

На правах рукописи

Зорин Кирилл Михайлович

**МОДЕЛЬ И МЕТОДИКА РЕКОНФИГУРАЦИИ ЛОГИЧЕСКОЙ  
СТРУКТУРЫ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ**

Специальность 05.13.01 — Системный анализ, управление и обработка  
информации (технические системы)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург — 2010

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
Максимов Роман Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Соколов Борис Владимирович

кандидат технических наук, доцент  
Казак Александр Филиппович

Ведущая организация: ОАО «Информационные телекоммуникационные технологии» («ИНТЕЛТЕХ»)

Защита состоится «\_\_\_» декабря 2010 г. в \_\_\_ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций ДС 212.238.07 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» ноября 2010 г.

Ученый секретарь  
совета по защите докторских  
и кандидатских диссертаций

Цехановский В. В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Современный этап развития информационных систем предполагает их интеграцию, глобализацию, абстракцию от физического оборудования и местоположения, динамический характер поведения, а также реализацию технологий распределенных вычислений и виртуализации.

Слияние информационных систем и систем связи породило новое понятие — интегрированная информационная система. Интегрированная информационная система — это совокупность процессов связи, устройств, сетей и служб связи информационной системы и выделенного ресурса сети связи общего пользования, объединенная в единую многофункциональную систему для передачи, хранения и обработки всех видов информации.

Основными направлениями исследований в интегрированных информационных системах являются: вопросы анализа, проектирования, динамики функционирования, управления и оптимизации.

Несмотря на значительное число работ в смежных областях, в которых уже рассматривались схожие вопросы, существует большое количество нерешенных задач, а так же, учитывая, что область интегрированных информационных систем объединяет в себе такие области, как автоматизированные системы, распределенные вычисления, системы связи, технологии виртуализации и т. д., возникают принципиально новые задачи, ранее не рассматриваемые.

Отмеченное выше позволяет выделить сложившееся **противоречие** между возрастающими потребностями в применении новых концепций интегрированных информационных систем и существующим недостаточным уровнем разработки методического обеспечения и практических рекомендаций, соответствующих современным условиям функционирования информационных систем.

Данное противоречие позволяет сформулировать **научную задачу**, заключающуюся в разработке на основе анализа существующих решений и существующего методического обеспечения моделей реконфигурации логической структуры ИИС, методик реконфигурации логической структуры ИИС и способов реконфигурации и сравнительной оценки логических структур ИИС.

Выявленное противоречие и сформулированная научная задача обусловили выбор **темы** данного исследования: «Модель и методика реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы» и ее **актуальность**.

**Цель исследования** — разработка методического обеспечения процесса реконфигурации логической структуры для повышения эффективности функционирования интегрированной информационной системы.

**Объект исследования** — реконфигурация логической структуры интегрированной информационной системы.

**Предмет исследования** — модель, методика и способы реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы.

В ходе исследования были использованы следующие методы:

теоретические (системный анализ, метод моделирования, теория исследования операций, метод динамического программирования, теория алгоритмов, теория графов);

эмпирические (обобщение передового опыта в области защиты информации, наблюдение, количественный и качественный анализ эмпирических данных, полученных в ходе исследования, опытно-экспериментальная работа по проверке исходных положений и полученных теоретических результатов).

Теоретическую основу исследования составили работы отечественных (Б. Я. Советов, С. А. Яковлев, В. А. Терехов, Б. В. Соколов, М. Ю. Охтилев, Р. М. Юсупов, В. В. Цехановский, Л. А. Растрин, С. В. Петров) и зарубежных (Перез П., Боллобас Б., Барабаси А.) ученых.

**Положения**, выносимые на защиту:

1. Модель реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы.

2. Методика реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы.

3. Способы реконфигурации и сравнительной оценки логических структур интегрированной информационной системы.

**Научная новизна работы.**

1. Разработана модель реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы, учитывающая динамический характер и адаптивное поведение. Процесс реконфигурации описан с помощью нового (2007 г.) математического аппарата матричных графовых грамматик.

2. На основе разработанной модели разработана методика реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы, позволяющая выбирать наилучшую из множества альтернативных синтезированных

структур. Используется метод динамического программирования, марковские случайные процессы и численные методы решения систем дифференциальных уравнений.

3. Разработаны способы реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы, реализующие мониторинг состояния логической структуры ИИС, восстановление конфигурации логической структуры ИИС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, сравнительную оценку альтернативных логических структур.

**Научно-практическая значимость** исследования заключается в возможности использования его результатов в интегрированных информационных системах в следующих аспектах:

1. Модель реконфигурации логической структуры ИИС позволит описать модель самой логической структуры ИИС, учесть ее динамический характер и адаптивное поведение, а также описать синтаксис преобразований логической структуры ИИС, что необходимо для программной реализации данной модели.

2. Методика реконфигурации логической структуры ИИС позволит изменять логическую структуру ИИС путем реорганизации логических каналов связи, учитывая ограниченную максимальную пропускную способность физических каналов связи, а также реконфигурировать логическую структуру ИИС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов.

3. Способы реконфигурации и сравнительной оценки логических структур интегрированной информационной системы, реализующие мониторинг состояния ЛСИИС, сравнительную оценку альтернативных ЛСИИС, восстановление конфигурации ЛСИИС в условиях дестабилизирующих факторов и осуществляющие реконфигурацию ЛСИИС управлением маршрутами трафика позволят пополнить существующий комплекс методов для реконфигурации логической структуры ИИС.

**Реализация.** Результаты диссертационного исследования внедрены в научно-исследовательских работах:

ФГУП «НИИ «Масштаб»; Военная академия связи им. С. М. Буденного; СПбГЭТУ «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009–2010 годы)», о чем имеются соответствующие акты о внедрении.

Достоверность полученных научных результатов обеспечена применением современной научной методологии, использованием современных математических методов, апробированных на практике и результатами экспериментальных исследований.

**Апробация.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научно-технических и научно-практических конференциях: 63-й научно-технической конференции «Научно-технического общества радиотехники, электроники и связи» 2008 г; научно-практическая конференции «Инновационная деятельность в ВС РФ», Военная академия связи, СПб, (2006–2008); научно-технические семинары кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (2007–2010); научно-технические семинары научно-исследовательского отдела Военной академии связи (2007–2010).

**Публикации.** Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 8 статьях, докладах и патентах, из них по теме диссертации 8, среди которых 1 публикация в ведущем рецензируемом издании, рекомендованном в действующем перечне ВАК. Доклады доложены и получили одобрение на 4 научно-технических и научно-практических конференциях, перечисленных в конце автореферата. Основные положения защищены 3 патентами на изобретения.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав с выводами, заключения и списка литературы. Она изложена на 170 страницах машинописного текста, включает 38 рисунков, 25 таблиц и содержит список литературы из 90 наименований, среди которых 52 отечественных и 38 иностранных авторов.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель, объект, предмет и задачи исследования; обозначены теоретико-методологические основы исследования научной задачи; показана его научная новизна, теоретическая и практическая значимость, а также сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «**Анализ задачи реконфигурации структуры информационно-коммуникационной системы**» выполнен анализ условий и факторов, влияющих

на развитие информационных систем. В последнее время одним из основных требований, предъявляемых к информационным системам, стала гибкость инфраструктуры, возможность реконфигурации. Системы со статичными инфраструктурами не удовлетворяют множеству различных меняющихся во времени требований. Отделение логической структуры информационной системы от физической обеспечивает технология виртуализации, а возможность реконфигурации логической структуры обеспечивается основанная на виртуализации концепция «облачных вычислений» (*Cloud Computing*). В отечественной научной литературе наиболее близкий по смыслу понятию «облачных вычислений» является термин «интегрированная информационная система».

Модель «облачных вычислений», разработанная Национальным институтом стандартов и технологий (США) приведена на рис. 1.

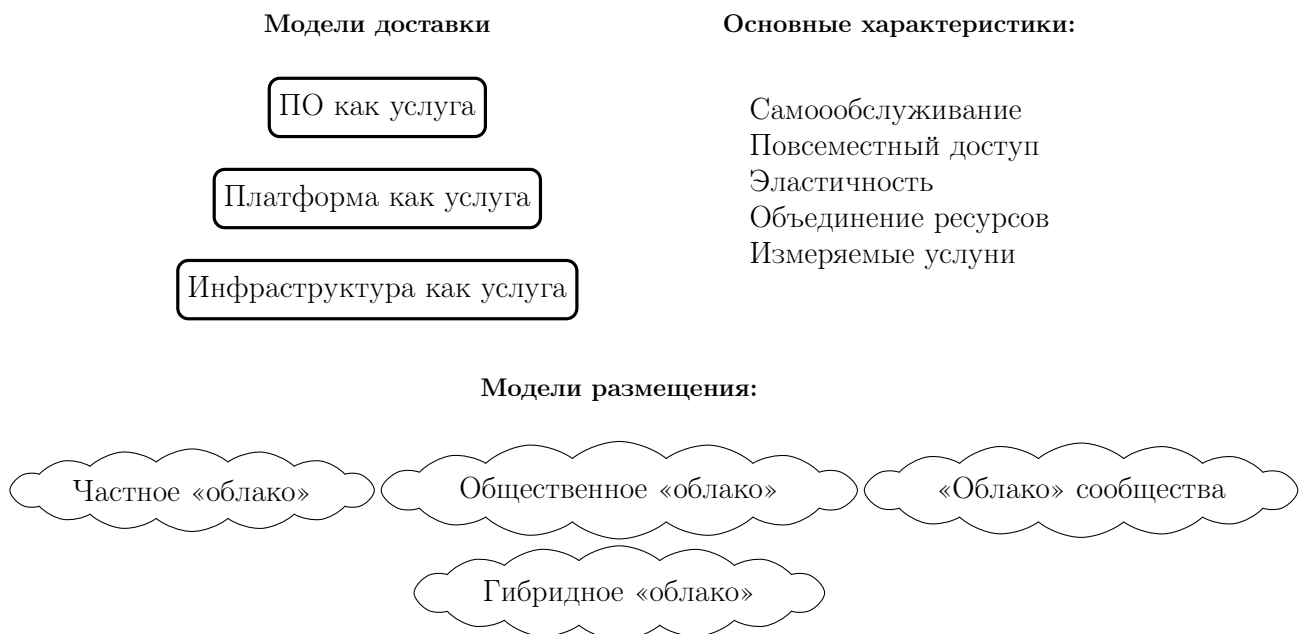


Рис. 1. Модель «облачных вычислений»

Развитие интегрированных информационных систем (ИИС) можно разделить на этапы благодаря модели зрелости «облачных вычислений», представленной на рис. 2.

Проведенный анализ позволяет утверждать, что одной из первоочередных задач является задача реконфигурации логической структуры. Проведена декомпозиция задачи реконфигурации логической структуры. Выявлены направления научно-исследовательских работ, включающие: разработку модели реконфигурации логической структуры ИИС с адаптивным поведением и математический аппарат, описывающий реконфигурацию; разработку методики ре-

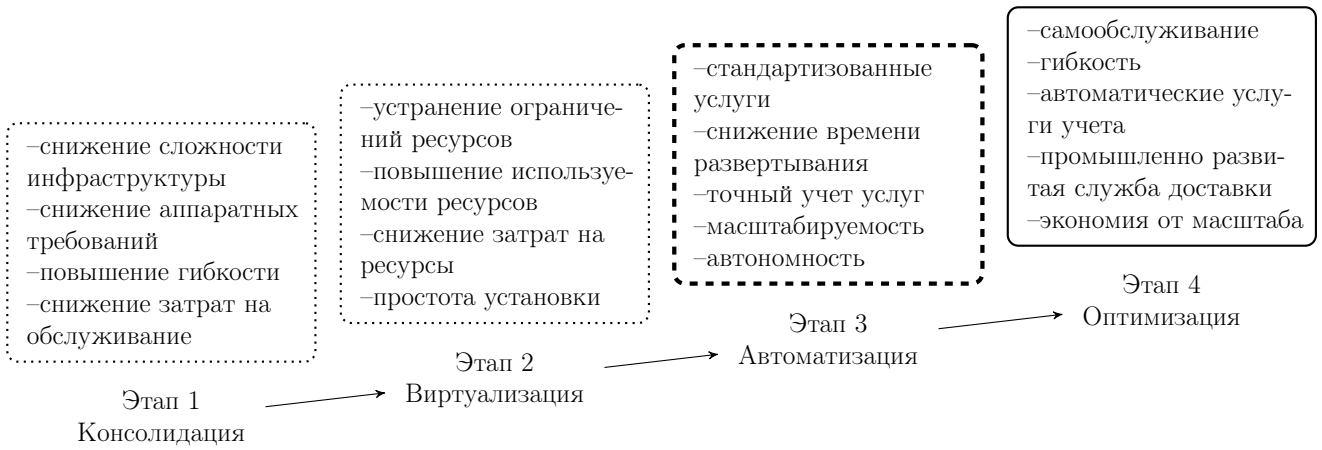


Рис. 2. Этапы развития «облачных вычислений»

конфигурации логической структуры ИИС, обеспечивающей выбор оптимальной по заданным критериям логической структуры из множества альтернатив; разработку способов, обеспечивающих мониторинг качества логической структуры ИИС, сравнительную оценку альтернативных логических структур ИИС, восстановление конфигурации логической структуры при сбоях, а также реконфигурацию логической структуры ИИС с помощью управления маршрутами трафика.

Во второй главе «**Модель реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы**» рассмотрена задача моделирования реконфигурации логической структуры ИИС (рис. 3).

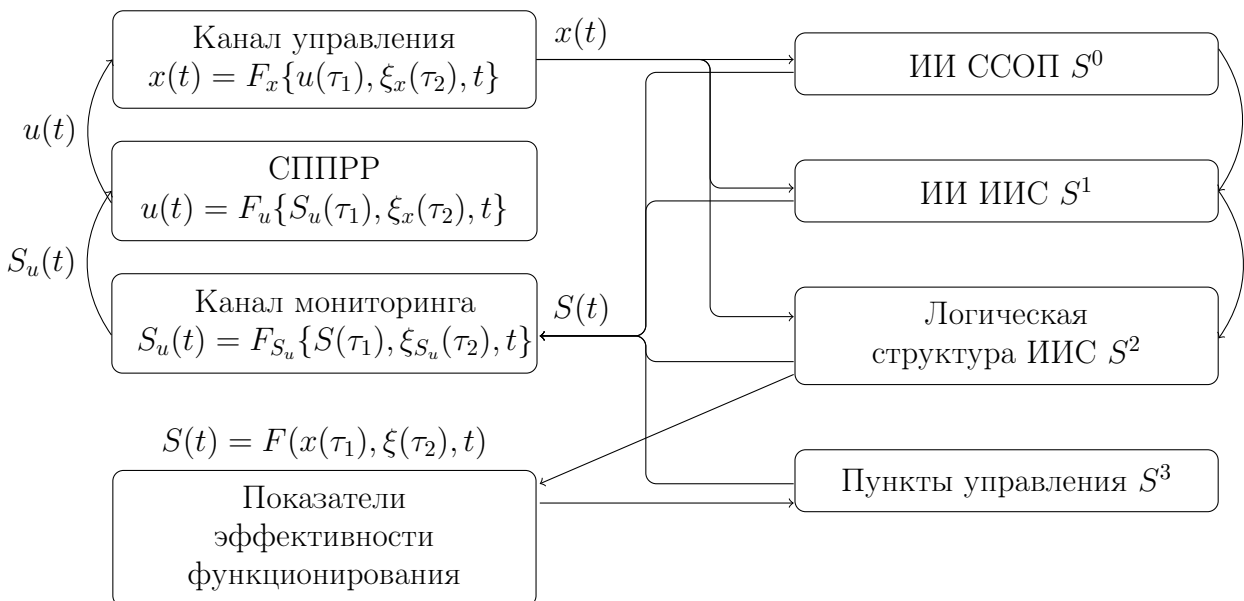


Рис. 3. Общая структурная схема постановки задачи моделирования реконфигурации ЛСИИС



Таблица 1. Параметры модели логической структуры ИС

| Параметр   | Интерпретация параметра   |
|--|---|
| $f(m)$   | Связность, обеспечиваемая в направлении по маршруту $m$   |
| $m = \begin{bmatrix} i_1, & \dots, & 0, & i_{L_m} \\ k_1, & \dots, & k_{L_m-1}, & 0 \\ l_1, & \dots, & l_{L_m-1}, & 0 \end{bmatrix}$                     | $L_m$ — общее количество УС, входящих в $m$ с длиной $L_m - 1$ ; $(i_1, \dots, i_{L_m})$ — последовательность УС в $m$ ; $(k_1, \dots, k_{L_m-1})$ — последовательность типов интерфейсов в $m$ ; $(l_1, \dots, l_{L_m-1})$ — последовательность режимов работы соответствующих типов интерфейсов в $m$ . |
| $I_m = I_{i_1, i_2}^{k_1, l_1} I_{i_2, i_3}^{k_2, l_2} \dots \dots I_{i_n, i_{n+1}}^{k_n, l_n} I_{i_1} I_{i_2} \dots I_{i_{n+1}}$ ,<br>где $n = L_m - 1$ | Индикатор действующего маршрута   |
| $f_{i,j}(t) = \sum_{m \in M(i,j)} f(m, t)$   | Показатели связности направлений СС ИИС   |
| $x^2(t) = \langle \{f_x(m, t)\} \rangle$   | Значение планируемых связностей в маршрутах   |
| $\xi^2(t) = \langle \{f_\xi(m, t)\} \rangle$   | Значение утерянных за счет внешнего воздействия связностей в маршрутах  |
| Составляющие логической структуры  | $f(m, t) = [f_x(m, t) - f_y(m, t)]I(m, t)$  |

Далее описана модель логической структуры ИИС, включающая описание информационной инфраструктуры сети связи общего пользования, информационной инфраструктуры ИИС и логической структуры ИИС (параметры модели логической структуры ИС представлены в табл. 1). Источниками трафика в этой модели являются сокеты (*sockets*).

Далее рассмотрена модель эволюционной адаптации.

При синтезе (поиске, преобразовании, коррекции, адаптации) модели (логической структуры) ИС неизбежны некоторые противоречия, т. к. чем более сложен исходный граф, тем больше можно правил к нему применить, а сам процесс преобразований может быть бесконечен. Поиск целесообразно прекращать, когда за фиксированное количество шагов не удастся получить локально-оптимальное решение со значением ЦФ, большим по сравнению с наилучшим из уже построенных.

Рассмотрен процесс адаптации, определяемый рекуррентным соотношением вида  $c_{n+1}^i = c_n^i + \gamma_n Q_i(c_n, X_n)$ , где  $c_n = \{c_n^i\}$ ;  $X_n$  — случайная величина,  $Q_i$  — детерминированная функция,  $\gamma_n$  — числовая последовательность, определяющая преобразования из множества  $\Xi$ . Для решения этой задачи применяют адаптивный алгоритм

$$c_n = c_{n-1} - \gamma_n \frac{dQ(X_n, c_{n-1})}{dc} \quad (1)$$

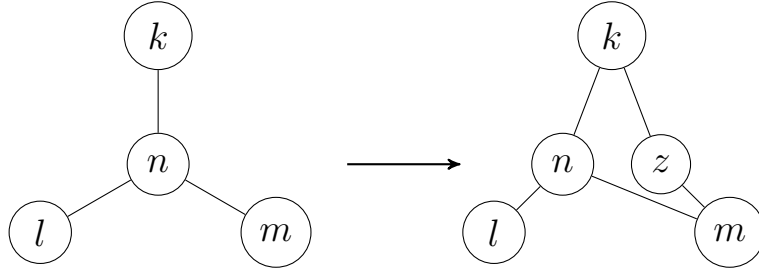


Рис. 4. Частичное дублирование вершины

Момент останковки эволюционного алгоритма определяется следующим способом:

$$N = \min \left\{ n: \max_{i=1, k} |c_{n-i+1} - c_{n-i}| < \delta \right\} \quad (2)$$

Далее рассмотрены синтаксические правила преобразований логической структуры ИИС.

Любой граф можно представить матрицей смежности  $A_G$ , где элемент  $a_{ij}$  равен 1, если есть связь узла  $i$  с узлом  $j$ .

Пусть  $L$  — исходный граф (перед шагом трансформации),  $R$  — конечный граф (после шага трансформации).

Определено действие, преобразующее исходный граф  $L$  в  $R$ ,  $p: L \rightarrow R$ .

Введено понятие матрицы удаления связей и матрицы добавления связей.

$e = (e)_{ij} = 1$ , если связь  $(i, j)$  удаляется, 0 — в противном случае

$r = (r)_{ij} = 1$ , если связь  $(i, j)$  добавляется, 0 — в противном случае

$$e = L \wedge \overline{(L \wedge R)} = L \wedge \overline{R}$$

$$r = R \wedge \overline{(L \wedge R)} = R \wedge \overline{L}$$

Теперь преобразование  $p: L \rightarrow R$  можно представить с помощью матриц удаления и добавления связей:

$$R = r \vee (\overline{e} \wedge L) \quad (3)$$

Одно из правил приведено на рис. 4.

В терминах матричных графовых грамматик:

$$L = \left( \begin{array}{cccc|c} 0 & 0 & 0 & 1 & k \\ 0 & 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 & m \\ 1 & 1 & 1 & 0 & n \end{array} \right) = \left( \begin{array}{cccc|c|c} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & k \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & m \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & n \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z \end{array} \right) R = \left( \begin{array}{cccc|c|c} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & k \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & m \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & n \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & z \end{array} \right)$$

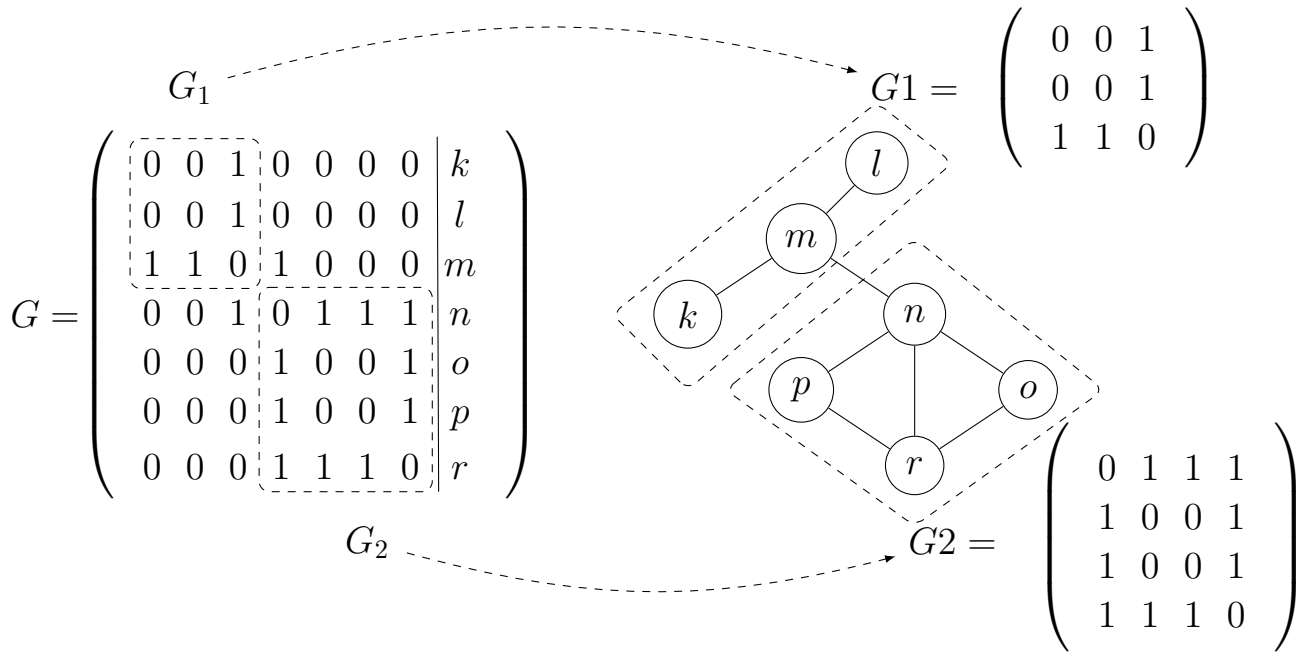


Рис. 5. Пример понижения размерности задачи

Соответственно, матрицы удаления и добавления связей будут иметь вид:

$$e = \left( \begin{array}{cccccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & z \end{array} \right) \quad r = \left( \begin{array}{cccccc|c} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & l \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & m \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & n \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & z \end{array} \right)$$

Всё преобразование целиком имеет вид:

$$R = \left( \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right) \vee \left[ \left( \begin{array}{ccccc} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{array} \right) \wedge \left( \begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \right] = \left( \begin{array}{ccccc} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array} \right)$$

С помощью данной модели можно анализировать и синтезировать систему по частям. Можно реконфигурировать систему не целиком, а какой-то проблемный сегмент. Или заранее просчитать оптимальные структуры для каждого сегмента, а потом искать оптимальное их сочетание в целом, что сильно понижает размерность задачи, как показано на рис. 5.

В третьей главе «Методика реконфигурации логической структуры интегрированной информационной системы» рассмотрены показатели эффективности синтезируемых логических структур, с помощью которых альтернативные логические структуры могут быть сравнены. Приведены при-

меры критериев. Экономические критерии: стоимость обслуживания ИИС с заданной структурой, стоимость оборудования для реализации системы с заданной структурой, стоимость реконфигурации структуры для реализации ИИС с заданной структурой; критерии надежности: среднее время простоя элемента, коэффициент исправного действия элемента, вероятность нарушения работы элемента при помехе; критерии систем массового обслуживания: среднее время нахождения заявок в очереди, средняя длина очереди заявок, максимальное время нахождения заявки в очереди.

Далее описана реконфигурация логической структуры ИИС с ограниченной максимальной пропускной способностью каналов связи. Задача решается с помощью метода динамического программирования.

$x_j$  — пропускная способность  $j$ -го канала связи;

$B$  — суммарная пропускная способность всех  $N$  канала связи;

$D_j, d_j$  — соответственно наибольшая и наименьшая пропускная способность, которую может иметь  $j$ -й канала связи;

$\Phi_j(x_j)$  — итоговые расчетные затраты на  $j$ -м канале связи. Известно, что они равны сумме себестоимости передачи данных и произведения капиталовложений на нормативную эффективность, причем, как себестоимость  $c_j(x_j)$  данных, переданных за расчетное время (например, за месяц) по  $j$ -му каналу, так и капиталовложения  $K_j(x_j)$  в организацию, увеличение пропускной способности или реконструкцию канала зависят от предполагаемой пропускной способности  $x_j$  этого канала связи.

Задача состоит в нахождении плана развития каналов связи  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , обеспечивающего минимум общих затрат  $\Phi_1(x_1) + \Phi_2(x_2) + \dots + \Phi_N(x_N)$  при условиях:

$$x_1 + x_2 + \dots + x_N = B, \quad x_1 \leq D_1, \dots, d_N \leq x_N \leq D_N. \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \varphi_j(X_j) &= \Phi_j(x_j) - \Phi_j(d_j) = \Phi_j(X_j + d_j) - \Phi_j(d_j); \\ m_j &= D_j - d_j; \quad b = B - (d_1 + d_2 + \dots + d_N); \quad j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\varphi_j(X_j)$  означает расчетные итоговые затраты на  $j$ -м КС на прирост дополнительной пропускной способности  $X_j$ , считая от минимальной пропускной способности  $d_j$ , а  $b$  — суммарный прирост пропускных способностей на всех  $N$  каналах связи.

Вводится параметр состояния и функция состояния. Через  $F_k(\xi)$  обозначаются минимальные затраты на создание дополнительной пропускной способности  $\xi$  только на первых  $k$  каналах, т.е.  $F_k(\xi) = \min \sum_{j=1}^k \varphi_i(X_i)$ , где минимум берется по переменным  $X_1, X_2, \dots, X_k$ , удовлетворяющим условиям  $\sum_{j=1}^k X_j = \xi$ ,  $0 \leq X_j \leq m_j$ ,  $j = \overline{1, k}$ . Показателем в данной методике является целевая функция  $F(\xi) = \sum_{j=1}^N (C_j(x_j) + B \cdot K_j(x_j))$ , а критерием — ее минимизация:

$$F(\xi) = \sum_{j=1}^N (C_j(x_j) + B \cdot K_j(x_j)) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Далее приведен пример численного расчета.

Также описана реконфигурация логической структуры ИИС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. Влияние и характер воздействия на элемент логической структуры ИИС таких систем, как система связи общего пользования (ССОП), система управления (СУ), система поддержки принятия решения на реконфигурацию (СППРР), схематично представлено на рис. 6.

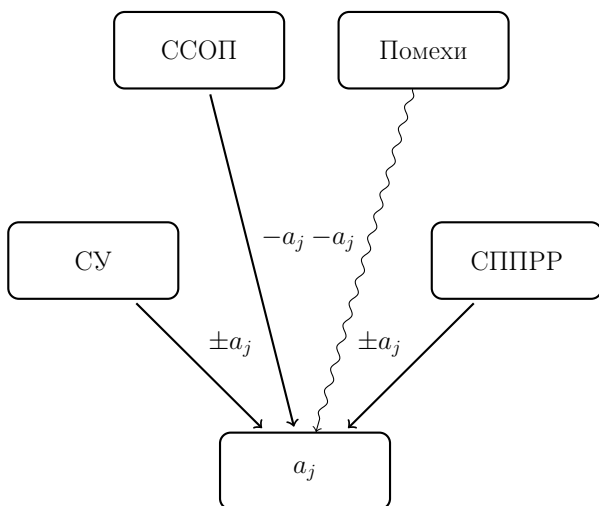


Рис. 6. Системы, воздействующие на элемент ИИС

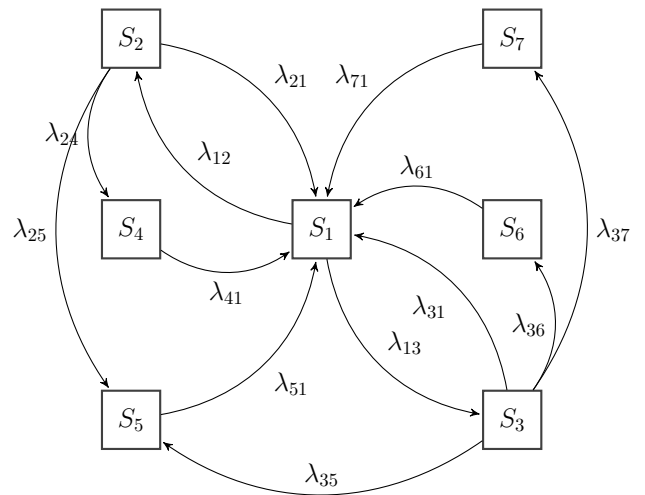


Рис. 7. Граф состояний с интенсивностями переходов

Имеется элемент логической структуры ИИС  $S$ , который с течением времени переходит из одного состояния в другое. Необходимые для исследования дискретные состояния СППРР ЛСИИС можно перечислить:  $S_1$  — мониторинг состояния узла ИИС;  $S_2$  — сравнительная оценка альтернативных структур ИИС;  $S_3$  — восстановление конфигурации ЛС;  $S_4$  — реконфигурация струк-

туры ИИС;  $S_5$  — воздействия внутренней помехи;  $S_6$  — воздействия внешней помехи;  $S_7$  — другие факторы.

$$\begin{cases} \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_{41}p_4(t) + \lambda_{51}p_5(t) + \lambda_{61}p_6(t) + \lambda_{71}p_7(t) + \\ + \lambda_{21}p_2(t) + \lambda_{31}p_3(t) - \lambda_{12}p_1(t) - \lambda_{13}p_1(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{12}p_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{24} + \lambda_{25})p_2(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{13}p_1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{35} + \lambda_{36} + \lambda_{37})p_3(t) \\ \frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{24}p_2(t) - \lambda_{41}p_4(t) \\ \frac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_{25}p_2(t) - \lambda_{35}p_3(t) - \lambda_{51}p_5(t) \\ \frac{dp_6(t)}{dt} = \lambda_{36}p_3(t) - \lambda_{61}p_6(t) \\ \frac{dp_7(t)}{dt} = \lambda_{37}p_3(t) - \lambda_{71}p_7(t) \end{cases} \quad (7)$$

Моменты возможных переходов элемента ЛС ИИС из одного состояния в другое неопределенны, случайны и происходят под действием потоков событий, характеризующихся интенсивностями. Потоки событий являются простейшими. Таким образом, процесс принятия решения

на смену состояния элементом логической структурой ИИС можно представить как марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем.

На рис. 7 показан граф состояний элемента ЛС ИИС с интенсивностями переходов. Вероятность нахождения системы в момент  $t$  в состоянии  $S_i$  —  $p_i(t)$ . Составляются уравнения Колмогорова — линейные дифференциальные уравнения с неизвестными функциями  $p_i(t)$  (7).

Использование численных методов решения системы дифференциальных уравнений позволяет получить числовые таблицы приближенных значений  $p_i$  искомых решений  $p(t)$  на некотором интервале  $t \in [t_0, t_1]$ , что по сравнению с другими методами решения позволяет исследовать временную динамику логической структуры ИИС и оценивать ее преимущества.

$$D(t, p) = \begin{pmatrix} \lambda_{41}p_4(t) + \lambda_{51}p_5(t) + \lambda_{61}p_6(t) + \lambda_{71}p_7(t) + \\ + \lambda_{21}p_2(t) + \lambda_{31}p_3(t) - (\lambda_{12} + \lambda_{13})p_1(t) \\ \lambda_{12}p_1(t) - (\lambda_{21} + \lambda_{24} + \lambda_{25})p_2(t) \\ \lambda_{13}p_1(t) - (\lambda_{31} + \lambda_{35} + \lambda_{36} + \lambda_{37})p_3(t) \\ \lambda_{24}p_2(t) - \lambda_{41}p_4(t) \\ \lambda_{25}p_2(t) + \lambda_{35}p_3(t) - \lambda_{51}p_5(t) \\ \lambda_{36}p_3(t) - \lambda_{61}p_6(t) \\ \lambda_{37}p_3(t) - \lambda_{71}p_7(t) \end{pmatrix} \quad (8)$$

Система (7) приводится к векторному представлению — столбец  $D$ , где каждый элемент соответствует правой части определенного дифференциального уравнения в системе (8). Далее выполняется расчет для заданных значений интенсивностей событий  $\lambda_{ij} = const$

(марковский однородный процесс), что позволяет получить числовую табли-

цу приближенных значений  $p_i$  искомым решением  $p(t)$  на некотором интервале интегрирования  $t \in [t_0, t_1]$ .

Таким образом, получены вероятностные и временные характеристики, описывающие состояния элемента ЛС ИИС, что позволяет выбрать наиболее устойчивую логическую структуру ИИС. Реконфигурация логической структуры ИИС предполагает поиск стратегий структуры ИИС в зависимости от изменяющихся дестабилизирующих воздействий во времени, а также от воздействий вышестоящей системы управления. Графики зависимостей вероятностей состояний процесса противодействия для значений интенсивностей событий, соответствующих стратегии  $C_1$ , представлены на рис. 8 а).

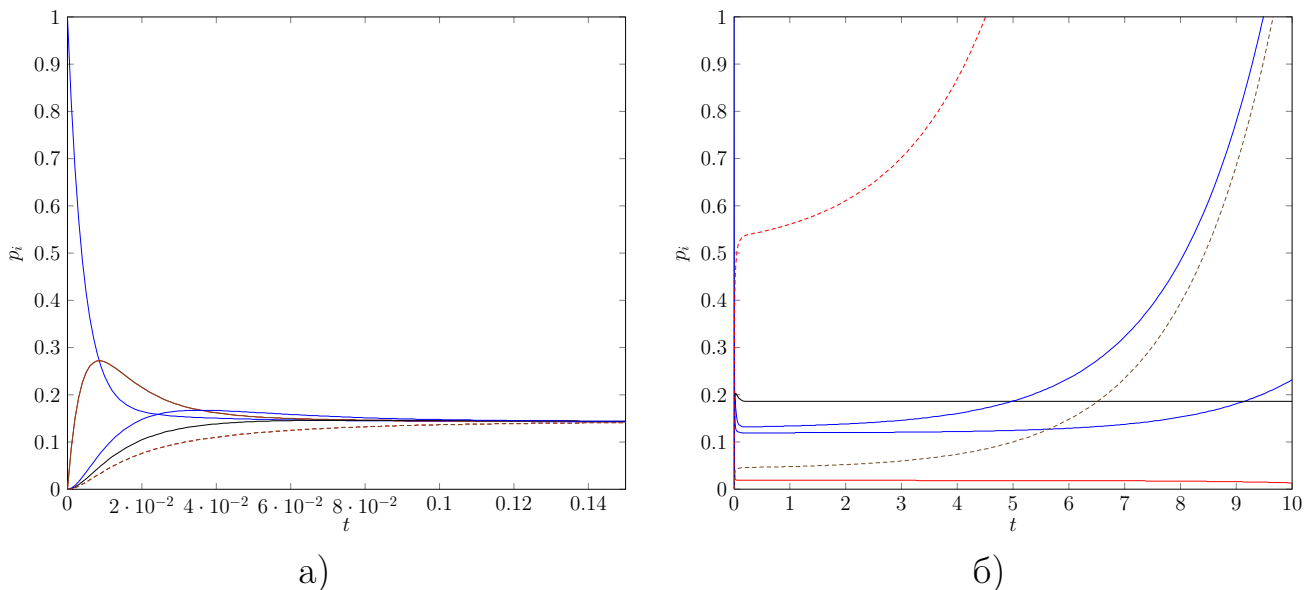


Рис. 8. Вероятности состояний при заданных значениях интенсивностей

Показано в какие интервалы времени система находится в переходном режиме функционирования, где наблюдается всплеск значений вероятности состояния  $p_2(t)$ , что соответствует нахождению системы в состоянии сравнительной оценки альтернативных структур ИИС при допустимых значениях коэффициента исправного действия ( $K$ ). При  $t \rightarrow \infty$  в системе устанавливается стационарный режим, когда система случайным образом меняет свои состояния и ее вероятности  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_7(t)$  уже не зависят от времени и равны финальным (предельным) вероятностям. Значения финальных вероятностей показывают, сколько времени система находится в каких состояниях.

Для исследования процесса функционирования ИИС при перечисленных стратегиях противодействия помехам и соответствующих им значениях интенсивностей событий считаются вероятностные и временные характеристики.

При достижении порогового значения ( $\lambda = 2345$ ) система не переходит в стационарное состояние вообще (рис. 8 б)). Таким образом, можно говорить о полном отказе элемента логической структуры ИИС при заданном соотношении интенсивностей.

В четвертой главе **«Способы реконфигурации логических структур интегрированной информационной системы»** разработаны следующие способы:

способ мониторинга качества ИИС позволяет с высокой достоверностью обнаруживать не только факт отличия значений контролируемых параметров от эталонных, но и за счет группирования контролируемых параметров по степени важности, по их вкладу в показатели качества, а также дифференциации требований к своевременности контроля по степеням важности параметров учитываются параметры структурных элементов и функциональных процессов, что обеспечивает повышение достоверности оценивания качества ИИС. Кроме этого, динамическое управление временным интервалом принятия решения о качестве ИИС обеспечивает более высокую экономическую эффективность мониторинга, чем и обеспечивается достижение сформулированной цели;

способ восстановления конфигурации ИИС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов позволяет восстановить связь между клиентом и сервером информационной системы в случае нарушения синхронизации выбора адресов при приеме и передаче пакетов сообщений, вызванного воздействием на каналы связи и узлы информационной системы помех, что обеспечивает за счет введения сервера для восстановления связи достижение сформулированного технического результата — снижение сложности обеспечения доступности элементов информационной системы, интегрированной в сети связи общего пользования;

способ сравнительной оценки альтернативных логических структур ИИС позволяет достигать повышение достоверности результатов сравнительной оценки структур ИИС при увеличении количества узлов связи и в условиях воздействия на каналы связи и узлы ИИС помех путем учета перспективного снижения значений комплексных показателей качества узлов связи, что и обеспечивает достижение сформулированного технического результата. Причем сравнение структур ИИС осуществляется путем оценки вероятности образования структур, при котором смежные «неудовлетворительные» узлы образуют це-



почки, исключаящие обмен между абонентами, что позволяет учесть адаптацию маршрутов пакетов сообщений между корреспондирующими абонентами к изменениям структуры ИИС;

способы реконфигурации логической структуры ИИС управлением маршрутами трафика за счет вычисления комплексных показателей транзитных узлов связи позволяет выбрать маршрут, наиболее подходящий по заданным критериям.

**В заключении** представлены основные результаты исследования, свидетельствующие о том, что цель исследования достигнута и научная задача решена. Определены направления дальнейших исследований актуальной задачи реконфигурации логической структуры интегрированных информационных систем.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В ходе проведения диссертационных исследований на основе анализа условий и факторов развития информационных систем и выявленных противоречий, требующих разработки моделей и методик реконфигурации логической структуры интегрированных информационных систем были получены следующие основные научные и практические результаты.

1. Разработана модель реконфигурации логической структуры ИИС, включающая модель логической структуры ИИС, основанную на механизме сокетов, модель эволюционной адаптации, основанную на синтезе альтернативных логических структур и поиске оптимальной, синтаксис преобразований логической структуры ИИС, основанный на методе графовых грамматик.

2. Разработана методика реконфигурации логической структуры ИИС, позволяющую получить: логическую структуру с минимальными затратами и логическую структуру с максимальной устойчивостью элементов к внешним воздействиям.

3. Разработаны способы реконфигурации логических структур ИИС, позволяющие осуществлять мониторинг качества ИИС, восстановление конфигурации при сбоях, сравнительную оценку нескольких ИИС, а также позволяющие изменять логическую структуру с помощью управляющей маршрутизации трафика.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### *Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:*

1. Зорин К. М. Модель и методика реконфигурации логической структуры интегрированного объекта информатизации // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010 г. с. 20–25.

### *Патенты:*

2. Зорин К. М., Павловский А. В. и др. Способ мониторинга безопасности автоматизированных систем. Патент РФ №2355024 от 10.05.2009.

3. Зорин К. М., Кожевников Д. А. и др. Способ защиты вычислительной сети с выделенным сервером. Патент РФ по заявке № 2009129730 от 03.08.2009.

4. Зорин К. М., Выговский Л. С. и др. Способ сравнительной оценки структур информационно-вычислительной сети. Патент РФ по заявке № 2009129726 от 03.08.2009.

### *Публикации в других изданиях:*

5. Зорин К. М., Павловский А. В. Необходимость и особенности организации маскирующего обмена в современных цифровых системах связи // Труды НПК «Инновационная деятельность в ВС РФ». СПб.: Редакционно-издательский отдел Военной академии связи. 2006 г. с. 342–344.

6. Зорин К. М. Моделирование интегрированных систем автоматизации управления с динамическими структурами в конфликтных условиях // Труды НПК «Инновационная деятельность в ВС РФ». СПб.: Редакционно-издательский отдел Военной академии связи. 2007 г. с. 215–217.

7. Зорин К. М., Максимов Р. В. Способы сравнительной оценки структур телекоммуникационных систем // Труды НПК «Инновационная деятельность в ВС РФ». СПб.: Редакционно-издательский отдел Военной академии связи. 2008 г. с. 280–282.

8. Зорин К. М., Максимов Р. В. Задачи эволюционной адаптации структуры автоматизированных систем // Сб. трудов 63-й научно-технической конференции СПбНТОРЭС им. А. С. Попова, посвященной Дню радио. 2008 г. с. 85–86.