

На правах рукописи



**ПИЛИПЕНКО Геннадий Викторович**

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БАЗЕ  
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими  
процессами и производствами

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

Иваново - 2009

Работа выполнена в Центральном Научно-Исследовательском Институте Связи  
(ЦНИИС)

Научный руководитель: кандидат технических наук  
Тулинов Виктор Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент  
Ратманова Ирина Дмитриевна,  
кандидат технических наук  
Королькова Светлана Евгеньевна

Ведущая организация: Московский энергетический институт  
(технический университет)

Защита состоится « 18 » сентября 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.064.02 при ИГЭУ по адресу: 153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, ауд. Б-237.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГЭУ, автореферат размещен на сайте [www.ispu.ru](http://www.ispu.ru)

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

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
д.т.н., профессор

В.В. Тютиков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Тема этой диссертации сформировалась в результате теоретического осмысления практики функционирования системы управления технологическими процессами на крупной электростанции - системы оперативно-диспетчерского управления (ОДУ). Ее эффективность определяется качеством выполнения двух групп задач: непосредственное управление электроэнергетическими режимами в реальном времени и расчетно-аналитическое обеспечение управления электроэнергетическими режимами. Первая группа задач требует постоянной оптимизации средств диспетчерского и технологического управления (СДТУ) в период развития энергообъекта и его информационной инфраструктуры. Этот тезис подтверждается исследованиями, проведенными после крупных аварий в энергетике США, которые показали, что причиной низкой эффективности деятельности оперативного персонала являются значительные недостатки в использовании и организации средств обмена оперативной информацией и технологии ее представления. Вопрос оптимизации системы ОДУ на базе СДТУ был предметом исследования в работах Е.Е Барыкина, Ю.А Воропаевой, Э.М Косматова, В.Д Ногина, Н.Е Харитоновой, А.Ф Дьякова, Г.В Меркурьева, где рассматривались как вопросы многокритериальной оптимизации в электроэнергетической отрасли, так и критерии ценности оперативно-диспетчерских информационных сообщений. Тем не менее, эти вопросы с особой остротой возникли в настоящий период развития телекоммуникаций, когда средства коммутации начали морально стареть намного быстрее их физического износа. Существующие подходы к совершенствованию СДТУ основываются на методологической основе оптимизации по одному критерию - минимальной стоимости. Практика показала, что такой односторонний подход не позволяет адекватно оценить всю сложность технологических процессов, реализуемых на крупной электростанции. Так была осознана актуальность теоретической задачи многокритериальной оптимизации информационной инфраструктуры крупной электростанции на базе перспективных телекоммуникационных технологий.

При ее решении также необходимо учесть, что существующая топология построения информационной инфраструктуры крупной электростанции представляет собой сеть массового обслуживания с системами различного уровня сложности, и поэтому имеет низкую эффективность из-за слабой интенсивности взаимодействия абонентов сети. Характерной особенностью современных телекоммуникационных технологий является возможность полного удовлетворения растущей потребности абонентов в дополнительных сервисах, чего статичная сеть старого образца предоставить не может. И последнее. Актуальное исследование в области управления технологическими процессами и производствами не может не учитывать влияния человеческого фактора.

Актуальность темы многократно возрастет в ближайшие годы при реализации программы развития электроэнергетического комплекса страны.

**Цель диссертационной работы** заключается в разработке научно-обоснованной методики многокритериальной оптимизации информационной инфраструктуры крупной электростанции с учетом взаимозависимости ее функциональных, надежностных и стоимостных параметров. При этом предусматривается внедрение перспективных те-

лекоммуникационных технологий, способствующих качественному скачку в области управления технологическими процессами при выработке тепловой и электрической энергии.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие **задачи**:

- разработать математическую модели диспетчерского коммутатора и сети ОДУ энергообъекта на базе СДТУ. Провести анализ ее работы;
- разработать общие подходы оптимизации сети ОДУ по функциональным признакам, надежности и минимальной стоимости;
- разработать методику многокритериальной оптимизации информационной инфраструктуры крупной электростанции с учетом взаимозависимости ее функциональных, надежностных и стоимостных параметров;
- реализовать многокритериальную оптимизацию информационной инфраструктуры при модернизации сети ОДУ ГРЭС-3 филиал ОАО «Мосэнерго» для совершенствования операций управления технологическими процессами и производствами на этом предприятии.

**Областью исследования** являются: теоретические основы и прикладные методы анализа и повышения эффективности, надежности и живучести систем и средств управления производством на этапах их разработки, внедрения и эксплуатации. Таким образом, избранная тема диссертации относится к следующим областям исследования научной специальности 05.13.06: раздел 4 *«Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»*; раздел 6 *«Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления»*; раздел 19 *«Разработка методов обеспечения совместимости и интеграции АСУ, АСУТП, АСУП, АСТПП и других систем и средств управления»*.

**Предмет исследования.** В настоящее время при реконструкции сети оперативно-диспетчерского управления на крупных электростанциях либо рассматривают задачу оптимизации применительно к одному из ее критериев (стоимость, функциональность, надежность), не учитывая многомерный характер субъективно-объективных связей в системе, либо не учитывают эффект влияния на качество ситуационного управления «лица принимающего ответственное решение» (ЛПР). Такая постановка целей ограничивает реализуемость оптимума при решении задачи реконструкции сети ОДУ на базе современных инфокоммуникационных технологий. Вместе с тем, в специальной литературе рассматриваются в общем виде методы оценки многомерного характера субъективно-объективных связей в системе, учитывающие эффект влияния ЛПР. Они основаны на учете информации об относительной важности критериев и осуществлении, на этом основании, многокритериальной оптимизации. Применение этой теории дало возможность разработать стратегию построения сети оперативно-диспетчерского управления на крупной электростанции с учетом улучшения функциональности новой сети, ее надежности и минимальной стоимости ее развития.

Модернизация системы ОДУ на основе новой теории и на базе новых технических средств предполагает получение следующих отличительных характеристик по

сравнению с существующими:

- организация единой информационной технологии взаимодействия пультов диспетчерского управления с использованием общесистемного коммутационного поля,
- реализация ситуационного представления голосовой информации в режиме on-line на автоматизированном рабочем месте (АРМ) диспетчера,
- визуальный мониторинг состояния абонентов сети и удобный ускоренный доступ к информационно-связанным абонентам системы через АРМ,
- интуитивно понятный интерфейс доступа к системе, который повышает информационную активность оперативного персонала и поддерживает его мобилизационную готовность.

В системе ОДУ электростанции, как в любой вспомогательной инфраструктуре специального назначения, от того, как учитывается многомерность всех факторов, влияющих на качество работы ее компонентов, будет зависеть и эффективность выработки конечного продукта – тепловой и электрической энергии. Таким образом, предметом исследования данной научной работы является стратегия внедрения перспективных телекоммуникационных технологий для повышения качества операций управления технологическим процессом выработки электрической и тепловой энергии. Кроме того, оптимизация работы средств диспетчерского и технологического управления на автоматизированном рабочем месте начальника смены электростанции уменьшает вероятность возникновения инцидентной или аварийной ситуации, что является основной целью оперативного управления в принципе.

**Методы исследования.** К ним относятся методики и методы теории телеграфика, теории вероятности, математической статистики, теории ситуационного управления, аналитического планирования, организации систем, метод Парето-оптимального решения задач многокритериального выбора, а также методы описательного и сравнительного анализа.

**Степень обоснованности и достоверности научных результатов.** Достоверность научных результатов диссертации обусловлена корректностью применяемых теоретических подходов и эффективностью их практического применения при модернизации сети оперативно-диспетчерского управления на крупной электростанции ОАО «Мосэнерго» - ГРЭС-3.

**Научная новизна** результатов диссертационного исследования заключается в разработке аналитической модели диспетчерского коммутатора энергообъекта и сети связи ОДУ на базе СДТУ, учитывающей влияние основных параметров сети массового обслуживания и информативных параметров анализируемой среды; в обосновании выбора функциональных атрибутов услуг и параметров надежности, имеющих существенное влияние в сети оперативно-диспетчерского управления; в применении методики многокритериального выбора оптимального решения при модернизации сети ОДУ на крупной электростанции; в разработке методики коррекции функции актуальной стоимости реализуемой сети ОДУ за счет построения наблюдаемой трехмерной векторной модели.

**На защиту выносятся** следующие основные положения:

- разработана математическая модель диспетчерского коммутатора энергообъекта как чистой системы массового обслуживания с ожиданием и пуассоновской нагрузкой;
- разработана модель системы оперативно-диспетчерского управления генерирующего объекта;
- выявлен положительный эффект от объединения аппаратных ресурсов СДТУ на базе общей программно управляемой коммутационной платформы;
- впервые формализован процесс выбора по функциональным признакам перспективных услуг связи в объединенной сети связи ОДУ на базе объединенной коммутационной платформы СДТУ;
- определены преимущества объединенной коммутационной платформы с учетом сформулированных требований, обеспечивающих повышение уровня надежности топологии развиваемой сети;
- построена модель многокритериального выбора, определены тенденции влияния основных направлений оптимизации друг на друга и значимый критерий качества – функциональная устойчивость работы единой сетевой платформы СДТУ;
- выявлены особенности построения инновационной сети ОДУ с учетом минимизации затрат на ее перспективное развитие;
- на основе модели многокритериального выбора разработана оптимальная стратегия внедрения перспективных телекоммуникационных услуг на крупной электростанции.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке формального подхода к многокритериальной оптимизации информационной инфраструктуры крупной электростанции на базе перспективных телекоммуникационных технологий. Кроме того, самостоятельную теоретическую значимость имеют аналитическая модель диспетчерского коммутатора энергообъекта и сети ОДУ, открывающая возможность эффективного управления технологическими процессами, и методика выбора функциональных атрибутов услуг технологической сети связи.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что на основе проведенных исследований осуществлен выбор эффективной структуры сети ОДУ электростанции и разработан, с участием автора, информационный интерфейс человека и СДТУ, основными особенностями которого являются: комплексное восприятие характера развиваемой ситуации, отражение динамики процесса и изменения его состояний, обобщенность представления информации, развитый ускоренный диалог пользователя, эффективность воздействия существенной информации на человека, более качественная «включенность» оперативного персонала в АРМ.

Разработанный информационный интерфейс позволяет осуществить контроль и диагностику оперативной ситуации в режиме «on-line», что имеет большое значение для поддержания режимов выработки электрической энергии.

**Реализация работы в практической деятельности.** Разработанная структура сети ОДУ введена в промышленную эксплуатацию на энергообъектах Электрогорского района Энергосвязи филиал ОАО Мосэнерго: ГРЭС-3 (г. Электрогорск), ТЭЦ-6 (г.

Орехово-Зуево), ТЭЦ-29 (г. Электросталь), ГТУ-ТЭЦ (г. Павлово Посад) в 2008 году.

**Апробация работы.** Разработанная структура сети ОДУ прошла период опытной эксплуатации на двух энергообъектах Электрогорского района Энергосвязи филиал ОАО Мосэнерго: ГРЭС-3 (г. Электрогорск), ТЭЦ-6 (г. Орехово-Зуево) с сентября 2005 года по октябрь 2006 года, что зафиксировано соответствующими приказами и актами по филиалу «Энергосвязь». Предложенные модели оценки качества обслуживания проверены экспериментально на коммутационных узлах сети «Энергосвязь» филиал ОАО «Мосэнерго», показали хорошую согласованность теоретических результатов с результатами статистических измерений и позволили прогнозировать необходимую реализуемость сети оперативно-диспетчерского управления на базе современных средств диспетчерско-технологического правления.

**Публикации.** Результаты работы отражены в 8 научных трудах: 5 статьей в научных изданиях и 3 научных труда в изданиях, рекомендуемых ВАКом для публикации основных результатов диссертаций.

**Структура диссертационной работы** определяется общим замыслом и логикой проведенных исследований. Диссертация, содержащая введение, 5 глав и заключение, изложена на 155 с. машинописного текста. В работу включены 16 рис., 5 табл., список литературы из 109 наименований и приложение, в котором представлены акты внедрения результатов диссертации.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение** содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач работы, основные положения, выносимые на защиту, и определяет содержание и методы выполнения работы.

**В первой главе** рассмотрены общие принципы функционирования средств диспетчерского и технологического управления (СДТУ) на крупной электростанции. Предметом анализа является работа диспетчерского коммутатора, предназначенного для концентрации абонентской нагрузки. Такой коммутатор можно рассматривать как систему массового обслуживания (СМО), которая обрабатывает заявки, поступающие от внутренних и внешних абонентов.

Принципиальным аспектом работы коммутатора является случайный характер входного потока вызовов. Следовательно, адекватной моделью такого коммутатора будет СМО, которая характеризуется стохастическим процессом  $X(t)$  с дискретным множеством значений, образующих непрерывную цепь Маркова.

$$\Pr [ X(t) = j | X(\tau) \text{ for } \tau_1 \leq \tau \leq \tau_2 < t ] = \Pr [ X(t) = j | X(\tau_2) ] \quad (1)$$

Так как в нашем случае обрабатываются телефонные разговоры, то уместно предположить, что их длительность подчиняется показательному закону распределения. Показательное распределение длительности обслуживаемых заявок обладает *марковским* свойством – отсутствием последействия (памяти). Соответственно, вероятность завершения обслуживания вызова на малом интервале времени  $P(t, t+\Delta t) = \mu \Delta t + o(\Delta t)$  не зависит от положения этого интервала на оси времени. Так как все процессы в исследуемой системе обладают марковскими свойствами, то все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, являются пуассоновскими.

Общий случай описания работы диспетчерского коммутатора как СМО, обладающего марковскими свойствами, позволяет рассмотреть предельный случай, имеющий важное практическое значение – случай чистой СМО с ожиданием и пуассоновской нагрузкой. Такая система содержит буфер, способный хранить очередь бесконечной длины ( $m=\infty$ ), состояние которого может быть отождествлено с числом заявок, содержащихся в системе в каждый момент времени. Обслуживание заявок, поступающих на вход сервера, рассматривается как работа чистой СМО с ожиданием (поступившая заявка будет ждать своей очереди, чтобы быть обслуженной). Заявки поступают от внутренних абонентских комплектов (АК) с директивным способом доступа, а так же от внешних АК, функционально закрепленных за коммутатором. Далее, считая СМО чистой, необходимо определить оптимальный размер буфера памяти, исходя из эмпирически выявленных параметров системы и заданной нормы потерь вызовов.

Необходимо определить  $n_m$  – оптимальное число мест в буферной памяти сервера, при котором вероятность обработки заявки в сервере составит 0,999. Эмпирически определены следующие параметры системы: средняя интенсивность поступления заявок на вход системы  $\lambda_3=2$  мин<sup>-1</sup>, время обработки заявки диспетчером за время  $t_3=1/\mu_3=0,5$  мин, тогда средняя интенсивность обработки заявки диспетчером составит  $\mu_3=2$  мин<sup>-1</sup>, а коэффициент использования ресурса системы  $\alpha_c=\lambda_3/\mu_3$  численно равен 1.

Расчеты проведены с помощью таблиц пуассоновского распределения, где:

$$P(k, \alpha) = \frac{\alpha^k}{k!} \cdot e^{-\alpha}; \quad R(n, \alpha) = \sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} \cdot e^{-\alpha} \quad (2)$$

Известно, что пуассоновское распределение относится к безгранично-делимым законам распределения, и поэтому справедливо утверждение: поток заявок, подчиняющийся пуассоновскому закону распределения, обладает свойством *аддитивности*. Если взять N каналов обработки потоков пуассоновских событий с интенсивностями  $\mu_k$  и рассмотреть новый поток как суммарный поток всех этих каналов, то результирующий поток окажется также пуассоновским с интенсивностью  $\mu_\Sigma = \sum_{k=1}^N \mu_k$ . При оценке качества обслуживания заявок в зависимости от числа мест в буферной памяти сервера и среднего числа занятых в системе каналов установлено, что увеличение количества мест в очереди более предпочтительно, чем расщепление потока вызовов. Для полноты описания модели системы, необходимо рассмотреть динамику изменения качества обслуживания в чистой СМО с ожиданием с учетом влияния среднего времени пребывания заявки в очереди при известных параметрах качества обслуживания. Из проведенного анализа следует, что при увеличении коэффициента использования системы – приближении  $\alpha$  к единице, как среднее число заявок в очереди, так и время пребывания заявки в очереди неограниченно возрастают. Распараллеливание входного потока на две точки обслуживания резко снижает вероятность пребывания заявки в очереди, но не приносит желаемого результата – увеличения эффективности работы системы. Для более детальной проработки вопроса был проведен сравнительный анализ удвоения скорости обработки заявки и распараллеливания интенсивности ее обработки. Расчеты показали, что увеличение вдвое скорости работы сервера оказывается практически столь же эффективным, как и введение параллельного сервера той же производи-

тельности. Таким образом, наиболее эффективным способом улучшения работы системы массового обслуживания является увеличение ее производительности, которая, в конечном итоге, обуславливает повышение эффективности функционирования всей информационной инфраструктуры энергообъекта в целом.

Основой сформированной нами математической модели диспетчерского коммутатора, явилась СМО, обладающая свойствами пуассоновского распределения. Поскольку пуассоновское распределение относится к классу безгранично-делимых законов распределения, то справедливо утверждать, что свойства данного распределения распространяются на всю построенную сеть массового обслуживания СеМО, которая характеризуется следующим образом. Источник заявок – требования, одновременно поступающие на входы коммутаторов сети. Поток требований пуассоновский характеризуется суммарной плотностью  $\lambda$  и обслуживается  $n$  каналами СМО. Для нахождения вероятностных характеристик системы был использован математический аппарат марковских процессов.

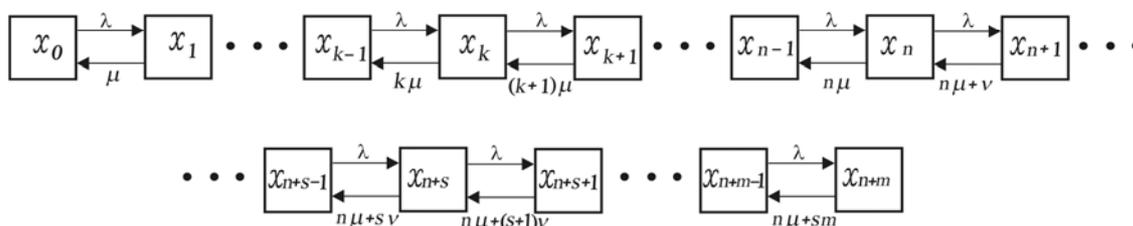


Рис. 1. Размеченный граф  $n$  – канальной СМО

На рисунке 1 показан размеченный граф  $n$  - канальной СМО. На вход поступает пуассоновский поток заявок с интенсивностью  $\lambda$ . Число мест в очереди равно  $m$ . Время ожидания заявки в очереди  $T_{ож}$  распределено по показательному закону со средним значением времени ожидания  $\bar{t}_{ож} = \frac{1}{\nu}$ , где  $\nu$  – плотность «потока ухода» заявки из очереди. Время обслуживания  $T_{об}$  распределено по показательному закону со средним значением времени обслуживания  $\bar{t}_{об} = \frac{1}{\mu}$ , где  $\mu$  – плотность «потока обслуживания» одного канала.

Такая дисциплина обслуживания полностью соответствует алгоритму работы сети ОДУ электростанции, где любая поступающая заявка не должна быть отклонена. Далее в параграфе 1.4 на основе математического аппарата марковских процессов определены основные вероятностные характеристики сети ОДУ электростанции. Данную математическую модель можно использовать как для исследования сети ОДУ, состоящей из  $N$  коммутаторов (серверов) и сформированной как  $n$  – канальное СМО с  $m$  – количеством мест в очереди, так и для исследования перспективной единой коммутационной платформы с расширенными функциональными возможностями. Эта платформа работает как СМО, на базе которой сформирована распределенная инфокоммуникационная сеть. Расчет вероятностных характеристик действующей и модифицированной сети показал: при действующих интенсивностях поступления  $\lambda$  и обработки заявки  $\mu$ , с учетом технических характеристик диспетчерского коммутатора, вероятность потери вызова  $P_{n+m}$  бесконечно мала, а вероятность обслуживания  $P_{обс}$  (оценка качест-

ва устойчивости работы сети) бесконечно близка к единице.

**Во второй главе** дана характеристика функциональности инфокоммуникационной инфраструктуры крупной электростанции. Логику обеспечения функциональной активности потребителя услуг сети ОДУ электростанции определяет количество функциональных групп, их составляющие и взаимосвязи в рамках сформированной задачи выбора возможных решений оптимизации. Так как технологический процесс выработки электроэнергии и тепла это четко сформированная последовательность выполнения организационных и технических мероприятий, целесообразно по заданной аналогии сформировать две одноименные функциональные группы. Сервисы, имеющие ту или иную степень значимости в сети связи ОДУ электростанции, составляют техническую группу распределенной функциональной плоскости. Организационную группу составляют сущности, прямо или косвенно влияющие на спецификацию ответственных решений лица, которое отвечает за логику организации технологического процесса предприятия. Здесь выделена информационная «включенность» потребителя услуг и эргономика организации его рабочего места, где информационная «включенность» потребителя в процесс производства это его способность при помощи вспомогательных средств доставки информации максимально адекватно проводить *диагностику* любой штатной и нештатной ситуации.

Для структурирования функциональной плоскости потребителю дана возможность оценить значимое влияние того или иного сервиса на ее организационную составляющую. Так оценивается значимость потребительского спроса на выделенные услуги связи. Далее, после построения структурной схемы взаимодействия двух групп функциональной плоскости, описывается их практическая весомость по сформированной шкале относительных оценок. Это и является характеристикой функциональности сформированной инфокоммуникационной инфраструктуры. Используя такую схему обеспечения функциональной активности абонентов сети ОДУ и внося дополнительный объем избыточной интеллектуально полезной информации в интерфейс ММ – человек – машина, можно максимально увеличить информационную «включенность» диспетчера электростанции в технологический процесс выработки электрической и тепловой энергии. Сравнительный анализ мнения пользователя показывает явное улучшение функциональных характеристик модернизированной функциональной плоскости. Дальнейший анализ проведенной структуризации явился основанием для определения атрибутов для сервисов, имеющих существенное влияние в сети ОДУ электростанции. Данная процедура предусматривает переход от субъективной оценки качества услуги в относительных коэффициентах к количественному измерению их показателей, с последующей оценкой существенности их влияния на потребителя.

К настоящему времени еще нет полной картины того, каким образом и при помощи каких механизмов человек осуществляет выбор. Существуют лишь определенные подходы и варианты предложений решения этих сложных вопросов. При этом они нередко в чем-то противоречат друг другу и в совокупности явно не исчерпывают все возможные способы выбора. Считается, что одной из наиболее типичных черт поведения диспетчера в ходе ведения оперативных работ является расчленение (декомпозиция) исходной проблемы на множество более простых промежуточных и последующее

применение стратегии компенсации или исключения (не компенсации). Основным фактором, влияющим на выбор потребителя в этих условиях, является большой объем дополнительной информации в виде оперативных переговоров, полученный в режиме on-line.

В таблице 1 приведены коэффициенты значимости  $K_{з(эксп)}$ , полученные в натурном эксперименте. Для улучшения чистоты эксперимента рассчитаны средние значения  $K_{з(эксп)}$  по результатам наблюдения на пяти получасовых интервалах. В этой же таблице приведены субъективные оценки значимости услуг,  $K_{з(норм)}$ , предложенные потребителем для информационной включенности (числитель) и эргономичности рабочего места (знаменатель).

Таблица 1

Услуга	MSG Сообщение	АСВ Обратный вызов	МА Много- линей- ный вызов	CFC Пере- вод вызова	HOLD Удер- жание	SM/LI Тихое прослу- шивание	XFER Переад- ре- сация	RM Будиль- ник	DSS Прямой вызов
$K_{з(эксп)}$	0	0	0,32	0,33	0,33	0,62	0,12	0,16	0,4
$K_{з(норм)}$	0/0,1	0/0,1	0,3/0,1	0/0,3	0/0,3	0,6/0,3	0/0,1	0,1/0	0,3/0,6

Процесс выбора значимых возможностей услуг связи показал, что предлагаемые возможности услуг современных телекоммуникационных платформ востребованы и влияют на организационные сущности всего производственного процесса энергообъекта. Однако для проведения процесса оптимизации сети ОДУ по критерию функциональной значимости услуг необходимо провести процедуру формализации всех апостериорно полученных результатов. Для построения аналитической модели применялся аппарат формализации теории принятия решений, мотивированных интересами. В рамках подобной модели управления используются определения **О.1**, описывающие качество управляющих действий и решений. **О.1:** тройка формальных объектов  $\langle J, O, \mathfrak{R} \rangle$ , в которой  $J$  является множеством заинтересованных сторон (субъектов интересов);  $O$  — множество объектов интересов;  $\mathfrak{R}$  — отношения на элементах множества  $(J \times O)$ , называется **интересо-ориентированной системой**. **О.2:** если в составе интересо-ориентированной системы существует субъект, интересы которого обязаны учитывать и соблюдать все другие субъекты при реализации своих индивидуальных интересов, то такой субъект является **доминирующим**, и его интересы также являются доминирующими в интересо-ориентированной системе. **О.3:** интересо-ориентированная система является **корпоративной**, если в ее составе существует доминирующий субъект. **О.4:** класс интересо-ориентированных систем, в которых субъект интересов единственен и объект интересов единственен, является **минимальным**. Система из минимального класса называется **минимальной**. **О.5:** Система со структурой систем минимального класса, но такая, что мотивация управляющих действий субъекта определяется экзогенно заданной целью, является **«простой»**. Подобная логика построения систем наилучшим образом подходит для описания процедуры оперативного управления на крупной электростанции. На основании введенных определений интересо-ориентированных систем поясним смысл вышеуказанного понятия **диагностики**. Выбор ситуации в зависимости от наблюдаемого состояния назовем термином **«диагно-**

стика». Обратим внимание, что это самое важное для нас понятие. Далее, согласно концепции ситуационного управления должна быть задана функция полезности  $w^s : (Y \times S \times X) \rightarrow R^1$ , представляющая априорные предпочтения на управляющих альтернативах  $y \in Y$  в соответствии с условием:  $y' \succ y \Leftrightarrow w^s(y', s, x) > w^s(y, s, x)$ . Вывод сформулируем в виде следующего постулата. **Постулат диагностики.** Ситуации являются эндогенными качественными характеристиками, определяющими отношение субъекта к состоянию. *Они недоступны непосредственному наблюдению и нуждаются в диагностике, содержание которой сводится к выбору ситуации в зависимости от наблюдаемого состояния.*

Из выполненных рассуждений и введенных постулатов следует, что принятие управляющих решений должно выполняться по следующей схеме:

- 1) для каждой ситуации выбирается управляющее воздействие;
- 2) наблюдается состояние, и в зависимости от обнаруженного состояния выполняется диагностика ситуации;
- 3) для ситуации, полученной по результатам диагностики, используется управляющее действие.

В соответствии с вышесказанным обобщенная модель сети ОДУ энергообъекта выглядит следующим образом: управление осуществляется на основе диагностики - выбора ситуации в зависимости от наблюдаемого состояния, субъектом интересов является диспетчер, объектом – технологический процесс, а информационная инфраструктура выступает в роли средства реализации интересов. Формирование команд выполняется в соответствии со схемой ситуационного управления, мотивированного интересами. Концепция ситуационного управления, мотивированного интересами, постулирует, что качество стратегии управления должно описываться критерием ожидаемой полезности, а стратегии диагностики — критерием риска потерь полезности. Нужную функцию диагностики  $\omega^s(x, y)$  естественно определять значениями функции полезности  $\omega^s(s, x, y) = \omega^s(s^*, x, y)$  при значении  $s^* \in S$  переменной состояния, при которых выполняются ограничения  $x \in X_s \subset X$  на допустимость ситуации  $x$  в роли альтернативы диагностики и выполняются ограничения  $y \in Y_x$  на допустимость управляющей альтернативы  $y$  в зависимости от заданной ситуации  $x \in X$ . Для выбора ситуации в этих условиях требуется некоторый «ориентир оптимизации», который определял бы ту «наибольшую полезность», которую можно достичь при диагностике ситуации в зависимости от состояния  $s \in S$ . В роли такого «ориентира оптимизации» естественно использовать верхнюю грань функции полезности при условии заданного состояния  $s \in S$ . Поскольку при этом существуют ограничения  $[Y_x \subseteq Y]$  на допустимость управляющих альтернатив в зависимости от ситуаций  $x \in X$  и ограничения  $[X_s \subseteq X]$  на допустимость альтернатив диагностики в зависимости от состояний  $s \in S$ , то нужный «ориентир оптимизации» естественно определять выражением:

$$m^s(s) = \max_{x \in X_s} \max_{y \in Y_x} w^s(s, x, y), \quad s \in S, \quad g \in G.$$

Предположим теперь, что при условии состояния  $s \in S$  в качестве результата диагностики выбрана некоторая ситуация  $x \in X$  и при этом выбрана управляющая аль-

тернатива  $y \in Y_x$ .

Тогда выражение вида:  $r^g(s, x, y) = |w^g(s, x, y) - m^g(s)| = |w^g(s, x, y) - \max_{x \in X_s} \max_{y \in Y_x} w^g(s, x, y)|$

будет описывать априорные «потери полезности» в сравнении с возможным «наилучшим» результатом выбора, определяемым указанным выше «ориентиром».

Данное выражение естественно определять как функцию диагностики. На основании проведенного анализа и результатов натурального эксперимента, построен график зависимости, который будет описывать априорные «потери полезности» в сравнении с возможным «наилучшим» результатом выбора, определяемым указанным выше «ориентиром» функции диагностики от количества используемых возможностей услуг связи. Из таблицы 1 видно, что потребляемые услуги связи имеют явный порог насыщения. Большая часть услуг используется в среднем режиме потребления, однако несколько услуг и комплексов их возможностей потребляются в избыточном режиме. Это связано с тем, что для диагностики состояния системы важна информационная избыточность потребляемых услуг, а так же их интуитивная доступность для среднестатистического пользователя.

**В третьей главе** рассмотрена проблема оценки надежности сети ОДУ с точки зрения применения современной телекоммуникационной техники. Оценка надежности сети связи ОДУ энергообъекта впервые проведена на основе действующих норм на надежность основного генерирующего оборудования. Далее, исходя из логики, что сеть ОДУ является информационной инфраструктурой, основной задачей которой является обеспечение готовности к работе генерирующего оборудования электростанции, задан коэффициент готовности для сети ОДУ на порядок выше коэффициента готовности основного оборудования энергообъекта. Кроме того, требования к коэффициенту готовности Кг сети связи ОДУ энергообъекта следует задавать, исходя из того, что вероятность одновременной неготовности ГТУ (любой отказ САУ в пиковом режиме работы) и сети связи ОДУ является бесконечно малой величиной. Для обеспечения этого соотношения необходимо, чтобы время безотказной работы сети связи было на два порядка больше периода пуска ГТУ, составляющего в пиковом режиме в среднем  $T=4$  часа (240 минут). Среднее время восстановления современной аппаратуры связи составляет не более  $t_{в}=10$  минут. Таким образом, коэффициент готовности сети ОДУ должен быть не менее  $K_{г}=1-(t_{в} / 100 \cdot T + t_{в})=1-4,2 \cdot 10^{-4}=0,99958$ .

Сопоставим это значение с нормами на Кг сети связи общего пользования. Учитывая, что среднее время междугородного соединения составляет 3 мин., среднее время восстановления аппаратуры связи 10 мин., а наработка между отказами не менее 300 мин., получаем коэффициент готовности 0,968. Сравнивая это значение с Кг для сети ОДУ, можно сделать вывод, что надежность технологической сети связи крупного энергообъекта должна быть значительно выше, чем надежность сети связи общего пользования. Для более детального исследования проведен априорный анализ надежности действующей сети ОДУ электростанции как «системы» с набором «элементов».

Определение показателей надежности сети ОДУ крупной электростанции требует введения количественных характеристик свойств, которые принципиально влияют на появление отказа в сети. Ненадежностью элемента называется вероятность  $q(t)$  того,

что элемент откажет (выйдет из строя) в течение времени  $t$ . Очевидно,  $q(t) = 1 - p(t)$ . Рассмотрим время безотказной работы элемента как случайную величину  $T$ . Ненадежность  $q(t)$ , есть не что иное, как функция распределения (интегральный закон распределения)  $F(t)$  величины  $T$ :  $q(t) = P(T < t) = F(t)$ , отсюда  $p(t) = 1 - F(t)$ . Ненадежность  $q(t)$  обладает свойствами функции распределения неотрицательной случайной величины. Она равна нулю при  $t = 0$ ; не убывает с возрастанием  $t$ ; стремится к единице при  $t \rightarrow \infty$ . Соответственно надежность  $p(t)$  — невозрастающая функция, равная единице при  $t = 0$  и стремящаяся к нулю при  $t \rightarrow \infty$ . В качестве характеристики надежности элемента часто применяется среднее время безотказной работы, т. е. математическое ожидание величины  $T$ :  $\bar{t} = M(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$ . Среднее время безотказной работы для экспоненциально-

го закона надежности:  $\bar{t} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}$ , т. е. при постоянной интенсивности от-

казов, среднее время безотказной работы элемента равно единице, деленной на эту интенсивность. Отсюда вытекает способ приближенного определения интенсивности отказов: вычисляют среднее время  $t$  безотказной работы элемента и берут величину, обратную ему. Таким образом, зная среднее время безотказной работы (или постоянную интенсивность отказов), можно в случае экспоненциального распределения найти вероятность безотказной работы для интервала времени от момента включения до любого заданного момента  $t$ . Таким образом, если устройство проработало без отказов до момента  $t$ , то дальнейшее распределение времени безотказной работы устройства будет таким же, как и в момент его первого включения. Это свойство полностью характеризует экспоненциальное распределение. Другие распределения не имеют указанного свойства.

Из рассмотренного следует, на первый взгляд, парадоксальный вывод: нецелесообразно проводить профилактику или замену устройств для предупреждения внезапных отказов, подчиняющихся экспоненциальному закону. Конечно, никакой парадоксальности этот вывод не содержит, так как предположение об экспоненциальном распределении интервала безотказной работы означает, что устройство не стареет, или стареет очень медленно. Тогда, используя априорный анализ с помощью экспоненциального распределения, можно наиболее точно повторить свойства современной программно-управляемой коммутационной платформы, при построении ее математической модели, как элемента системы. На основании сделанных выводов рассмотрим восстанавливаемую систему без резервирования, которая характеризуется постоянной интенсивностью отказов  $\lambda$ . После возникновения отказа система восстанавливается, причем время восстановления распределено по экспоненциальному закону с параметром  $\mu$ . В периоде восстановления новые отказы не появляются. Система может находиться в двух состояниях: работоспособном (состояние 0) и восстановления (состояние 1). Указанные переходы можно представить в виде графа, где возможны четыре вида переходов из состояния в момент времени  $t$  в состояние в момент времени  $t + \Delta t$ :  $0 \rightarrow 0$  (безотказная работа),  $0 \rightarrow 1$  (отказ),  $1 \rightarrow 0$  (восстановление работоспособности),  $1 \rightarrow 1$  (продолжение восстановления). Этому графу соответствует матрица переходных вероятностей размера  $2 \times 2$ :

$$\begin{pmatrix} p_{00}(\Delta t) & p_{01}(\Delta t) \\ p_{10}(\Delta t) & p_{11}(\Delta t) \end{pmatrix}$$

Для составления уравнений вероятностей состояний следует записать формулу полной вероятности для каждого столбца матрицы:

$$\begin{aligned} p_0(t + \Delta t) &= p_0(t)p_{00}(\Delta t) + p_1(t)p_{10}(\Delta t) = p_0(t)(1 - \lambda\Delta t) + p_1(t)\mu\Delta t + o(\Delta t), \\ p_1(t + \Delta t) &= p_0(t)p_{01}(\Delta t) + p_1(t)p_{11}(\Delta t) = p_0(t)\lambda\Delta t + p_1(t)(1 - \mu\Delta t) + o(\Delta t). \end{aligned}$$

Отсюда получена система двух дифференциальных уравнений (3) относительно вероятностей состояний «0» и «1» системы без резервирования:

$$\left. \begin{aligned} p_0'(t) &= -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t), \\ p_1'(t) &= \lambda p_0(t) - \mu p_1(t), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Вероятность того, что в момент времени  $t$  система находится в ремонте:

$$p_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \left[ 1 - e^{-(\lambda + \mu)t} \right]$$

Функция готовности системы или вероятность того, что в момент времени  $t$  система работоспособна, равна:

$$p_0(t) = 1 - p_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[ 1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right] \quad (4)$$

Величина  $p_0$  в рассматриваемом случае представляет вероятность работоспособности,  $p_1$  - вероятность восстановления системы после аварии. Остается только ввести количественную характеристику готовности системы – вероятность работоспособного состояния в произвольный момент времени. Зависимость этой вероятности от текущего времени назовем функцией готовности и обозначим ее через  $G(t)$ .

Для рассматриваемых моделей получаем:

$$G(t) = e^{-\lambda t} + \int_0^{\infty} e^{-\lambda(t-\tau)} \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu} \left[ 1 - e^{-(\lambda + \mu)\tau} \right] d\tau$$

Выполняя интегрирование, находим:  $G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$ .

Коэффициент готовности равен:  $K_z = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_s}$ .

Графики функции  $G(t)$  для рассматриваемых значений  $\lambda/\mu$  показаны на рисунке 2. Из построенных графиков видно, что даже при условии качественной эксплуатации, согласно технологическим картам, аппаратура оперативной связи электромеханического типа выдерживает требования руководящих документов по уровню оперативной готовности  $K_z = 0,999$ , в предельно возможном для себя режиме. В свою очередь новое поколение телекоммуникационных средств позволяет строить необходимые инфокоммуникационные инфраструктуры с коэффициентом готовности выше требуемого в руководящих документах.

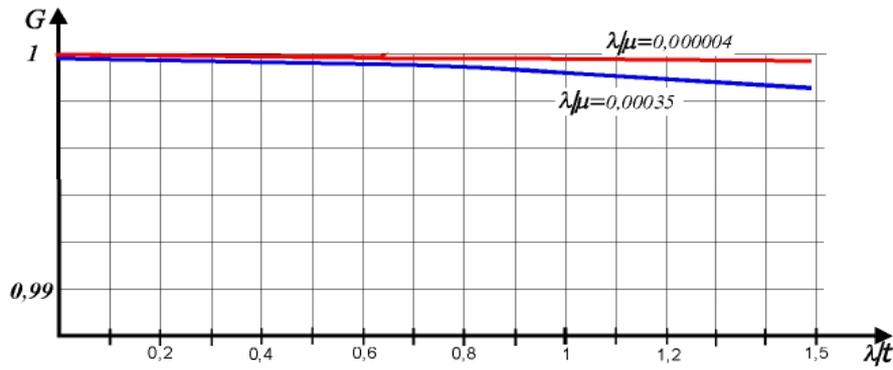


Рис. 2. Функция готовности системы без резервирования с восстановлением при различных значениях  $\lambda/\mu$

В главе 2 рассмотрены функциональные свойства информационной инфраструктуры, а в главе 3 – её надежность. Обоснованное решение о пути модернизации информационной инфраструктуры может быть принято только с учетом обоих критериев. Далее рассмотрена задача многокритериального выбора. Наличие конечного набора информации об относительной важности критериев, состоящей в том, что один критерий важнее другого, позволяет сузить множество компромиссов и, тем самым, получить более точную оценку для множества выбираемых решений. Иначе говоря, для ЛПР  $i$ -й критерий важнее  $j$ -го, если всякий раз при выборе из пары решений ЛПР готово пожертвовать определенным количеством  $W_j^*$  по менее важному  $j$ -у критерию ради получения дополнительного количества  $W_i^*$  по более важному  $i$ -у критерию. При этом соотношение между числами  $W_i^*$  и  $W_j^*$  позволяет количественно оценить указан-

ную степень важности. В этом случае положительное число  $\theta_{ij} = \frac{w_j^*}{w_i^* + w_j^*}$  называется

**коэффициентом относительной важности** для указанной пары критериев.

С учетом введенных выше предположений опишем представленную на рисунке 3 векторную модель сети связи ОДУ старого и нового типа.

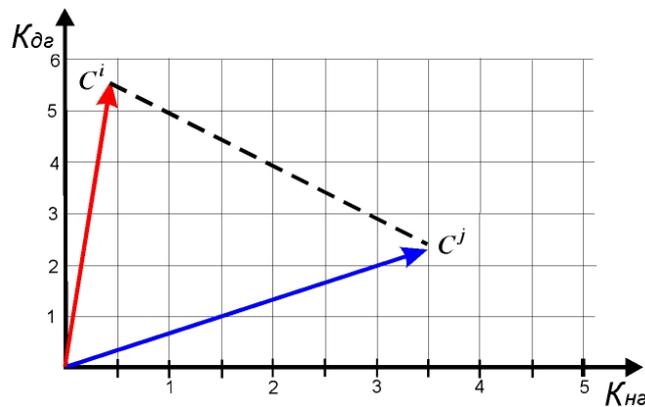


Рис. 3. Двухкритериальная векторная модель Сети ОДУ старого и нового типа

Для сети старого типа (вектор  $c^j$ ) характерна сложная разветвленная топология построения с поперечными связями между узлами коммутации. Кроме того, количество предоставляемых услуг связи меньше, чем у коммутатора нового типа. Если предположить, что в процессе выбора ЛПР ведет себя достаточно «разумно», то он будет

пытаться уйти от неpreferred решений. Тогда более слабый вектор  $c^j$  преобразуется в новый вектор оптимизации  $\tilde{c}'$ , который будет тяготеть к более сильному вектору  $c^i$ . Для обоснования коэффициента относительной важности  $\theta_{ij}$ , необходимо определить границы «разумности» для логически обоснованных действий ЛПР. В идеале ЛПР, готово пожертвовать старой топологией сети ОДУ и построить ее как новую распределенную сеть. При этом уменьшение длины отрезка  $c^i c^j$  характеризуется как улучшение свойства *функциональной устойчивости* программного обеспечения, которое управляет аппаратными средствами коммутационного сервера.

**В четвертой главе** проведена оценка целесообразности реализации сети оперативно-диспетчерского управления электростанции, обеспечивающей технические требования по передаче трафика, дальнейшую эксплуатацию и развитие с минимальными расходами.

В процессе оптимизации необходимо определить затраты на решения, удовлетворяющие техническим требованиям к организации сети ОДУ на базе СДТУ. Как правило, эта задача не может быть решена в общем виде. Целесообразно попарно рассмотреть, как меняются затраты под влиянием одного из критериев (функциональности или надежности) для достижения заданной реализуемости сети. Взамен этого другой рассматриваемый параметр должен удовлетворять менее жестким требованиям. При сравнительном расчете затрат необходимо учитывать и капитальные, и эксплуатационные расходы. Расходы различного характера, возникающие в разные моменты времени могут учитываться на основе расчета *актуальной стоимости*.

Если в момент времени  $t$  необходимо использовать сумму  $C_t$ , и в период  $0 \div t$  вклад дает ежегодный приход брутто  $r\%$ , то затраты, учитываемые в настоящее время:

$C_0 = \frac{C_t}{(1+r)^t}$ , где значение  $r$  принято брать большим, чем банковские проценты для ре-

ализации схемы лизингового кредитования. При выборе  $r$  необходимо учитывать, что:

— из-за быстрого морального старения оборудования связи необходима амортизация этого оборудования в течение короткого времени, поскольку вследствие стремительного развития технологий связь сеть ОДУ периодически трансформируется, и часто оборудование необходимо заменять до его физического износа;

— из-за неточных предварительных оценок долгосрочные капиталовложения не обязательно используются с хорошей эффективностью, что является одним из стимулов для оптимизации;

— при крупных капиталовложениях в первое время не обеспечивается проектируемая абонентская нагрузка, что тоже является одним из стимулов для оптимизации.

С учетом вышесказанного актуальная стоимость капиталовложений принимает вид (5):

$$K_0 = \frac{C_t}{(1+r)^t} + S \frac{(1+r)^{T-t} - 1}{(1+r)^T} - M \frac{1}{(1+r)^T} \quad (5)$$

где  $S$  — затраты на годовую эксплуатацию,  $M = C'e^{-\alpha(T-t)}$  — остаточная стоимость в  $T$ -ый год,  $C'$  — остаточная стоимость в сумме капиталовложений, то есть часть возвращаемых затрат, которая ежегодно уменьшается на  $\alpha$  процентов. Исходя из вышеска-

занного, модернизацию сети ОДУ удобно проводить поэтапным способом. Этому способствует и модульная структура построения современного телекоммуникационного оборудования. Если капиталовложения выполняются поэтапно и сеть расширяется в отрезки времени  $t_2 \dots t_n$ , то  $K_0$  примет вид:

$$K_0 = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C_i}{(1+r)^i} + S_i \frac{(1+r)^{T-t_{i-1}} - 1}{(1+r)^T} \right] - M \frac{1}{(1+r)^T} \quad (6)$$

Если предположить, что потребности абонентов в дополнительных услугах связи на последующих этапах построения сети ОДУ возрастают экспоненциально, то стоимость построения оптимальной сети ОДУ можно выразить в форме:  $N(t) = N(0)e^{vt}$ , где  $N(t)$  и  $N(0)$  - стоимость в  $t$ -ый и  $0$ -ой период эксплуатации, а  $v$  – отношение ежегодного прироста.

Расчет оптимального периода капиталовложений целесообразно проводить для перспективного развития сети ОДУ блочной очереди электростанции. При оптимизации необходимо учитывать, что в настоящее время технические параметры современного оборудования за период  $t_{opt}$  меняются в значительной мере, в связи с чем  $K_0$  дает возможность получить более точные данные относительно предварительно предполагаемых потребностей. Для этого при очередных капиталовложениях в действующее оборудование СДТУ, то есть при рабочем проектировании новой ступени, необходимо рассмотреть, в какой степени изменились конъюнктурные условия в корпоративной политике ведущего производителя. Это означает, что планы на длительные сроки подготавливаются вперед на  $T$  лет, а для целей практической реализации непосредственно используется план этапа  $t_{opt}$  периода  $\Delta N$ . Перед подготовкой плана реализации очередного второго этапа в момент времени  $t_{\Delta N}$  снова выполняется расчет вперед на  $T$  лет и рассчитывается оптимум сети ОДУ с учетом изменений на очередной период  $t_{opt}$ . Из этого второго долгосрочного плана снова выполняются задачи, соответствующие только первой ступени капиталовложения. Затем в очередной момент времени  $t_{\Delta N}$ , процесс снова повторяется. Смысл подобного перспективного планирования заключается в том, что при оптимизации учитываются цели долгосрочного развития, однако планы реализации из-за возможных меняющихся условий рынка подготавливаются вперед только на период  $t_{opt}$  перед осуществлением капиталовложений.

С другой стороны для поиска оптимума капиталовложений, надежность сети ОДУ электростанции целесообразно повышать до тех пор, пока стоимость суммы затрат на увеличение надежности сети не превысит стоимость *экономических потерь* в выработке электрической энергии и тепла из-за простоев и ремонта оборудования СДТУ.

Для достижения поставленной цели коэффициент готовности выражается через обратную величину – коэффициент неготовности, который далее записывается в форме уравнения параметров и является развернутой функцией  $n$  – числа отказов в течение единицы времени и  $L$  – полное время пропадания связи. Общая форма уравнения:

$$K_c = 1 - nL = 1 - \left\{ \left[ n_k + n_D P \left( \frac{x_n - x_0}{v_x} < L_a \right) \right] \times L_{adm} + L_{jav} + L_{nt} \right\} \quad (7)$$

Дифференцируя уравнение по затратам, получим оптимум для  $n$  и  $L$  при постоянных ценах. Практическое решение поставленной задачи требует определения вышеуказанных коэффициентов, исходя из отдельно рассматриваемых частных условий. Результаты решения указанной задачи оптимизации затрат можно использовать для рационального планирования объема эксплуатационных работ на оборудовании СДТУ.

**В пятой главе** рассматривается оптимальный выбор на основе трех критериев и показано его практическое воплощение на конкретном примере. При решении широкого круга прикладных задач из области техники и экономики приходится иметь дело с выбором наилучших решений при наличии нескольких критериев оптимальности. К настоящему времени в зависимости от характера и объема имеющейся в наличии информации о решаемой задаче разработано значительное количество различного рода эвристических процедур выбора при многих критериях. Отличительной особенностью таких процедур является отсутствие их строгого обоснования. Обычно аргументы в пользу применения той или иной процедуры выбора являются не доказательствами, а лишь некоторыми соображениями автора, которые при определенных обстоятельствах одни исследователи принимают, а другие отвергают. При этом сами авторы подобных процедур не могут указать четкие границы области применимости предлагаемых методов. Это ведет к тому, что для решения одной и той же задачи использование различных методов обычно приводит к принципиально отличающимся вариантам наилучшего выбора. Тем самым этот вопрос не снимается, а лишь переводится из одной плоскости в другую. Принципиальная сложность задач выбора при многих критериях заключается в невозможности априорного определения того, что называют наилучшим решением. Дело в том, что каждое лицо, принимающее решение (ЛПР), имеет право вкладывать свой собственный смысл в это понятие. Более того, небольшое изменение обстоятельств, при которых осуществляется выбор, может привести к изменению смысла наилучшего решения. Следовательно, это понятие не может быть учтено в рамках фиксированной математической модели, как по причине количества обстоятельств, так и в силу невозможности «математизации» различных аспектов психологического характера, оказывающих влияние на окончательный выбор.

В отличие от традиционного подхода в последнее время активно развивается методология, не предполагающая для своей реализации наличия строгого определения выбираемого решения. Ее суть заключается в получении тех или иных оценок сверху для неизвестного множества выбираемых решений на основе определенных общих свойств поведения ЛПР в процессе принятия решений. Данная методология организована следующим образом. Сначала формулируются основные понятия, определения и используемые предположения (главы 2, 3, 4). Затем вводится задача многокритериального выбора и устанавливается принцип Парето, согласно которому при определенных общих обстоятельствах, выраженных в виде четырех «разумных» аксиом А3.1 – А3.4, для всех пар решений  $x', x'' \in X$ , для которых имеет место неравенство  $f(x') \geq f(x'')$ , выполняется соотношение  $x' \succ_x x''$ . То-есть, если значение целевой функции решения  $x'$  больше или равно значению целевой функции  $x''$ , то решение  $x'$  доминирует решение  $x''$ . Далее выбор «внутри» множества Парето проводится с помощью метода последовательного сужения этого множества на основе информации об относительной важно-

сти критериев. Анализ двухкритериальной задачи выбора в сети ОДУ крупной электростанции показывает, что важность одного критерия в сравнении с другим оказывается не одинаковой для различных пар критериев. Например, важность критерия актуальной стоимости сети ОДУ в сравнении с критерием надежности представляется большей, чем важность критерия величины функциональной диагностики в сравнении с тем же критерием актуальной стоимости. В соответствии с этим для решения трехкритериальной задачи требуется ввести более «сильное» определение важности критериев. В работе предложено следующее: если имеется два сообщения об относительной важности критериев и они являются взаимно независимыми, то-есть  $i$ -й критерий важнее  $j$ -го, а он, в свою очередь, важнее некоторого  $k$ -го критерия, при условии  $j \neq i, k \neq j, k \neq i$ , тогда для учета этого набора информации и формирования оценки сверху нужно дважды применить теорему 3.1, в которой идет речь об учете информации об относительной важности одного критерия в сравнении с другим. Сначала следует пересчитать  $k$ -й критерий для того, чтобы воспользоваться информацией о том, что  $j$ -й критерий важнее  $k$ -го. Затем необходимо пересчитать  $j$ -й критерий для учета информации о том, что  $i$ -й критерий важнее  $j$ -го. В результате будет образован новый векторный критерий, который будет отражать взаимосвязь между менее важными  $j$ -м и  $k$ -м критериями. Множество парето-оптимальных решений относительно нового векторного критерия будет представлять собой оценку сверху для неизвестного множества выбираемых решений.

Далее теорема **T** формализует общие рассуждения по данному вопросу. **T**: Пусть выполнены аксиомы А3.1 – А3.4 и имеются два сообщения о том, что  $i$ -й критерий важнее  $j$ -го критерия с коэффициентом относительной важности  $\theta_{ij}$ , а также что  $i$ -й критерий важнее  $k$ -го критерия с коэффициентом относительной важности  $\theta_{ik}$ . Тогда для любого непустого множества выбираемых решений справедливы включения:  $SelX \subset \tilde{P}(X) \subset P(X)$ , где  $\tilde{P}(X)$  множество парето-оптимальных решений в многокритериальной задаче с множеством возможных решений  $X$  и новым  $(m+1)$ -мерным векторным критерием  $g$ , определяемым равенствами:

$$\begin{aligned} g_j &= \theta_{ij} f_i + (1 - \theta_{ij}) f_j \\ g_k &= \theta_{ik} f_i + (1 - \theta_{ik}) f_k \\ g_{m+1} &= \theta_{ij} \theta_{ik} f_i + (1 - \theta_{ij}) \theta_{ik} f_j + \theta_{ij} (1 - \theta_{ik}) f_k \\ g_s &= f_s \text{ для всех } s \in I \setminus \{i\} \end{aligned}$$

Приведем геометрическую иллюстрацию теоремы **T** для случая линейных критериев. Пусть  $m=n=3$ ,  $f_i(x) = \langle c^i, x \rangle$ ,  $i=1,2,3$ , где  $c^1, c^2, c^3, x \in R^3$  (см. рис. 4). Предположим, что первый критерий важнее второго с коэффициентом относительной важности  $\theta_{12} \approx 0,25$ , а также важнее третьего критерия с коэффициентом относительной важности  $\theta_{13} \approx 0,4$ . Учет большей важности первого критерия в сравнении со вторым приводит к трехкритериальной задаче с векторами  $c^1, c_n^2, c^3$ , являющимися градиентами трех линейных критериев. Аналогично, учет большей важности первого критерия в сравнении с третьим ведет к трехкритериальной задаче с тремя векторами  $c^1, c^2, c_n^3$ . Тем самым,

получаем два конуса целей, соответствующих двум имеющимся сообщениям об относительной важности. Для одновременного учета обоих сообщений об относительной важности необходимо рассмотреть пересечение указанных конусов. В итоге приходим к конусу, порожденному четырьмя векторами  $c^1$ ,  $c_n^2$ ,  $c_n^3$ ,  $c^4$ . Это и есть конус целей новой задачи, множество Парето которой дает оценку сверху для множества выбираемых решений.

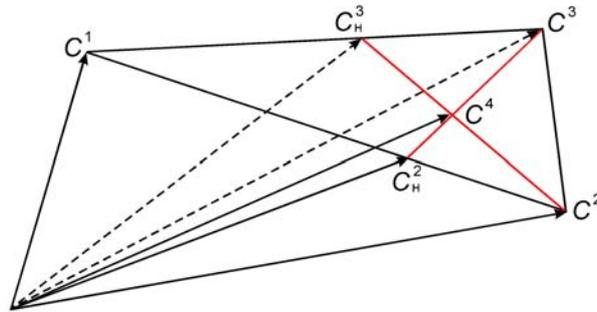


Рис. 4. Многокритериальный конус целей

Если считать, что  $c^1$  – градиент линейного критерия минимальной стоимости сети ОДУ электростанции,  $c^2$  – градиент критерия функциональности сети, а  $c^3$  – градиент линейного критерия ее надежности, то после проведения процедуры оптимального выбора появляется новый линейный критерий с градиентом  $c^4$ . Он лежит на вновь образованной грани конуса целей, и его положение в пространстве зависит от значений  $\theta_{12}$  и  $\theta_{13}$ .

Результатом исследований, проведенных в третьей главе, было заключение, что при двухкритериальном выборе уменьшение длины отрезка между векторами оптимизации характеризуется как улучшение свойства *функциональной устойчивости* программного обеспечения, которое управляет аппаратными средствами коммутационного сервера. Напомним, что функциональной устойчивостью программно-аппаратного комплекса является надежная работа аппаратных средств, вытекающая из минимума вероятности появления коллизий от проведения корректировок в программном обеспечении комплекса. Другими словами, выпуск новой версии программного обеспечения (ПО) для управляющего комплекса должен только исключать старые ошибки (багги) и проведенные корректировки не должны влиять на уже отлаженные циклы алгоритма ПО. По такой технологии обновляются драйверы на сайтах ведущих производителей компьютерной индустрии. Однако ПО телекоммуникационного сервера намного сложнее драйвера компьютерного модуля. По этой причине весомость нового критерия значительно выше. Если анализировать свойства конуса целей (рис. 4), то можно обнаружить, что при заданных начальных условиях идет наполнение конуса целей в сторону увеличения значимости критерия надежности относительно критерия актуальной стоимости и уменьшения значимости критерия функциональности сети относительно того же критерия. Подобная расстановка приоритетов говорит о том, что ЛПР готово увеличивать функциональность сети, но с минимальными потерями по критерию надежности. Это можно реализовать, если оптимизировать сеть ОДУ электростанции согласно схеме сокращения интервалов этапов капиталовложений при проектировании ее развития.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате выполнения диссертации разработана научно-обоснованная методика многокритериальной оптимизации информационной инфраструктуры крупной электростанции с учетом взаимозависимости ее функциональных, надежностных и стоимостных параметров. При этом суть эффективной структуры сети ОДУ заключается в наличии инновационной телекоммуникационной платформы, обладающей необходимой производительностью, надежностью и набором услуг, обеспечивающих высокую «включенность» диспетчера как лица, принимающего решение. Суть оптимальной стратегии внедрения перспективных телекоммуникационных услуг заключается в поэтапной динамике развития сети ОДУ на основе векторной модели оптимального многокритериального выбора. Частные результаты диссертации заключаются в следующем:

1. Разработана модель диспетчерского коммутатора энергообъекта, основанная на модели чистой системы массового обслуживания с ожиданием и пуассоновской нагрузкой. Для нее рассмотрены процессы влияния среднего времени пребывания заявки в очереди, а также проведен сравнительный анализ удвоения скорости обработки заявки и распараллеливания интенсивности ее обработки.

2. На основе разработанной модели проведен анализ сети ОДУ крупной электростанции, в результате чего выявлена возможность улучшения ее характеристик за счет объединения аппаратных ресурсов. Обосновано, что для оптимизации сети выбранное направление формирования сетевых ресурсов будет глобально оптимальным при проведении оптимизации по функциональным характеристикам, уровню надежности и стоимости сети.

3. Дана характеристика функциональности инфокоммуникационной инфраструктуры электростанции. Выбор значимых услуг связи показал, что предлагаемые возможности услуг современных телекоммуникационных платформ востребованы и влияют на организационные сущности всего производственного процесса энергообъекта, а определенный атрибут услуг может рассматриваться как критерий при оптимизации сети ОДУ по функциональным признакам.

4. Построена аналитическая модель сети ОДУ крупной электростанции как информационная модель интересо-ориентированной системы минимального класса с тактическими альтернативами. Она позволяет оптимизировать сеть ОДУ по функциональным признакам, а выявленные критерии оптимизации дают возможность в явном виде проследить оптимум функциональных возможностей сформированной сети ОДУ на основе современной телефонной коммутационной платформы.

5. С учетом показателя надежности сети ОДУ электростанции построена априорная модель диспетчерского коммутатора сети ОДУ электростанции как восстанавливаемая система без резервирования. Особенностью такой системы является ее высокая надежность при правильном режиме эксплуатации, на основании чего доказана возможность объединения аппаратных ресурсов без снижения комплексного коэффициента готовности оборудования СДТУ.

6. Построена векторная модель сети ОДУ крупной электростанции сформированная по принципу выделения Парето - оптимального множества недоминируемых ре-

шений, которая позволила провести процесс оптимизации с использованием функции диагностики и коэффициента готовности модернизируемой сети ОДУ.

7. Для проведения анализа перспективного развития сети ОДУ с использованием современной телекоммуникационной техники СДТУ было предложено использовать методологию учета капитальных и эксплуатационных затрат на основе расчета вновь введенного критерия актуальной стоимости.

8. Разработана схема сокращения интервалов этапов капиталовложения при проектировании развития сети ОДУ на базе современного оборудования связи СДТУ, причем расчетные ступени оптимизации затрат позволили максимально сократить единовременные капиталовложения в развиваемую сеть. При этом оптимизация затрат на эксплуатационную готовность необслуживаемого оборудования СДТУ показала, что вероятность безотказной работы сети ОДУ на оборудовании СДТУ нового типа выше требуемой.

9. Окончательная векторная модель сети ОДУ крупной электростанции, построенная по принципу формирования оценки сверху и выделения в конусе целей Парето - оптимального множества недоминируемых решений, позволяет провести процесс оптимального выбора с использованием трех критериев, после чего в явной форме определяется четвертый критерий, отражающий взаимозависимость функциональных и надежности характеристик сети ОДУ за счет объединения аппаратных ресурсов.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Опубликованные в изданиях, по списку ВАК РФ:***

1. Анализ сети оперативно-диспетчерского управления (ОДУ) крупной электростанции / Г.В.Пилипенко // Естественные и технические науки. — 2007. — № 4. С. 210 - 216.
2. Выбор оптимальной системы оперативно-диспетчерского управления электростанции / Г.В.Пилипенко // Энергетик. — 2008. — № 10. С. 34-35.
3. Оптимизация человеко-машинного интерфейса с помощью модели диспетчерского управления электростанцией / Г.В.Пилипенко // Автоматизация и современные технологии. — 2009. — № 5. С. 43 -45.

### ***Публикации в других изданиях***

1. Концептуальный анализ основных принципов построения инфокоммуникационных сетей генерирующих объектов в Электроэнергетике / Г.В. Пилипенко // Аспирант и соискатель. — 2005. — № 1. С. 187 - 193.
2. Разработка способов оптимизации работы системы оперативно-диспетчерского управления на крупной электростанции / Г.В.Пилипенко // Аспирант и соискатель. — 2006. — № 4. С. 269 - 274.
3. Общие принципы построения математической модели для диспетчерского коммутатора энергообъекта / Г.В.Пилипенко // Аспирант и соискатель. — 2007. — № 3. С. 135 - 143.
4. Оптимизация капиталовложений при заданном уровне надежности средств диспетчерского и технологического управления крупной электростанции / Г.В.Пилипенко // Вопросы экономических наук. — 2008. — № 5. С. 83-85.

5. Оптимальный многокритериальный выбор в сети ОДУ крупной электростанции / Пилипенко Г.В. // Техника и технологии. — 2008. — № 5. С 46-49.

**ПИЛИПЕНКО Геннадий Викторович**  
**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ**  
**ИНФРАСТРУКТУРЫ КРУПНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БАЗЕ**  
**ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Автореферат  
Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 17.06.2009 г. Формат 50/84 1/16.

Печать плоская. Усл. печ. л. 1,39

Тираж 100 экз. Заказ № 311.

ГОУ ВПО «Ивановский государственный  
энергетический университет имени В.И.Ленина»

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.