе электроснабжения метрополитена, учитывающая особенности ее сложной топологии и перспективы развития информационно-коммуникационных технологий, что позволяет повысить функциональную надежность системы в целом.

Практическая значимость работы

Результаты исследования реализованы в службе электроснабжения Московского метрополитена на следующих линиях: Замоскворецкая, Калужско-Рижская, Таганско-Краснопресненская, Люблинская, Калининская, Филевская, Митино-Строгинская, Бутовская.

Внедрение разработанных методов и средств обеспечило повышение надежности и эксплуатационных характеристик оборудования, модульный переход АСДУЭ метрополитена на новые средства, что позволило повысить безопасность движения поездов и пассажиропотоков, уменьшить время ликвидации аварийных ситуаций и чрезвычайных положений, повысить производительность электродиспетчера и уменьшить его ошибочные действия, существенно повысить эффективность и упростить работу службы электроснабжения.

Достоверность научных положений и выводов, полученных в диссертации, обусловливается корректностью теоретических выкладок, подтверждается отсутствием противоречий с экспериментальными данными, полученными в процессе эксплуатации разработанной АСДУЭ.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации по следующим областям исследования:

п.9. Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов.

п.11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества и надежности сложных систем.

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждались на следующих научных конференциях: 5-ой Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» (Москва, 2007), Международном форуме «Высокие технологии XXI века» (Москва, 2006, 2009), конференции «Электроника и транспорт» (Москва, 2007), конференции «Общественный транспорт» (Москва, 2009), конференции «Электроника – транспорт» (Москва, 2010), Международной конференции «Компьютерные науки и технологии» (Белгород, 2011), Международной конференции «Прикладная математика, управление и информатика» (Белгород, 2012), конференциях молодых специалистов НИИВК (Москва, 2006, 2008, 2009).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 6 статей в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, а также 8 работ в трудах научных конференций.

Личный вклад соискателя. Все изложенные в диссертационной работе результаты исследований получены соискателем лично, либо при его непосредственном участии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Диссертация содержит 131 страницу машинописного текста, 21 рисунок, 19 таблиц, список литературы из 89 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность проблемы, определены цели и задачи диссертационной работы, рассмотрены исторические факторы развития систем управлении метрополитеном.

В **первой главе** представлен системный анализ технических и алгоритмических решений систем управления службы энергоснабжения Московского метрополитена, рассмотрены способы построения систем управления энергоснабжением, обусловлена необходимость введения новых систем управления службой энергоснабжения на метрополитене для совершенствования инструментальных средств построения телемеханики управления энергоподстанциями.

Эффективность любой системы управления определяется ее назначением, результатами использования по этому назначению, а также затратами на создание системы и последующую эксплуатацию. Выделяют техническую эффективность, т.е. степень соответствия системы поставленным перед ней техническим задачам, и экономическую эффективность, т.е. степень соответствия полученного эффекта затратам на создание системы и ее последующую эксплуатацию.

При отказе старого, выходящего из строя оборудования, метрополитен несет колоссальные убытки. Вместе с тем при переходе от старой системы диспетчерского управления энергоподстанциями на новую автоматизированную систему невозможно подсчитать стоимость старого оборудования, имеющего старую архитектуру и элементную базу, отсутствующую на современном рынке. Необходимо модернизировать старые системы управления энергоснабжением и провести комплексную компьютеризацию службы энергоснабжения Московского метрополитена и внедрить автоматизированную систему диспетчерского управления энергоподстанциями.

Во **второй главе** предложен многокритериальный подход к выбору нового оборудования – серверов и системных блоков (СБ), максимально подходящих для обеспечения отказоустойчивости АСДУЭ. С этой целью были определены наиболее важные критерии отказоустойчивого комплекса.

Изначально рассматривалось множество характеристик СБ: технические характеристики, такие как характеристики процессора, памяти, объем жесткого диска, эксплуатационные характеристики, такие как взаимозаменяемость, охлаждение, надежность, уровень шума, а также цена. Проведя агрегирование критериев, удалось уменьшить их число и свести к следующим шести основным критериям: надежность (время наработки на отказ);

взаимозаменяемость; производительность; шумность; охлаждение; цена (стоимость выполнения работ).

При выборе наиболее подходящего оборудования для замены устаревшего была рассмотрена продукция различных фирм-производителей серверного оборудования. Было решено остановиться на трех серверах, выпускаемых фирмами Advantech, Dell и HP. Сравниваемые серверы характеризуются следующими показателями:

Сервер 1 – достаточно шумные компьютеры, имеющие отличное охлаждение, высокую производительность, высокую надежность (промышленные компоненты), среднюю цену. При разном форм-факторе можно устанавливать одинаковые комплектующие.

Сервер 2 – достаточно шумные компьютеры, имеющие отличное охлаждение, высокую производительность, высокую надежность (промышленные компоненты), высокую цену, высокую избыточность.

Сервер 3 – достаточно шумные компьютеры, имеющие отличное охлаждение и высокую производительность, высокую надежность (промышленные компоненты), высокую цену, высокую избыточность. При разном форм-факторе возможно устанавливать одинаковые комплектующие в разные корпуса.

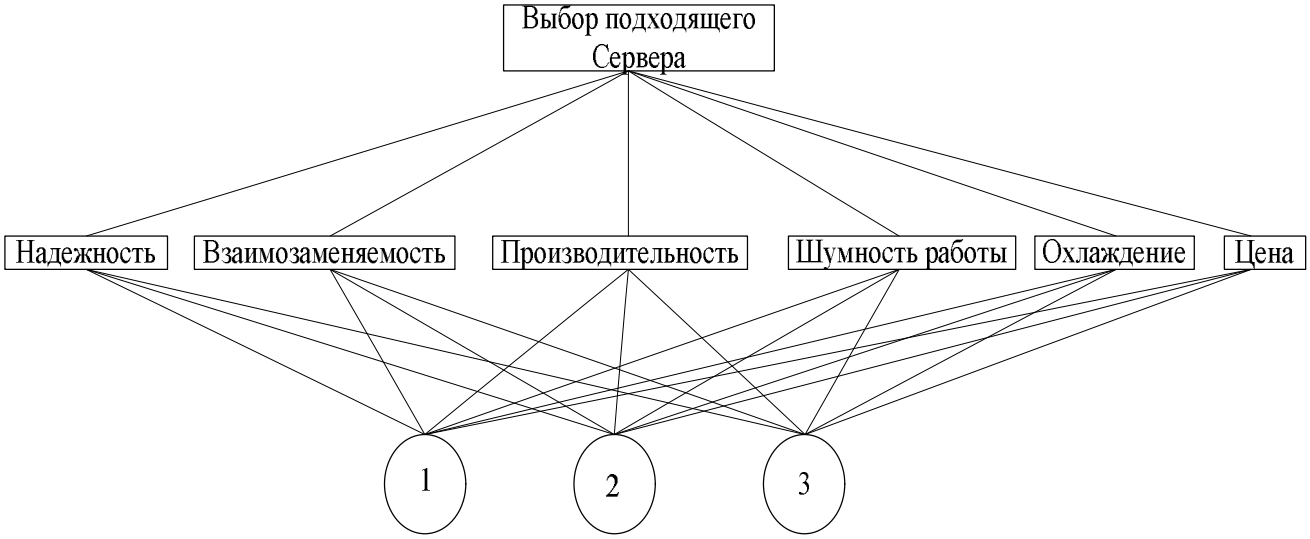

Рисунок 1. Структура задачи выбора сервера.

Структура задачи выбора наиболее предпочтительного системного блока показана на рисунке 1. Для ее решения были использованы три метода многокритериального принятия решений: метод анализа иерархий (МАИ) Т.Саати, метод агрегирования и ранжирования альтернатив около многопризнаковых идеальных ситуаций (АРАМИС) А.Б.Петровского и метод лексикографического упорядочивания.

Метод МАИ позволяет упорядочивать многокритериальные варианты по величине глобального приоритета, рассчитываемого с помощью парных

сравнений вариантов по отдельным критериям и парных сравнений критериев. Сравнительная важность элементов иерархической структуры оценивается экспертом по специальной порядковой шкале. Результаты сравнения системных блоков, полученные методом анализа иерархий, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Вес крит. / Блок	Надежность	Взаимозаменяемость	Производительность	Шумность	Охлаждение	Цена	Глобал. Приоритет
Распределенный способ (сравнение вариантов друг с другом)							
СБ1	0,547	0,661	0,195	0,122	0,630	0,680	0,478
СБ 2	0,263	0,131	0,164	0,320	0,152	0,109	0,202
СБ 3	0,190	0,208	0,641	0,558	0,218	0,211	0,320
Идеальный способ(сравнение вариантов с эталоном)							
СБ 1	1	1	0,304	0,219	1	1	0,794
СБ 2	0,481	0,198	0,256	0,573	0,241	0,160	0,349
СБ 3	0,347	0,315	1	1	0,346	0,310	0,525

Для лучшего понимания, какой из системных блоков наиболее предпочтителен, экспертные оценки блоков были упорядочены при помощи методов АРАМИС и лексикографического упорядочивания.

Метод АРАМИС позволяет упорядочивать многокритериальные варианты по близости к опорной точке, когда варианты представлены в виде мультимножеств. В качестве опорных точек были взяты две идеальные (возможно, гипотетические) конфигурации: системного блока, получившего по суждениям всех экспертов высокие оценки по всем критериям, и системного блока, получившего по суждениям всех экспертов низкие оценки по всем критериям.

Метод лексикографического упорядочивания обеспечивает последовательное сравнение вариантов по общему числу соответствующих градаций экспертных оценок по критериям. Сначала варианты сравнивают по числу высоких оценок или числу первых мест, затем по числу средних оценок или вторых мест, далее по числу низких оценок или третьих мест. Наиболее предпочтительным вариантом становится тот, у которого наибольшее число высоких экспертных оценок. Если вариантов с одинаковым числом высоких оценок несколько, то сравнение этих вариантов происходит по средним оценкам, соответствующим второму месту и т.д.

Результаты сравнения системных блоков различными методами принятия решений приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Вес критериев	Надежность	Взаимозаменяемость	Производительность	Шумность	Охлаждение	Цена	Приоритет МАИ	Расстояние АРАМИС	Лексикография 1м 2м 3м
СБ 1	0,547	0,661	0,195	0,122	0,630	0,680	0,478	0,528	3 1 2
СБ 2	0,263	0,131	0,164	0,320	0,152	0,109	0,202	0,810	0 0 6
СБ 3	0,190	0,208	0,641	0,558	0,218	0,211	0,320	0,662	1 1 4

Как следует из таблицы 2, результаты, полученные всеми тремя методами не противоречат друг другу: системный блок СБ1 предпочтительнее системного блока СБ3, а системный блок СБ3 предпочтительнее системного блока СБ2, то есть СБ1>СБ3>СБ2. Таким образом, наиболее предпочтителен для использования в АСДУЭ системный блок СБ1.

При переходе со старой телемеханической системы управления электроснабжением ТЭМ-74 на новую АСДУЭ были разработаны модули, позволяющие перекодировать аналоговые сигналы в цифровые с протоколом обмена, близким к протоколу АСДУЭ. Для каждой стойки ТЭМ-74 требуется одно устройство сопряжения, что позволяет переводить старую телемеханику на АСДУЭ модульно, по одной подстанции. Таким образом, при такой архитектуре системы возможно переводить управление подстанциями на АСДУЭ частями, не мешая работе ТЭМ-74. Уникальность и принципиальная новизна такой системы состоит в том, что в режиме сигнализации система работает в параллель с существующей системой отображения и не влияет на ее работу, что весьма важно для метрополитена. Судя по публикациям, в России, а возможно и за рубежом, нет аналогичных систем.

При разработке стратегии перевода линий метрополитена со старых систем управления на АСДУЭ необходимо определить оптимальное число одновременно переводимых подстанций с учетом следующих ограничений: наличие свободного персонала для дежурства на подстанции, наличие оборудования для перевода старой телемеханики на АСДУЭ, время на проверку (ограничивается ночным перерывом работы Московского метрополитена 2-3 часа), время на перевод всей линии на АСДУЭ. На рисунке 2 показана структура задачи замены старой телемеханики на АСДУЭ, где на нижнем уровне приведено число подстанций, переводимых на АСДУЭ за одну ночь.

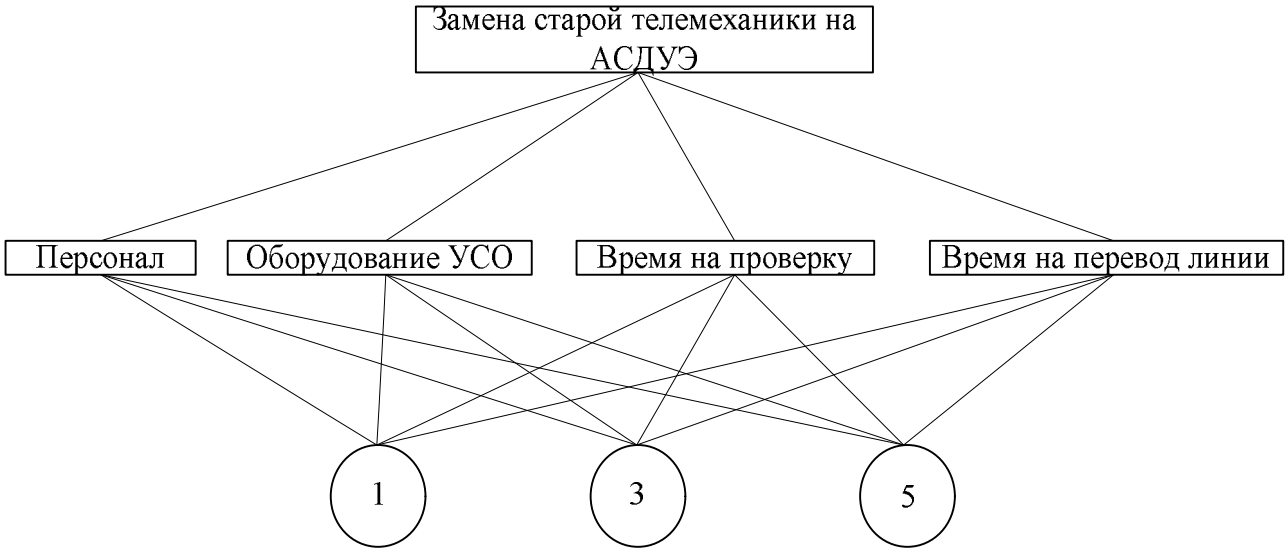

Рисунок 2. Структура задачи замены старой телемеханики на АСДУЭ.

В таблице 3 даны результаты парных сравнений различных критериев, определяющих способ перевода старой телемеханики на новую АСДУЭ. Как явствует из этой таблицы, основные приоритеты имеют такие критерии, как наличие оборудования УСО и ограничение времени на проверку. Учитывая накопленный опыт пусконаладочных работ по АСДУЭ, можно с уверенностью сказать, что оптимальное число подстанций для перевода за одну ночь равно 3.

Таблица 3.

Критерий	Персонал	Обору-дование УСО	Время на проверку	Время на перевод линии	Приоритет критерия
Персонал	1	2	1/4	5	0,249
Оборудование УСО	½	1	4	6	0,368
Время на проверку	4	1/4	1	8	0,333
Время на перевод всей линии	1/5	1/6	1/8	1	0,05

Использование методов многокритериального принятия решений позволило обеспечить выбор оборудования в системе электроснабжения метрополитена и разработать механизм замены оборудования в условиях непрерывной работы метрополитена.

В работе представлен подход к принятию управленческих решений в нештатных ситуациях работы технических и программных средств управления метрополитеном. Показано, что управление рисками – это комплекс мероприятий, включающих мониторинг, анализ, идентификацию и уменьшение рисков с целью снижения отклонения фактических показателей от их запланированных значений. Алгоритм действия при реализации управления рисками выглядит следующим образом: анализ рисков, идентификация риска, мероприятия по снижению рисков, разработка методов реагирования на риск, контроль реагирования на риск. Алгоритм цикличен за счёт обратной связи. На стадии идентификация риска проводится выявление основополагающих причин и факторов, связанных с ситуацией, требующей решения. Сложность заключается в размытости, нечёткости и противоречивости представлений о причинах и возможных способах изменения ситуации. Диагностику рисков затрудняет динамика внешней и внутренней среды, а также ограниченные временные ресурсы.

Процесс подготовки и принятия решений, как правило, является групповой деятельностью. Каждый участник этого процесса имеет субъективное представление о проблемной ситуации, исходя их «собственных» знаний, понижая тем самым степень согласованности при определении альтернативы. Таким образом, подготовку и принятие решений в задачах управления следует рассматривать как сложный интеллектуальный процесс разрешения проблем, несводимый исключительно к рациональному выбору.

Для разработки формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс идентификации и решения проблем, в работе используются когнитивные карты, учитывающие когнитивные возможности (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) субъектов управления при решении управленческих задач. В задачах управления рисками когнитивное моделирование – это исследование развития и функционирования ситуаций посредством построения модели на основе когнитивной карты.

Когнитивная карта отражает субъективные представления исследуемой проблемы, ситуации, связанной с её функциональными особенностями. Основными элементами когнитивной карты являются базисные факторы и причинно-следственные связи между ними. Базисные факторы определяют явление и процессы в ситуации и окружающей её среде и идентифицированы субъектом управления как существенные, ключевые параметры. Когнитивная карта представляет собой ориентированный граф: G=(V,E,F.w), где V – множество вершин, вершины-факторы $V_i \in V,\ i=1,2,\ldots k$ являются элементами исследуемой системы; E – множество дуг, дуги $ij \in E,\ i,j=1,2,\ldots.n$ отражают взаимосвязи между вершинами V_i и V_j; F – множество знаков дуг, F={+, – ,0}, т.е. влияние V_i и V_j может быть положительным, отрицательным или отсутствующим; W – множество весов, которые определяют силу влияния между вершинами, $V_i \times V_j \rightarrow [-1,1]$.

Анализ когнитивной карты позволяет определить структуру проблемы, найти значимые факторы, влияющие на неё, оценить воздействие факторов друг на друга. Если в когнитивной карте выделены целевые и входные факторы, на которые можно воздействовать, круг решаемых задач включает оценку достижимости целей, разработку сценариев и стратегий управления для достижения этих целей и поиск управленческих решений. Задачи анализа ситуаций в процессе управления рисками на основе когнитивных карт можно разделить на два типа: статические и динамические.

Статический анализ выделяет факторы с наиболее сильным влиянием на целевые факторы, то есть те факторы, значение которых требуется изменить. Динамический анализ лежит в основе генерации возможных сценариев развития ситуации во времени. Таким образом, возможности решения задач анализа в процессе управления рисками определяются типом используемых моделей – статических или динамических.

Для проведения обоих видов анализа, как правило, используется математический аппарат двух типов: аппарат линейных динамических систем и аппарат нечеткой математики. Процесс моделирования заключается в определении изменений значений факторов во времени, что задается формулой:

$$xi(t+1) = xi(t) + \sum_{j \in Ei} aij(xi(t) - xi(t-1)),\ i = 1, \ldots., N.$$

где $xi(t+1)$ и $xi(t)$ – значения i-ого фактора в моменты времени $t+1$ и t соответственно, $xi(t)–xi(t–1)=\Delta xi(t)$, $\Delta xi(t)$ – изменение значения i-ого фактора в момент времени t, aij –вес влияния фактора xj на фактор xi, Ei – число факторов, непосредственно влияющих на фактор xi.

Применение когнитивного моделирования при управлении рисками в работе метрополитена в ситуациях с высокой степенью неопределенности позволяет адекватно учесть взаимодействие и взаимовлияние факторов внутри систем, что приведёт к существенному повышению качества управленческих решений в условиях повышенного риска. В процессе анализа когнитивных карт появляется возможность оперативно повысить понимание проблемы, улучшить качество и обоснованность принимаемых решений. Кроме того, когнитивная карта является удобным средством для изменения устоявшихся стереотипов, способствует генерации новых точек зрения.

С использованием когнитивных карт построен алгоритм учета рисковых ситуаций в работе электроснабжения метрополитена (рисунок 3). На первом этапе эксперты заносят необходимую информацию о рисках в базу данных. На основе этой информации происходит анализ возникновения той или иной ситуации. Далее эта информация обрабатывается и выводится сообщение для лица, принимающего решение, о необходимости реагирования на внештатную ситуацию.

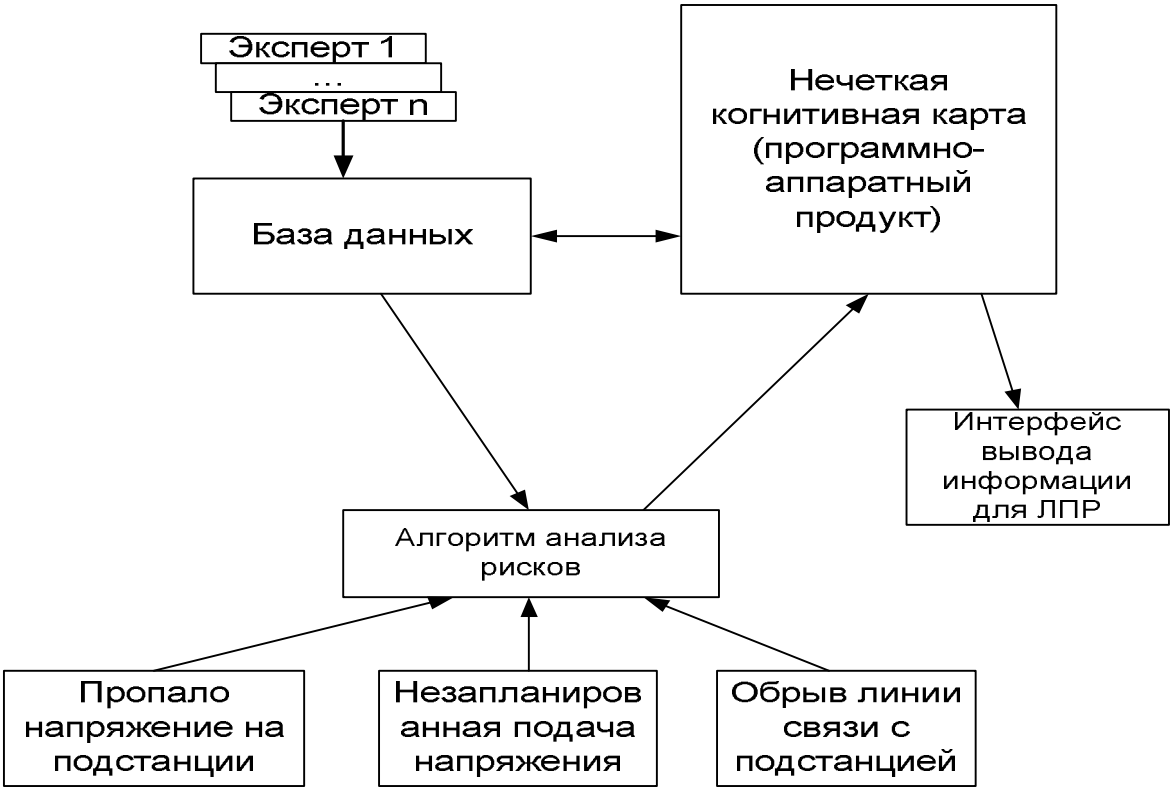

Рисунок 3. Алгоритм учета рисков

В работе представлена технология получения и обработки информации, получаемой с видеокамер, установленных на всех станциях метрополитена, с целью мониторинга и учета нештатных ситуаций. Использование методов обработки изображений позволяет сформировать базу данных когнитивной карты, содержащую информацию об объектах и событиях на станциях

метрополитена. В результате обработки указанной информации формируется база данных, которая позволяет определять, модифицировать и пополнять знания об обстановке на станциях метро. Основными процедурами приобретения знаний на основе анализа видеоизображений является классификация, сегментация и распознавание. Полученные знания об обстановке на станциях метрополитена используются в дальнейшем в алгоритме учета рисков работы метрополитена.

В третьей главе рассматриваются подходы по выбору структуры и состава комплекса технических средств автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением с учетом выбранной стратегии. АСДУЭ представляет собой двухуровневую систему управления со 100% горячим резервированием (рисунок 4). Модульная архитектура позволяет компоновать контроллеры без избыточности, учитывая требования конкретных задач.

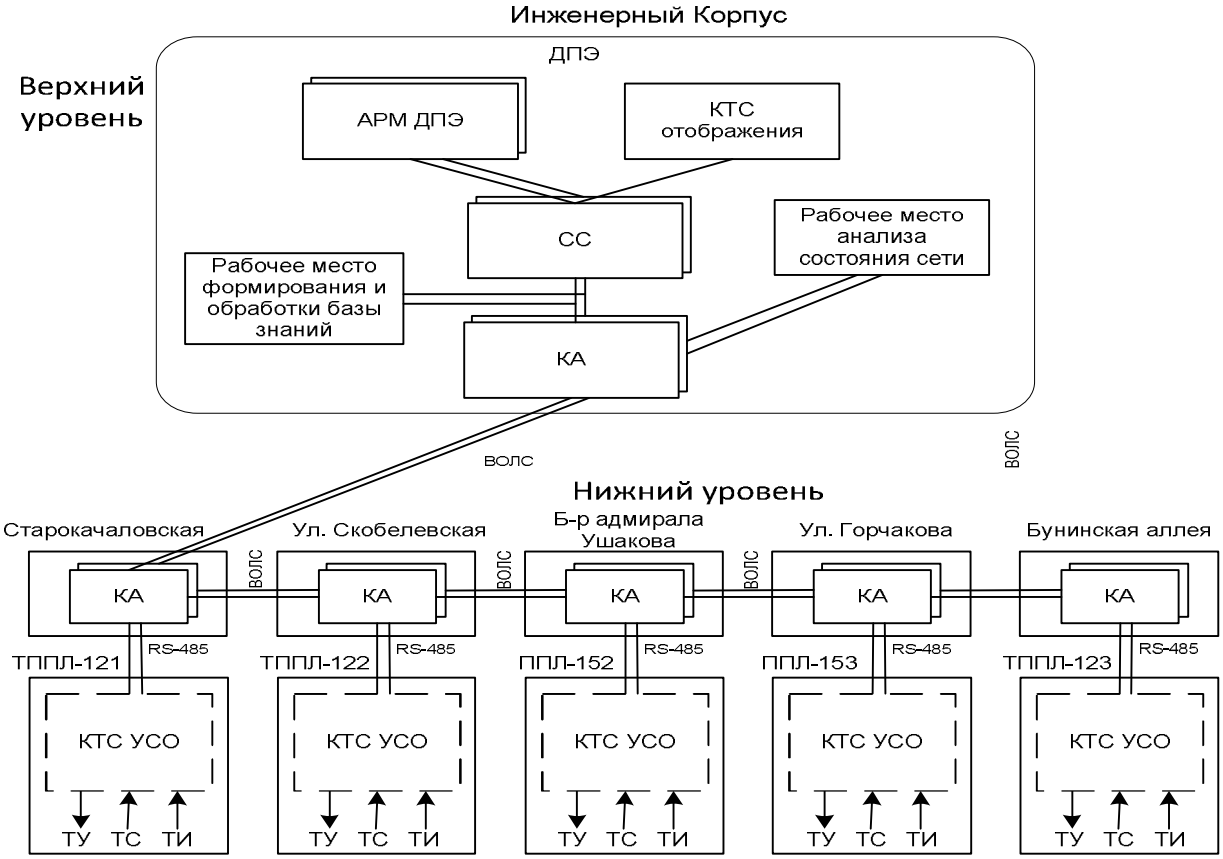

Рисунок 4. Комбинированная структурная схема АСДУЭ
на примере Бутовской линии Московского метрополитена.

Верхний уровень – уровень серверного ядра и автоматизированных рабочих мест диспетчеров осуществляет сбор, обработку и визуализацию данных, поступающих с нижнего уровня АСДУЭ, выдачу управляющих воздействий на объекты управления, ведение архива и мониторинг состояния системы.

Рабочее место формирования и обработки базы знаний предназначено для заполнения базы знаний экспертами и обработки информации на основе данных, полученных с видеосредств.

За **рабочим местом анализа сети** находится оператор, который осуществляет мониторинг локальной волоконно-оптической сети и принимает решение при возникновении сбойных ситуаций в передаче информации. По ВОЛС передается информация не только службы энергоснабжения, а также службы движения, электромеханической и эскалаторной служб. Предлагаемый метод мониторинга сети позволяет повысить надежность функционирования сети за счет того, что программа учитывает избыточность и выдает информацию по сбоям и ошибкам передачи информации лицу, принимающему решение.

Информационное обеспечение автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением включает нормативно-справочную информацию, текущую информацию, архивные данные, промежуточные данные, данные, требующие проверки на достоверность, статистические данные для отображения и протокольную информацию.

Математическое обеспечение АСДУЭ представлено алгоритмами: приема и первичной обработки данных, проверки достоверности принимаемых данных (телесигнализации (ТС), телеизмерений (ТИ) и выдаваемых команд телеуправления (ТУ)), оценки состояния объекта управления по неполной информации, блокировок при несанкционированной попытке выдачи управляющих заданий, углубленного анализа нештатной ситуации, искусственного интеллекта для выбора наилучших вариантов выхода из нештатной ситуации.

С позиции телекоммуникационного обмена представленную структурную схему можно рассматривать как схему корпоративной мультисервисной системы, обеспечивающей телекоммуникационный обмен между верхним и нижнем уровнем управления. Мультисервисная система связи представляет собой единство трех частей - технических средств, программного обеспечения и обслуживающего персонала. Поэтому и факторы, влияющие на надежность системы управления энергоснабжением, делятся на три основные группы: технические, программные и эксплуатационные.

В работе рассмотрены методы исследования и оценки функциональной надежности АСДУЭ. Исследованы процессы возникновения, обнаружения и устранения ошибок в выходных и промежуточных результатах работы системы, вызванных собственными и привнесенными извне ошибками. Изучены нормативные документы, связанные с характеристиками потока заявок, поступающих на обслуживание (на выполнение предусмотренных функциональных задач), в том числе с учетом рисковых ситуаций в работе электроснабжения метрополитена.

В четвертой главе изложена методика расчета надежности технических средств, рассматриваемых в диссертации, и в том числе выделена функциональная надежность системы управления метрополитеном через

корпоративную сеть, которая способствует повышению надежности управления.

Для реализации метода функциональной надежности требуется комплексное применение гибких стратегий обеспечения функциональной отказоустойчивости сети. Такой эффективной стратегией, по мнению автора, является использование естественной временной, функциональной и структурной избыточности в системе мониторинга и управления метрополитеном в части энергоснабжения. В указанной системе центр тяжести обеспечения функциональной надежности находится в области проблем расчета и обеспечения правильности и своевременности выполнения функциональных задач.

Обобщенным критерием функциональной надежности можно считать время активного сохранения работоспособности системы при заданной интенсивности отказов ее элементов. Под активным сохранением работоспособности здесь понимается возможность противостоять отказам с помощью системы мониторинга работоспособности сети, в частности, за счет восстановления структуры и функций сети, управления потоками, информационной нагрузкой. Функциональная надежность системы есть ее способность выполнять предусмотренные целевые задачи в условиях взаимодействия с внешними объектами, которая накладывает определенные требования к аппаратно-программным решениям построения системы управления.

В работе показано, что для парирования функциональных отказов целесообразно ввести специальные механизмы рационального использования избыточности. Эти механизмы совместно с избыточными средствами образуют средства обеспечения функциональной отказоустойчивости (СОФО).

В случае **одноуровневой системы защиты от отказов** вероятность того, что в процессе выполнения задачи либо не возникнет функциональных отказов, либо возникшие функциональные частичные отказы будут успешно нейтрализованы средствами обеспечения отказоустойчивости, определяется как

$$P_{31} = 1 - g_1 - (g_3 - g_3 g_1)(1 - \beta_1),$$

где β_1 - вероятность успешной адаптации первого уровня защиты (защита процесса выполнения задачи без защиты СОФО); $g_1 = 1 - P_1, g_3 = 1 - P_3$, P_3 вероятность безотказного выполнения задачи, P_1 - вероятность того, что внутри СОФО в процессе выполнения задачи не возникли отказы. Можно считать, что $P_{31} \approx 1 - g_1 - g_3(1 - \beta_1)$.

Показано, что защита имеет смысл только при условии: $P_{31} > P_3$ или $g_1 < g_3 \beta_1$ т.е. объем средств обеспечения отказоустойчивости не должен превышать объема аппаратно-программных средств мультисервисной системы связи (МСС), реализующих задачу. Из этого выражения также следует, что чем больше объем решаемой задачи, тем более разветвленными и эффективными должны быть средства СОФО. Так, если $\beta_1 \to 1$, то $W_1 \to W_3$, где W_1 и W_3 – объемы средств обеспечения отказоустойчивости и выполнения задачи

соответственно. В свою очередь, если СОФО не эффективны ($\beta_1 \to 0$), то нет смысла в их применении.

В случае **многоуровневой системы защиты от отказов** (рисунок 5) эффективность СОФО определяется вероятностью β успешной адаптации МСС с СОФО к функциональным отказам: $\beta = \{\Omega \leq \Omega_g\}$, где Ω - ресурс, который возможно использовать без ухудшения других показателей эффективности МС для защиты от отказов; Ω_g – допустимый расход ресурса, при котором один или несколько показателей эффективности МС достигают предельно допустимого значения. Например, ресурс есть время, и допустимый расход ресурса есть допустимое время t_g перерыва в работе МСС, тогда $\beta = \Pr\{V \leq t_g\} = \int_0^{t_g} f_V(t)dt$, где V – интервал времени от момента возникновения неисправности до ее устранения, а $f_V(t)$ – функция плотности распределения случайного времени V.

В качестве обобщения получено, что при n уровнях защиты показатель правильности выполнения задачи определяется выражением: $P_{3n} = (1 - g_n)\prod_{i=0}^{n-1}(p_i + g_i\beta_{i+1})$, $(p_0 = p_3, g_0 = g_3)$. Очевидно, что на каждом уровне защиты должно выполняться условие: $g_i < g_{i-1}\beta_i$, где $i = \overline{1,n}$. Откуда: $g_i < g_0\prod_{i=1}^{i}\beta_i$, где $g_0 = g_3$, неравенство $g_i < g_0\prod_{i=1}^{i}\beta_i$ определяет границу целесообразности построения многоуровневой защиты.

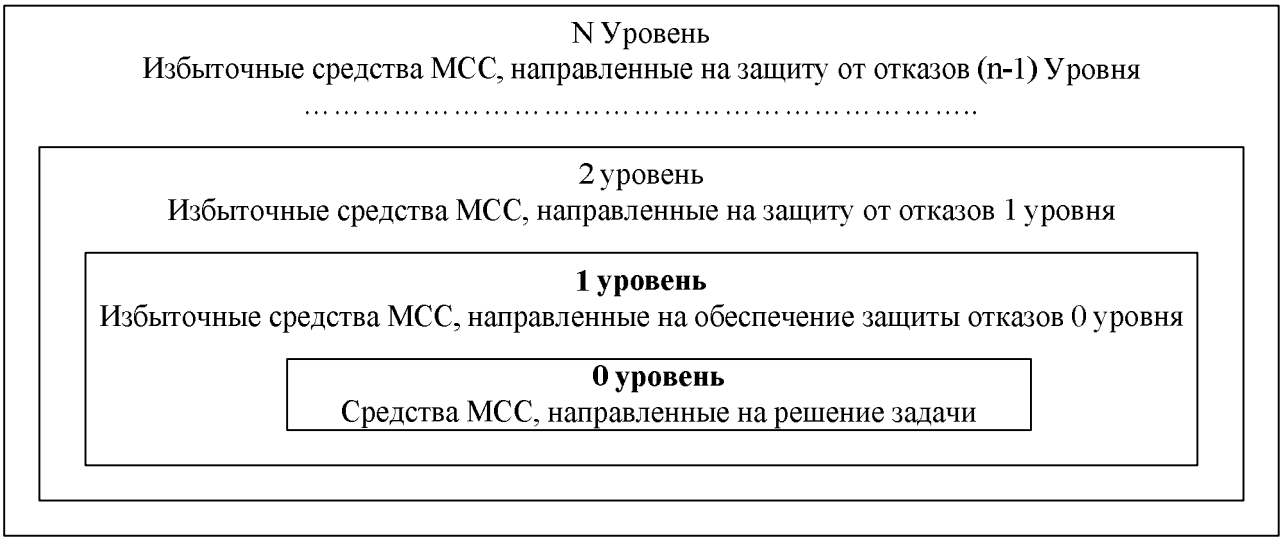

Рисунок 5. Многоуровневая система защиты от отказов.

Показано, что введение в МСС дополнительных аппаратно-программных средств управления и мониторинга для создания уровней защиты приводит к повышению функциональной надежности МСС.

Предложенный метод оценки функциональной надежности МСС имеет следующие достоинства:

- моделируется влияние вероятности отказов (а следовательно, и объема) аппаратно-программных средств СОФО на эффективность адаптации МСС к функциональных отказам;
- определены допустимые границы ненадежности средств защиты (допустимые объемы средств защиты) в зависимости от их эффективности и от ненадежности основных средств;
- имеются одноуровневая и многоуровневые системы защиты, формализованы условия, определяющие границу целесообразности построения многоуровневой защиты МСС.

Введение в МСС дополнительных аппаратно-программных средств, необходимых для создания нескольких уровней защиты (контроля, диагностики, исправления ошибок), приводит к повышению вероятности правильного выполнения задачи управления МСС. Предложенный метод оценки функциональной надежности мультисервисных систем положен в основу системотехнических решений построения центра управления и мониторинга (ЦУМ) ведомственной информационной системы. Подтверждена возможность использования этого метода при расчете надежности мультисервисной сети связи ведомственной информационной системы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

В диссертационной работе разработаны и обоснованы методы и средства поддержки управленческих решений по эксплуатации системы энергоснабжения Московского метрополитена с учетом рисковых ситуаций.

1. Предложены критерии и методы обоснования управленческих решений по замене находящегося в эксплуатации оборудования в системе электроснабжения метрополитена без рисков потери функционирования.
2. Разработан метод обоснования управленческих решений на основе анализа рисковых ситуаций в системе электроснабжения метрополитена с использование когнитивных карт.
3. Разработана структура и состав комплекса технических средств автоматизированной системы диспетчерского управления энергоснабжением.
4. Создана методика мониторинга функционирования оборудования и обеспечения заданного уровня функциональной надежности.

На основе анализа систем управления электроснабжением установлено, что повышение эффективности системы управления возможно с использованием новых компьютерных технологий и учета рисковых ситуаций.

Разработанные технические решения по реализации систем управления с учетом рисковых ситуаций могут быть использованы при проектировании многоуровневой транспортной системы.

Разработанные проектные предложения построения управленческих систем, базовые подходы к проектированию и выбору архитектуры системы

управления энергоснабжением метрополитена могут быть использованы при создании подобных систем в различных областях народного хозяйства с учетом разнообразных требований и уровней надежности передачи информации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из перечня ВАК РФ

1. Малеев П.Г. Комплекс для разработки адаптивной системы управления // Вопросы радиоэлектроники, серия «Электронная вычислительная техника», вып. 2, М., 2006, с. 81 - 86.

2. Малеев П.Г. Автоматизированная система диспетчерского управления энергоподстанциями. //Вопросы радиоэлектроники, серия «Электронная вычислительная техника», вып. 3, М., 2007,с.104-108.

3. Малеев П.Г. Развитие и совершенствование систем управления электроснабжением в Московском метрополитене/ Крупский А.А. //Вопросы радиоэлектроники, серия Общетехническая, вып. 3, М., 2011, с. 133 – 138.

4. Малеев П.Г., Автоматизированная система диспетчерского управления энергоподстанциями в Московском метрополитене, //Вопросы радиоэлектроники, серия «Электронная вычислительная техника», вып. 2, М., 2012, с. 149-152.

5. Малеев П.Г., Технологии получения и обработки знаний на основе данных видеосредств метрополитена / Крупский А.А., Малеев П.Г., Ройко Г.А. //Вопросы радиоэлектроники, серия «Электронная вычислительная техника», вып. 2, М., 2013, с. 100-107.

6. Малеев П.Г. Разработка типовых решений интегрированного программно-технического комплекса для проектирования сложной наукоемкой продукции / Малеев П.Г., Черепнев А.А. //Вопросы радиоэлектроники, серия «Электронная вычислительная техника», вып. 2, М., 2013, с. 108-116.

Статьи в региональных и ведомственных журналах

7. Малеев П.Г. Резервная система безопасности движения московского метрополитена //Транспорт Российской федерации, №11, М., 2007, с. 67 - 69.

8. Малеев П.Г. Инструментальный комплекс для проектирования встроенных систем управления реального времени/ Белоногов А.Д., Плахов Л.М., Талан Н.П., Хохлов С.Г., Чельдиев М.И. //«Современные технологии автоматизации», М., 2007, с. 113 - 117.

9. Малеев П.Г. Автоматизированная система диспетчерского управления //Депонировано в федеральном государственном унитарном предприятии «Всероссийский научно-технический институт межотраслевой информации - федеральный информационно- аналитический центр оборонной промышленности», М., 2008.

Публикации в сборниках трудов научных конференций

10. Малеев П.Г. Элементы и устройства системы безопасности движения московского метрополитена/ Крупский А.А, Хохлов С.Г., Чельдиев

М.И. //Тезисы доклада на 5 Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», М., 2007, с. 164-167.

11. Малеев П.Г. Вопросы построения адаптивных систем управления //Доклад на конференции «Высокие технологии XXI века», М., 2006, с. 470 - 473.

12. Малеев П.Г. Автоматизированная система диспетчерского управления энергоподстанциями Московского метрополитена // Выставка-конференция «Электроника и транспорт» (тезисы доклада), М., 2007, с. 18.

13. Малеев П.Г. Автоматизированная система диспетчерского управления энергоподстанциями Московского метрополитена. Вопросы сопряжения старых систем управления с современными // Выставка-конференция «Общественный транспорт» (тезисы доклада), М., 2009, с. 24-25.

14. Малеев П.Г. Организация диспетчерского управления в энергоснабжении Московского метрополитена // Доклад на Международном форуме «Высокие технологии XXI века», М., 2009, с. 180-182.

15. Малеев П.Г. Переход от старой телемеханики на АСДУЭ с наименьшими финансовыми затратами // Выставка-конференция «Электроника и транспорт» (тезисы доклада), М., 2010, с.31.

16. Малеев П.Г., Черепнев А.А. Системы диспетчерского управления электроснабжением в Московском метрополитене //Международная конференция «Компьютерные науки и технологии» (сборник трудов, с.252-255), Белгород, 2011.

17. Малеев П.Г. Разработка типовых решений интегрированного программно-технического комплекса для проектирования сложной наукоемкой продукции // Международная молодежная конференция «Прикладная математика, управление и информатика» (сборник трудов, с. 186-187), Белгород, 2012.

Подписанно в печать 22 .11.2013.
Формат 60x84x 1/16. Печатных листов 1. Тираж 100 экз. Заказ 180
Оригинал-макет подготовлен и тиражирован в ОАО НИИ ВК им Карцева М.А.
117437, г. Москва ул. Профсоюзная 108