

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 004.722.25

Стрикелев  
Дмитрий Александрович

**Модели и средства оптимизации размещения  
информационных ресурсов в распределённых  
информационно-вычислительных системах  
с фиксированной топологией**

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.13 – Телекоммуникационные системы  
и компьютерные сети

Минск 2009

Работа выполнена в Белорусском государственном университете

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ -

**ВОРОТНИЦКИЙ Юрий Иосифович**,  
кандидат физико-математических наук, доцент,  
заведующий кафедрой кибернетики  
Белорусского государственного университета

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

**ПРИХОЖИЙ Анатолий Алексеевич**,  
доктор технических наук, профессор, зав. ка-  
федрой программного обеспечения сетей теле-  
коммуникаций учреждения образования «Выс-  
ший государственный колледж связи»

**КОРОЛЬ Иван Андреевич**,  
кандидат физико-математических наук, первый  
заместитель Управляющего Фондом социальной  
защиты населения Министерства труда и соци-  
альной защиты Республики Беларусь

ОППОНИРУЮЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ –

Государственное научное учреждение «Объе-  
динённый институт проблем информатики На-  
циональной академии наук Беларуси»

Защита состоится «12» ноября 2009 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по  
защите диссертаций Д 02.15.06 при учреждении образования «Белорусский го-  
сударственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу  
220013, г. Минск, ул. П.Бровки, 6, тел. 293-89-89, e-mail: dissovvet@bsuir.by

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Корпоративные информационно-телекоммуникационные системы (КИТС) являются необходимым инструментом совершенствования управления в различных отраслях народного хозяйства, повышения доступности и конкурентоспособности товаров и услуг. В структуре КИТС выделяют два основных компонента: аппаратно-коммуникационную среду (в дальнейшем, коммуникационную среду), включающую узлы (серверы, рабочие станции) и сеть передачи данных, и программно-информационное окружение (в дальнейшем, программное окружение), представленное программными модулями и массивами данных (информационными ресурсами). Информационные ресурсы (ИР) КИТС делятся на централизованные и распределённые. Наличие последних обусловлено рядом факторов (географическая разобщённость структурных подразделений организации, иерархическая структура управления и др.) и предполагает проведение вычислительного процесса в ряде узлов и обмен данными между ними при взаимодействии с пользователями. Именно КИТС с распределёнными ИР, называемые в дальнейшем распределённые информационно-вычислительные системы (РИВС), являются наиболее востребованными и распространёнными.

Сегодня большинство организаций имеют уже действующие РИВС, коммуникационная среда которых неизменна (топология РИВС фиксирована). Способом повышения эффективности работы системы (увеличения надёжности, минимизации временных задержек и эксплуатационных затрат) в этом случае является оптимизация размещения ИР по узлам сети. Сложность оценки эффективности работы РИВС, наличие множества целевых критериев и ограничений делают актуальной задачу оптимизации размещения ИР с помощью аппроксимирующих моделей.

Известные подходы к оптимизации программного окружения РИВС, представленные работами Н.И. Листопада, А.Г. Мамиконова, В.В. Кульбы, A.G. Corcoran, R.J. Honicky, S.A. Mahmoud и др., характеризуются его упрощёнными моделями (без рассмотрения специфики ИР), игнорированием критериев качества сервиса прикладного уровня, применимостью только для сетевых технологий определённого типа (глобальных или локальных). Применяемые для оптимизации методы целочисленного программирования позволяют анализировать сети с количеством узлов, не превышающим нескольких сотен (по причине экспоненциального увеличения вычислительной сложности). В то же время для решения практических задач требуется рассмотрение глобальных сетей, объединяющих локальные сети, с общим количеством узлов до нескольких тысяч. Сказанное делает актуальной разработку моделей и средств оптимизации размещения ИР в РИВС с фиксированной топологией.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами и темами.**

Тема диссертации соответствует направлению 6 «Математическое и физическое моделирование систем, структур и процессов в природе и обществе, информационные технологии, создание современной информационной инфраструктуры», пунктам 6.1 «Математические модели и их применение к анализу систем и процессов в природе и обществе» и 6.5 «Аппаратные и программные комплексы и системы для информационного обеспечения» Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований РБ на 2006–2010 гг., утверждённого Постановлением Совета Министров РБ №512 от 17.05.2005. Работа выполнялась на кафедре кибернетики Белорусского государственного университета в рамках программ: научной темы «Разработка математических моделей и методов оптимизации размещения информационных ресурсов в распределённых информационных системах с заданной пропускной способностью телекоммуникационных каналов» ГПОФИ «Инфотех 19» (2002–2005 гг., № ГР 20032714); научной темы «Разработка новых методов, алгоритмов и программных средств оптимизации размещения информационных ресурсов в сетях следующего поколения» ГКНПИ «Инфотех 13» (2006–2010 гг., № ГР 20061699); проекта «Разработать концепцию построения и развития отраслевой информационной среды системы образования (ОИССО), техническое задание на создание телекоммуникационной инфраструктуры ОИССО, систему управления данными объектов ОИССО» программы «Комплексная информатизация системы образования РБ на 2007–2010 годы» (2007–2010 гг., № ГР 20073580).

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы являлась разработка механизмов повышения эффективности функционирования существующих РИВС без изменения топологии коммуникационной среды. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выделение подзадач и компонентов процесса проектирования РИВС, а также факторов, определяющих эффективность их функционирования.
2. Определение критериев эффективности функционирования РИВС.
3. Построение моделей оптимизации РИВС с фиксированной топологией коммуникационной среды на основе размещения информационных ресурсов по её узлам.
4. Разработка средств оптимизации РИВС с количеством узлов до нескольких тысяч.
5. Апробация разработанных моделей и средств на примере размещения информационных ресурсов в информационной системе Министерства образования РБ.

Объектом исследования являются РИВС с фиксированной топологией коммуникационной среды. Предметом исследования является оптимизация РИВС с фиксированной топологией коммуникационной среды на основе размещения информационных ресурсов по её узлам.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие результаты:

1. Двухуровневая модель оптимизация размещения информационных ресурсов в РИВС с фиксированной топологией, основанная на декомпозиции коммуникационной среды на подсети, впервые оптимизирующая размещение ресурсов как между этими подсетями, так и внутри них. Её преимуществами являются включение характеристик взаимодействия пользователей с ресурсами в ограничивающие условия задачи и разбиение процесса оптимизации на ряд параллельно решаемых подзадач, что позволяет обеспечить выполнение требований к качеству сервиса конечных пользователей и увеличить количество узлов оптимизируемой системы до нескольких тысяч (более чем в 10 раз).

2. Новая модель трансляции характеристик качества сервиса между транспортным и сетевым уровнями в корпоративных сетях, отличающаяся учётом схем сетевой обработки пользовательских запросов, являющаяся компонентом двухуровневой модели оптимизации размещения информационных ресурсов и позволяющая вычислять значения характеристик качества сервиса транспортного уровня по значениям характеристик сетевого уровня.

3. Методики оценки характеристик качества сервиса сетевого уровня, основанные на анализе структуры и имитационном моделировании информационных взаимодействий в сети, одна из которых позволяет с погрешностью 16–23% при малой и средней загрузке сети получать недоступные ранее начальные значения характеристик, а другая – с погрешностью 5–9% уточнять их в процессе оптимизации.

4. Новый параллельный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации размещения информационных ресурсов в РИВС с фиксированной топологией, позволяющий проводить оптимизацию систем по критериям минимальности стоимости, времени передачи данных, вероятности потери пакетов с учётом ограничений на характеристики качества сервиса прикладного уровня. Преимуществом алгоритма является увеличение размера оптимизируемых систем до нескольких тысяч узлов (более чем в 10 раз) и получение Парето-фронта решений уже при однократном выполнении.

5. Программный комплекс, позволяющий в течение 4–5 часов развернуть на базе гетерогенной локальной сети параллельный вычислительный процесс для оптимизации размещения ресурсов в РИВС с фиксированной топологией, и не предполагающий априорного наличия на рабочих станциях необходимого системного и прикладного программного обеспечения.

**Личный вклад соискателя.** Результаты диссертационной работы, сформулированные в защищаемых положениях и выводах, отражают личный вклад соискателя. Из совместно опубликованных работ в диссертацию вошли результаты, полученные автором лично. Вклад соавтора Д.Г. Левчука в публикации [6–А] состоял в программной реализации класса-планировщика и не имеет отношения к защищаемым соискателем положениям. Научный руководитель Ю.И. Воротницкий принимал участие в выборе темы, постановке задач и обсуждении полученных результатов.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации докладывались на следующих научных конференциях: международная конференция «Управление информационными ресурсами» (Минск, 16 апреля 2004 года); международная конференция «Информационные системы и технологии (IST'2004)» (Минск, 8–10 ноября 2004 года); международная конференция «Прикладные задачи математики и механики» (Севастополь, Украина, 15–19 сентября 2008 года).

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные результаты диссертации отражены в 12 публикациях, в том числе в 7 статьях в рецензируемых научных изданиях, 1 статье в сборнике научных трудов, 4 статьях в сборниках трудов конференций; из них 7 научных публикаций (общим объемом 3,14 авторских листа), соответствуют пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в РБ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и четырех приложений. Полный объем диссертации составляет 175 страниц; из них 20 страниц занимают 46 иллюстраций, на 14 страницах приведено 20 таблиц, 32 страницы занимают четыре приложения. Библиографический список состоит из 139 наименований (на 12 страницах), из которых 14 – публикации соискателя.

В основной части работы приводятся аналитический обзор литературы по теме диссертации, обоснование выбора направления исследований (глава 1), описание предложенных моделей и средств (главы 2, 3), результаты апробации предложенных моделей и средств на примере проектирования программного окружения информационной системы Министерства образования Республики Беларусь (глава 4).

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрена проблема и проанализированы подходы к проектированию РИВС. Задача оптимизации рассматривается как компонент задачи проектирования РИВС, включающий построение модели оптимизации,

её программную реализацию, численный расчёт модели и анализ полученных результатов. Показано, что модель оптимизации включает алгоритм оптимизации, модели коммуникационной среды и программного окружения, целевые критерии и ограничения. Обоснована перспективность подхода к задаче оптимизации РИВС как задаче оптимизации программного окружения при неизменной конфигурации коммуникационной среды. В процессе рассмотрения структуры коммуникационной среды, построенной на основе технологий глобальных и локальных сетей, обоснована целесообразность построения модели оптимизации программного окружения как универсальной, двухуровневой, учитывающей специфику входящих в него ИР. При этом декомпозиция процесса оптимизации на ряд параллельно решаемых задач позволит увеличить количество узлов РИВС до нескольких тысяч; пошаговое уточнение результатов с помощью итерационного алгоритма – устранить возможную квазиоптимальность решений; а учет в модели характеристик качества сервиса прикладного уровня – обеспечить выполнение требований к качеству обслуживания конечных пользователей. Основными целевыми критериями выбраны стоимость и характеристики качества сервиса сетевого уровня (оборотное время и вероятность потери пакета). В качестве ограничивающих условий обосновано использование пороговых значений для характеристик сетевого уровня, полученных преобразованием исходных требований к характеристикам прикладного уровня с помощью трансляторов качества сервиса. С учётом выбранных целевых критериев и ограничивающих условий общая структура задачи проектирования РИВС уточнена для случая фиксированной топологии. В качестве метода оптимизации РИВС с количеством узлов до нескольких тысяч, позволяющего учесть многокритериальную специфику задачи, вести одновременный поиск в различных областях пространства решений для предотвращения сходимости к локальному экстремуму и эффективно распараллеливать вычисления, обоснован выбор генетических алгоритмов (ГА).

**Во второй главе** предлагаются модели оптимизации размещения ИР в РИВС с фиксированной топологией, представленные итерационным алгоритмом размещения ИР по узлам коммуникационной среды, моделью трансляции характеристик качества сервиса между транспортным и сетевым уровнями, методиками получения начальных и уточнённых оценок характеристик качества сервиса сетевого уровня.

Анализ сетевого взаимодействия пользователей с ИР в корпоративной сети позволил обосновать необходимость оптимального размещения в ней именно глобальных ИР и целесообразность размещения локальных ИР в сетях по месту использования. Размещение локальных ресурсов  $L'$  является достаточно простым и в предложенном алгоритме (рисунок 1) выполняется на шагах 3–4. Размещение глобальных ресурсов является сложным процессом и включает в себя

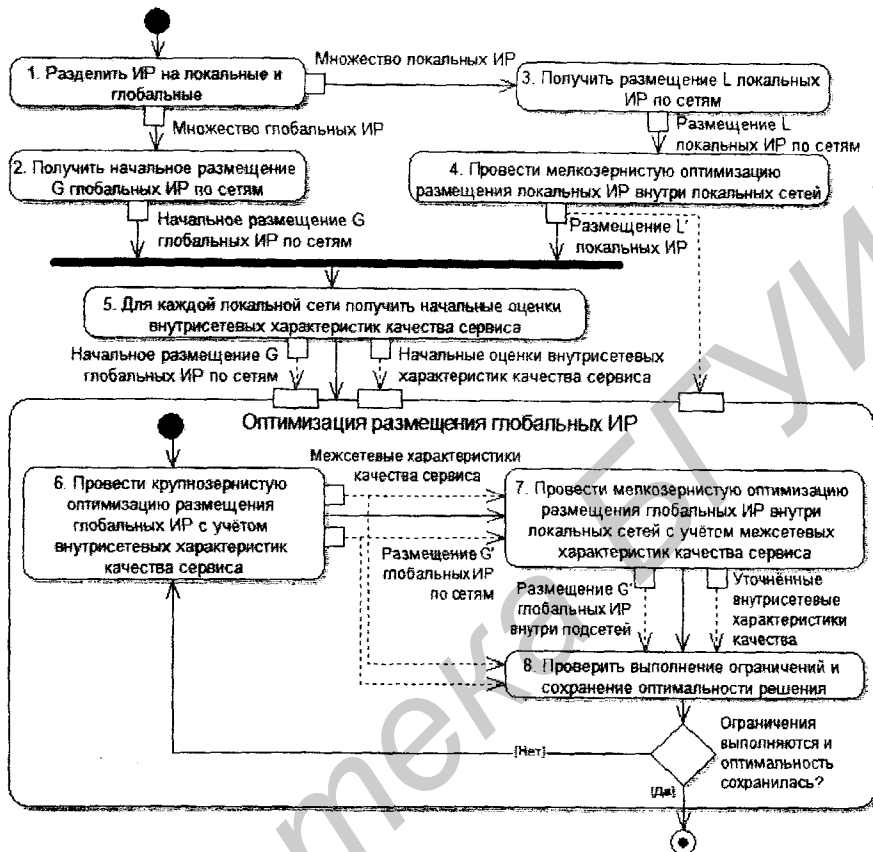


Рисунок 1 – Структура итерационного алгоритма размещения IP по узлам коммуникационной среды

получение их начального размещения  $G$  (шаг 2), начальных значений внутрисетевых характеристик качества сервиса сетевого уровня (шаг 5), итерационную процедуру оптимизации размещения (шаги 6–8). Процедура состоит из последовательного выполнения крупнозернистого (шаг 6) и мелкозернистого (шаг 7) этапов оптимизаций, а также проверки сохранения оптимальности решения и выполнения ограничивающих условий (шаг 8). В случае отрицательного результата проверки новая итерация начинается с шага 6.

Для получения начальных значений внутрисетевых характеристик качества сервиса (шаг 5) предложена методика оценки характеристик качества сервиса в локальных сетях на основе коммутаторов, базирующаяся на построении структуры информационных взаимодействий в сети и составлении матриц управляемого и фактически передаваемого трафика. Выражения для вероятности потери  $p_l$  и времени передачи  $t_l$  дейтаграммы по маршруту  $l$  записываются как:



$$p_l = \prod_{k: \overline{f_{l,k}} \neq 0} \left( \frac{\overline{f_{l,k}}/S_{\text{кадра}}}{f_{l,k}/S_{\text{кадра}}} \right)^{N_{\text{кд}}}, \quad (1)$$

$$t_l = \left( \sum_{k \in l} \tau_{l,k} + (N_{\text{кд}} - 1) \cdot \max_{k \in l} \tau_{l,k} \right) \cdot \left( 1 + 2 \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{пов}}+1} \left( \frac{2^i + 1}{2} \right) \cdot (1 - p_l)^i \right), \quad (2)$$

где  $f_{l,k}$  и  $\overline{f_{l,k}}$  – объём отправляемого и передаваемого трафика по каналу  $k$ , являющемуся частью маршрута  $l$ ;  $S_{\text{кадра}}$  – размер одного кадра Ethernet;  $N_{\text{кд}}$  – количество кадров в дейтаграмме;  $\tau_{l,k}$  – время передачи кадра на канальном уровне по каналу  $k$  в рамках взаимодействия  $l$ ;  $N_{\text{пов}}$  – количество повторов при ошибочной доставке дейтаграммы.

Для получения уточнённых значений внутри- и межсетевых характеристик качества сервиса сетевого уровня (шаги 6–7) предложена методика, основанная на имитационном моделировании взаимодействия пользователей с ИР и последующей обработке журналов моделирования. Выражения для времени передачи дейтаграммы  $t_{i,j}$ , вероятности потери дейтаграммы  $p_{i,j}$  и пропускной способности  $b_{i,j}$  при взаимодействии между узлами  $i$  и  $j$  записываются как:

$$t_{i,j} = \left( \sum_{\forall (k \rightarrow l) \in (i,j)} (TI_k^{\text{отправки}} - TI_l^{\text{получения}}) \right) / \left( \sum_{\forall (k \rightarrow l) \in (i,j)} 1 \right), \quad (3)$$

$$p_{i,j} = \left( \sum_{\forall (k \rightarrow l) \in (i,j) \cup ET = \text{«d»}} 1 \right) / \left( \sum_{\forall (k \rightarrow l) \in (i,j) \cup (ET = \text{«r»} \cap ET = \text{«d»})} 1 \right), \quad (4)$$

$$b_{i,j} = \left( \sum_{\forall (k \rightarrow l) \in (i,j) \cup ET = \text{«r»}} PS_{k,l} \right) / \left( \max_{\forall m} TI_m - \min_{\forall m} TI_m \right), \quad (5)$$

где  $(k \rightarrow l)$  – промежуточные передачи дейтаграмм между  $k$ -ым и  $l$ -ым узлами в рамках взаимодействия узлов  $i$  и  $j$ ;  $TI_k^{\text{отправки}}$  – момент отправки пакета из узла  $k$  (в журнале моделирования данному событию соответствует тип  $ET = \text{«+»}$ );  $TI_l^{\text{получения}}$  – момент получения пакета узлом  $l$  (тип события –  $ET = \text{«-»}$ ); типы событий  $ET = \text{«d»}$  и  $ET = \text{«r»}$  соответствуют потере и приёму дейтаграмм;  $PS_{k,l}$  – размер переданной между узлами  $k$  и  $l$  дейтаграммы;  $TI_m$  – временная метка  $m$ -го события из журнала моделирования.

Для проверки выполнения ограничений задачи, как составная часть преобразования характеристик качества сервиса между сетевым и прикладным уровнями, была предложена модель трансляции характеристик между транспортным и сетевым уровнями, учитывающая особенности сетевой обработки пользовательских запросов: точечной, распределённой и реплицируемой. Для выделенных типов ИР определены приоритетные характеристики транспортного

уровня (пропускная способность маршрута, время сетевой транзакции, вероятность потери данных) и получены выражения для их вычисления по характеристикам сетевого уровня. Выражения для времени сетевой транзакции  $T_i^1$  для ресурсов «HTTP-сервер», «DNS-сервер», «терминальный сервер», «почтовый сервер»,  $T_i^2$  для ресурсов «сервер баз данных» и «сервер приложений»,  $T_i^3$  для ресурса «сервер каталога» и  $T_i^4$  для ресурса «сервер видеоконференций» при обращении из  $i$ -го узла записываются в виде:

$$T_i^1 = u_i \cdot \sum_{j=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{1,j} \cdot ([S_{\text{запр}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{i,j} + [S_{\text{отв}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{j,i}), \quad (6)$$

$$T_i^2 = u_i \cdot \sum_{j=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{R,j} \cdot ([S_{\text{запр}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{j,a} + [S_{\text{отв}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{a,j} + Z(j, 1)), \quad (7)$$

$$T_i^3 = u_i \cdot \min_{j=1 \dots N_{\text{комп}}} \left( \sum_{k=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{j,k} \cdot ([S_{\text{запр}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{i,k} + [S_{\text{отв}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{k,i}) \right), \quad (8)$$

$$T_i^4 = u_i \cdot \min_{j=1 \dots N_{\text{комп}}} \left( \sum_{k=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{j,k} \cdot [S_{\text{отв}}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{k,i} \right), \quad (9)$$

где  $u_i$  определяет наличие ( $u_i=1$ ) или отсутствие ( $u_i=0$ ) пользователя ресурса в узле  $i$ ;  $N_{\text{узлов}}$  – общее число узлов в сети;  $x_{j,k}$  – определяет наличие ( $x_{j,k}=1$ ) или отсутствие ( $x_{j,k}=0$ )  $k$ -го компонента ресурса в узле  $j$ ;  $S_{\text{запр}}$  – размер запроса к ресурсу;  $S_{\text{IP}}$  – размер IP-дейтаграммы;  $S_{\text{отв}}$  – размер ответа ресурса;  $t_{i,j}$  – время передачи дейтаграммы между узлами  $i$  и  $j$ ;  $N_{\text{комп}}$  – число компонентов распределённого ресурса.  $Z(i, n)$  – рекурсивное выражение для вычисления времени сборки запроса к распределённому ресурсу – записывается как:

$$Z(i, n) = \max_{j_n=1 \dots N_{\text{комп}}} ([S_{n,i,j_n}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{i,j_n} + [S_{n,j_n,i}/S_{\text{IP}}] \cdot t_{j_n,i} + Z(j_n, n + 1)), \quad (10)$$

где  $S_{n,i,j}$  – объём данных, передаваемых между  $i$ -ым и  $j$ -ым компонентами ресурса на этапе  $n$ .

Выражение для вероятности потери данных  $P_i$  для ресурсов «сервер видеоконференций» и «DNS-сервер» при обращении из  $i$ -го узла записывается как:

$$P_i = u_i \cdot \min_{j=1 \dots N_{\text{комп}}} \left( \sum_{k=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{j,k} \cdot p_{i,k} \right), \quad (11)$$

где  $p_{i,k}$  – вероятность потери дейтаграммы между узлами  $i$  и  $k$ .

Выражение для пропускной способности  $B_i$  маршрута между ресурсом и пользователем в  $i$ -ом узле записывается как:

$$B_i = u_i \cdot \max_{j=1 \dots N_{\text{комп}}} \left( \sum_{k=1}^{N_{\text{узлов}}} x_{j,k} \cdot b_{i,k} \right). \quad (12)$$

Выражения для стоимости эксплуатации точечного  $C^{\text{точ}}$ , распределённого  $C^{\text{распр}}$  и реплицируемого  $C^{\text{репл}}$  ресурсов записываются в виде:

$$C^{\text{точ}} = \sum_{j=1}^{N_{\text{узлов}}} c_j \cdot x_{1,j} \cdot M, \quad (13)$$

$$C^{\text{распр}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{комп}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{узлов}}} c_j \cdot x_{i,j} \cdot m_i, \quad (14)$$

$$C^{\text{репл}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{комп}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{узлов}}} c_j \cdot x_{i,j} \cdot (\delta(j,r) \cdot m_{\text{первич}} + (1 - \delta(i,r)) \cdot m_{\text{вторич}}), \quad (15)$$

где  $c_j$  – стоимость человеко-часа работ по конфигурированию/поддержке ресурса в узле  $j$ ;  $x_{i,j}$  – бинарная переменная, характеризующая наличие или отсутствие  $i$ -го компонента ИР в  $j$ -ом узле;  $M$  – сложность настройки точечного ИР;  $m_i$  – сложность настройки  $i$ -го компонента распределённого ИР;  $m_{\text{первич}}$  и  $m_{\text{вторич}}$  – сложности настройки первичной и вторичной реплик реплицируемого ИР;  $\delta(i,j)$  – дельта-символ Кронекера.

**В третьей главе** описываются предлагаемые на основе ГА средства оптимизации размещения ИР в РИВС с фиксированной топологией. Рассматривается специфика решения задачи размещения ИР с использованием оптимизационно-поисковой процедуры ГА, состоящая в необходимости представления иерархических древовидных топологий в линейной структуре хромосом. Известные способы подобного представления используют следующие структуры данных: матрицу смежности, матрицу инцидентности, векторы смежности, списки смежности. Экспериментально показывается преимущество по критерию времени выполнения (более чем на порядок) представления древовидных структур в виде иерархических списков смежности. Сравниваются две стратегии реализации базовых механизмов процедуры ГА, обеспечивающие учёт вышеназванной специфики задачи: рассматривается стандартная стратегия использования генетических операторов (кроссовера и мутации) традиционных видов, требующая ремонта хромосом; предлагается и обосновывается стратегия на основе использования специализированных операторов. Предложены особые виды операторов кроссовера и мутации, способные модифицировать древовидные структуры при условии сохранения их целостности: древовидный равномерный кроссовер и мутация обменом узлов. Действие кроссовера заключается в подключении каждого узла хромосом-потомков к одному из вышестоящих узлов, присутствующих в хромосомах-родителях, которая может завершиться од-

ним из трёх результатов: а) если в потомке узел не соединён с предполагаемыми родительскими узлами, то подключение возможно и выбор родителя произволен; б) если узел соединён с одним из родительских узлов, но, не нарушая структуры хромосомы, его можно подключить и к другому узлу, то подключение возможно и выбор родителя фиксирован; в) если узел уже соединён с обоими родительскими узлами, то любой вариант подключения приводит к построению цикла, следовательно, подключение невозможно. Алгоритм мутации случайным образом выбирает два узла хромосомы и обменивает их местами. Экспериментально определён ряд параметров алгоритма: значения вероятностей кроссовера и мутации ( $P_c = 50\%$ ,  $P_m = 20\%$ ) и область сходимости ( $P_m < P_c$ ).

Анализируются способы построения выборок из множества решений, оптимальных по Парето, и обосновывается выбор методики сильно выраженного Парето-множества (SPEA-методики), позволяющей поддерживать размер выборок на заданном уровне с помощью процедуры кластеризации. Описывается реализованный на основе выбранной методики компонент ГА, формирующий внешнее Парето-множество и проводящий его кластеризацию. Исследование возможностей применения существующих программных средств и технологий для реализации предлагаемого алгоритма выявило ряд их недостатков: существенный перерасход времени на передачу данных, низкая отказоустойчивость, отсутствие автоматической загрузки объектного кода на удалённые узлы. Устранение отмеченных недостатков потребовало разработки собственного программного каркаса для организации распределённых вычислений, позволяющего, в том числе, создавать параллельные ГА любых типов. Показано его преимущество по отношению к встроенным средствам распараллеливания стандартной библиотеки JGAP (для целевых функций со временем вычисления более 1000 мс ускорение вычислений достигает 25–30%).

На основе созданного программного каркаса реализован предлагаемый алгоритм размещения ИР. Приведена блок-схема его реализации, рассмотрены особенности организации вычислительного процесса на ряде этапов. Посредством имитационного моделирования взаимодействия узлов в сети переменного размера от 100 до 1000 узлов показано преимущество по скорости вычислений операционных систем (ОС) Linux (на примере Debian 4.0) по отношению к ОС Windows (на примере Windows Server 2003) при прочих равных условиях. Описан созданный по технологии Live-CD программный комплекс, содержащий готовый к загрузке образ ОС Linux, модернизированную среду моделирования NS2, рабочее окружение Java, разработанные программный каркас и программную реализацию итерационного алгоритма размещения ИР.

**В четвёртой главе** описана апробация предлагаемых моделей и средств на примере размещения ресурсов в информационной системе Министерства образования РБ (ОИССО). На основе инфраструктуры системы построена модель

коммуникационной среды с 3750 узлами, принадлежащими трём уровням иерархии (центральный коммуникационный узел, областной коммуникационный узел, учреждение образования), и каналами передачи данных с пропускной способностью от 32 Кбит/с до 2 Мбит/с. Для построения модели программного окружения выделены основные типы ресурсов, размещённых в сети Министерства образования («HTTP-сервер» и «DNS-сервер»). Для учёта специфики HTTP-трафика уточнены модели отмеченных типов ресурсов и аналитические выражения ограничивающих условий для критериев качества сервиса пользователей. В зависимости от объёма и насыщенности графическими материалами были предложены группы ресурсов – по объёму: до 20 страниц, до 100 страниц, до 400 страниц, до 1000 страниц, до 2000 страниц; по насыщенности иллюстрациями: до 5%, до 30%, до 60%, до 90%. Анализ комбинаций названных групп позволил выделить 5 категорий ресурсов по их объёму в Мб: до 2 Мб, до 10 Мб, до 40 Мб, до 100 Мб и свыше 100 Мб. Для выделенных категорий и типов ресурсов получены имитационные модели в среде моделирования NS2.

В качестве *целевых критериев оптимальности* на крупнозернистом этапе выбраны общая стоимость размещения реплик по узлам системы, среднее оборотное время по сети, средняя по сети вероятность потери дейтаграммы. На мелкозернистом этапе проводилась проверка выполнения ограничивающих условий по критериям качества сервиса внутри локальных сетей школ.

С целью определения *области работоспособности* модели был проведен ряд экспериментов. Для получения диапазона изменения для нормировочного коэффициента весов стоимостей реплик в областных узлах и на серверах школ исследовалось размещение реплик в сети из 681 узла при варьируемой стоимости размещения в областном узле. Результаты показали, что оптимальное значение нормировочного коэффициента находится в диапазоне [0.16; 0.6]. Для получения зависимости минимального размера популяции от количества ресурсов модель рассчитывалась для числа размещаемых ресурсов от 10 до 55 с интервалом в 5 и изменяющемся количестве индивидов популяции. Результаты показали, что при многокритериальном размещении 10 ресурсов в сети из 3750 узлов минимальный размер популяции составляет 638 индивидов, при размещении 55 ресурсов – 6430, и зависимость, в целом, имеет экспоненциальный характер. Анализ принятого способа представления древовидных структур сети в памяти ЭВМ показал, максимальный размер популяции ограничен 2000 особями, а количество размещаемых ресурсов – тридцатью (в случае многих критериев) и пятьюдесятью (в случае одного критерия).

Для подтверждения *адекватности* имитационных моделей ресурсов было проведено моделирование взаимодействия пользователей с источниками трафика, транслирующими данные по указанным шаблонам. На основе журналов моделирования вычислены среднее время ожидания пользователя и средняя ве-

роятность потери дейтаграммы, которые сопоставлены с аналогичными показателями, вычисленными на основе трафика, полученного в процессе мониторинга реальных пользовательских сессий. Разница между значениями названных характеристик не превышала 5–9%. Тем самым подтверждена и высокая степень универсальности модели, позволяющая учесть специфику программного окружения в имитационных моделях ИР.

Для оценки экономичности модели был проведен ряд экспериментов по размещению различного числа ИР (10, 20, 30, 40, 50) по узлам сети, в которых оценивались необходимые для нахождения лучшего решения (по выделенным критериям) количество итераций алгоритма, общее число популяций и время оптимизации. Были выявлены следующие зависимости от количества размещаемых ИР: для числа итераций – полиномиальная 2-ой степени (рисунок 3,а), для числа поколений – полиномиальная 3-ей степени (рисунок 3,б), для времени выполнения – полиномиальная 8-ой степени (рисунок 3,в).

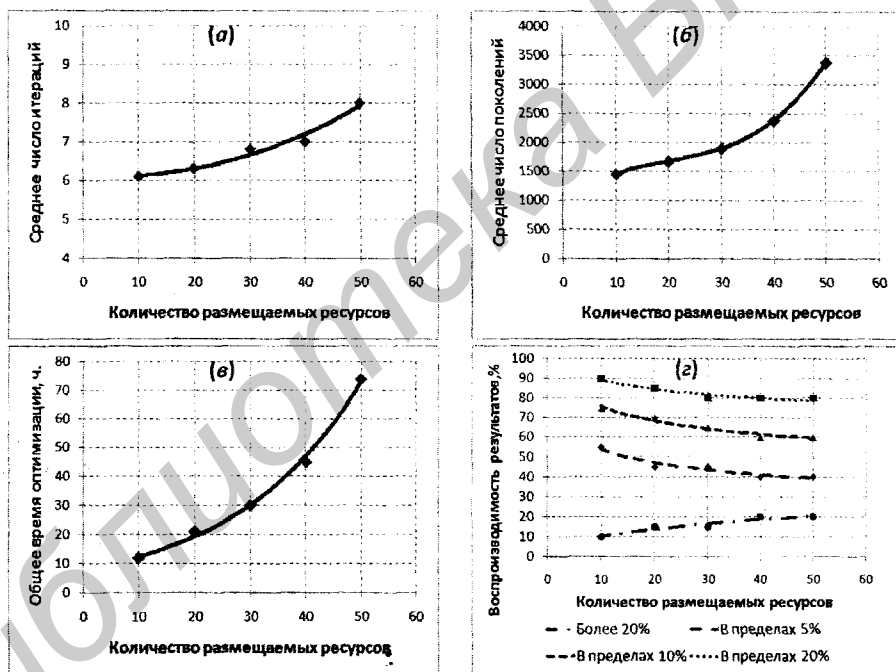
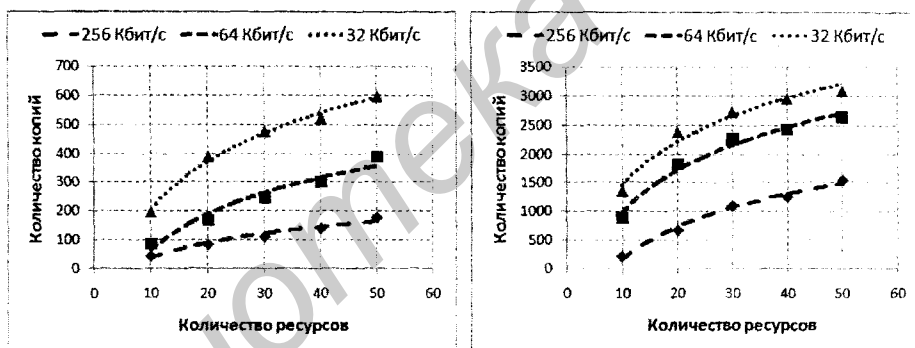


Рисунок 3 – Зависимости характеристик алгоритма от количества ИР

Для оценки воспроизводимости результатов модели эксперимент повторялся многократно, и вычислялось отклонение полученных решений от лучшего за всю серию экспериментов (рисунок 3,г). Для получения решения, находящегося в пределах 5% от лучшего, следует выполнять не менее 4–5 повторных расчётов.

На основе расчёта модели предложена стратегия размещения ресурсов по узлам информационной системы (рисунок 4). Ресурсы, суммарный размер запроса/ответа которых не превосходит 5500 байт, не реплицируются, и единственная их копия находится в центральном коммуникационном узле; ресурсы, суммарный размер запроса/ответа которых находится в диапазоне от 5501 до 16950 байт, кроме копии в центральном узле реплицируются во всех областных коммуникационных узлах; ресурсы с размером запроса/ответа от 16951 до 62770 байт реплицируются во всех областных коммуникационных узлах и на серверах учреждений образования, число реплик зависит от общего количества ресурсов и пропускной способности каналов подключения к коммуникационной среде (рисунок 4,а); ресурсы с размером запроса/ответа от 62771 до 156980 байт реплицируются в областных коммуникационных узлах и на серверах учреждений образования, число копий зависит от общего количества ресурсов и пропускной способности каналов подключения к коммуникационной среде (рисунок 4,б); ресурсы, размер запроса/ответа которых превосходит 156981 байт, реплицируются на серверах учреждений образования, наличие их реплик в областных коммуникационных узлах не требуется.



а) — для ресурсов с размером запроса/ответа от 16951 до 62770 байт,  
 б) — для ресурсов с размером запроса/ответа от 62771 до 156980 байт

**Рисунок 4 – Зависимость числа копий ресурсов от общего количества ресурсов и пропускной способности каналов**

Для сравнения новой и существовавшей стратегий размещения ресурсов был проведен ряд экспериментов, направленных на моделирование размещения различного количества IP в сети, содержащей 3750 узлов и имеющей топологию ОИССО, с различными пропускными способностями каналов передачи данных (таблица 1). Из таблицы видно, что стратегия размещения IP, полученная на основе предложенных в данной работе моделей и средств (стратегия 2), обеспечивает удовлетворение требований к граничным значениям характеристик качества сервиса; позволяет получать средние значения характеристик на

11–15% лучшие, чем существовавшая стратегия (стратегия 1); требует наличия на 8–12% меньшего числа копий ресурсов.

Таблица 1 – Результаты сравнения стратегий размещения ресурсов

Проект ОИССО	Стратегия	Макс. время сет. транз., с	Ср. время сетев. транз., с	Макс. вероят. потери пакета, %	Ср. вероят. потери пакета, %	Копий ресурсов, шт
Каналы 32 Кбит/с, 10 ресурсов	1	103,9	52,8	0,443	0,293	8053
	2	89,1	43,4	0,422	0,234	7129
Каналы 32 Кбит/с, 30 ресурсов	1	124,5	61,0	0,892	0,495	32952
	2	102,7	51,5	0,783	0,437	30237
Каналы 32 Кбит/с, 50 ресурсов	1	138,5	68,4	1,345	0,662	62831
	2	116,4	61,9	0,984	0,592	56645
Каналы 64 Кбит/с, 10 ресурсов	1	90,3	46,3	0,288	0,112	6124
	2	82,4	40,7	0,231	0,093	5659
Каналы 64 Кбит/с, 30 ресурсов	1	96,1	47,6	0,639	0,221	28915
	2	89,5	44,8	0,562	0,195	25947
Каналы 64 Кбит/с, 50 ресурсов	1	109,2	59,0	1,123	0,454	53697
	2	98,7	53,4	0,852	0,313	49245
Каналы 256 Кбит/с, 10 ресурсов	1	79,7	41,5	0,375	0,225	4708
	2	71,5	39,4	0,323	0,219	4269
Каналы 256 Кбит/с, 30 ресурсов	1	88,0	47,1	0,672	0,339	20193
	2	81,4	44,2	0,614	0,293	18207
Каналы 256 Кбит/с, 50 ресурсов	1	97,6	52,9	1,026	0,441	39592
	2	89,2	47,3	0,923	0,394	35345

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложена двухуровневая модель оптимизации размещения информационных ресурсов в РИВС с фиксированной топологией, основанная на декомпозиции коммуникационной среды на подсети, впервые оптимизирующая размещение информационных ресурсов на двух уровнях. На крупнозернистом уровне решение принимается о размещении глобальных ресурсов по подсетям коммуникационной среды, на мелкозернистом уровне проводится уточнение их расположения внутри подсетей. Преимуществами модели являются включение характеристик взаимодействия пользователей с ресурсами в ограничивающие условия задачи и разбиение процесса оптимизации на ряд параллельно решаемых подзадач. Это позволяет обеспечить выполнение требований к качеству обслуживания конечных пользователей и увеличить количество узлов системы до нескольких тысяч (более чем в 10 раз) [8–А, 9–А, 11–А, 12–А].

2. Предложена новая модель трансляции характеристик качества сервиса между транспортным и сетевым уровнями в корпоративных сетях, отличающаяся учётом схем сетевой обработки пользовательских запросов (точечной, распределённой, реплицируемой) в локальных и глобальных сетях, представ-



ленная аналитическими зависимостями. В случае точечной обработки характеристики транспортного уровня качества сервиса рассчитываются по характеристикам сетевого уровня маршрута между клиентом и ресурсом. В случае распределённой обработки характеристики транспортного уровня рассчитываются по характеристикам сетевого уровня маршрутов между компонентами ресурса. В случае реплицируемой обработки характеристики транспортного уровня зависят от характеристик сетевого уровня маршрута между клиентом и ближайшей репликой ресурса. Модель является компонентом двухуровневой модели оптимизации размещения информационных ресурсов и позволяет вычислять значения характеристик качества сервиса транспортного уровня по значениям характеристик сетевого уровня [4–А, 9–А, 12–А].

3. Разработана методика начальной оценки характеристик качества сервиса сетевого уровня, основанная на анализе структуры информационных взаимодействий в сети, коррекции интенсивностей потоков данных по предложенным алгоритмам, учёте эффектов, обусловленных наличием коммутаторов. Методика позволяет с погрешностью 16–23% при малой и средней загрузке сети получать недоступные ранее начальные оценки характеристики качества сервиса сетевого уровня в сетях на основе коммутаторов [1–А, 2–А, 3–А].

4. Разработана методика уточнённой оценки характеристик качества сервиса сетевого уровня, основанная на имитационном моделировании взаимодействия пользователей с информационными ресурсами и последующей обработке журналов моделирования, и позволяющая уменьшить погрешность оценок с 16–23% до 5–9%. Имитационные модели получают мониторингом ресурсов в изолированном окружении и воспроизводятся в среде моделирования NS2, для чего проведена её модернизация с целью расширения стандартной функциональности. Добавлены универсальный генератор трафика «Клиент-серверный ресурс», компоненты «Типы взаимодействия», «Сценарии поведения», «Генератор поведения», что позволяет использовать модифицированную среду для моделирования взаимодействия пользователей с информационными ресурсами различных типов [10–А, 12–А].

5. Предложен новый параллельный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации размещения информационных ресурсов в РИВС с фиксированной топологией, позволяющий на основе разделения ресурсов на локальные и глобальные и начального их размещения по подсетям РИВС реализовать итерационный процесс уточнения расположения ресурсов путём последовательного прохождения этапов крупно- и мелкозернистой оптимизации. Преимуществом алгоритма является увеличение размера оптимизируемой системы до нескольких тысяч узлов (более чем в 10 раз) и получение Парето-фронта решений уже при его однократном выполнении [5–А, 12–А].

6. Разработан программный комплекс для оптимизации размещения ресурсов РИВС, включающий модифицированную среду NS2, программный каркас для создания параллельных генетических алгоритмов, параллельный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации размещения информационных ресурсов в РИВС с фиксированной топологией. Комплекс позволяет за 4–5 часов развернуть на базе гетерогенной локальной сети параллельный вычислительный процесс и не предполагает априорного наличия на рабочих станциях необходимого системного и прикладного программного обеспечения [6–А, 7–А, 12–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Предложенные модели и средства оптимизации размещения ресурсов в РИВС с фиксированной топологией являются новыми инструментами повышения эффективности функционирования существующих систем. В отличие от известных моделей, направленных на определение технических характеристик сети с учётом пользовательских потребностей, они позволяют максимально удовлетворить запросы пользователей исходя из имеющихся в наличии ресурсов. Получение в результате численной оптимизации набора решений, оптимальных по различным целевым критериям, позволяет изменять приоритеты критериев без повторного решения задачи оптимизации. Разработанный программный комплекс может применяться проектировщиками для оптимизации размещения ресурсов РИВС в случаях, когда топология коммуникационной среды является фиксированной и не может изменяться (по причине инженерных или материальных ограничений). Программный комплекс может быть использован и на этапе проектирования программного окружения при построении новой РИВС «с нуля». Если множество альтернативных топологий коммуникационной среды известно априорно, то предложенные модели и средства могут быть применены для оптимального размещения ресурсов в каждой из них.

2. Предложенная методика оптимального проектирования РИВС с фиксированной топологией и разработанный программный комплекс использовались при разработке и реализации концепции отраслевой информационной среды системы образования РБ, для размещения распределённых информационных ресурсов автоматизированной информационной системы «Студенты» в сети Белорусского государственного университета, о чём свидетельствуют соответствующие акты внедрения.

3. Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс на факультете радиофизики и электроники БГУ в лабораторный практикум по курсам «Информационно-вычислительные сети» (на кафедре информатики), «Сетевые операционные системы и IP-сети» и «Исследование операций» (на кафедре кибернетики), о чём свидетельствует соответствующий акт внедрения.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных журналах

1–А. Воротницкий, Ю.И. Оценка временных задержек в сетях, построенных на базе коммутаторов / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Вестн. Белорус. гос. ун-та. – 2004. – Сер. 1, №3. – С. 58–64.

2–А. Воротницкий, Ю.И. Оценка параметров качества сервиса протоколов транспортного уровня в сетях произвольной древовидной структуры на основе коммутаторов. Ч.1. / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Вестн. Белорус. гос. ун-та. – 2007. – Сер. 1, №1. – С. 48–54.

3–А. Воротницкий, Ю.И. Оценка параметров качества сервиса протоколов транспортного уровня в сетях произвольной древовидной структуры на основе коммутаторов. Ч.2. / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Вестн. Белорус. гос. ун-та. – 2009. – Сер. 1, №2. – С. 34–38.

4–А. Воротницкий, Ю.И. Построение моделей информационных ресурсов как межуровневых QoS-трансляторов / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Электроника-инфо. – 2009. – №3. – С. 48–51.

5–А. Воротницкий, Ю.И. Проектирование сетей на основе генетических алгоритмов, модифицирующих структуру хромосом / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Информатика. – 2006. – №2(10). – С. 116–123.

6–А. Левчук, Д.Г. Библиотека RMI JGAP для программирования параллельных генетических алгоритмов на языке Java / Д.А. Стрикелев, Д.Г. Левчук // Электроника-инфо. – 2008. – №10. – С. 61–64.

7–А. Стрикелев, Д.А. Реализация параллельных генетических алгоритмов со сложной целевой функцией на основе технологии Java RMI и библиотеки JGAP / Д.А. Стрикелев // Информатика. – 2008. – №3(19). – С. 133 – 142.

### Статьи в журналах и сборниках

8–А. Воротницкий, Ю.И. О подходах к моделированию информационно-вычислительных структур компьютерных сетей / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. Вып. 6 / Белорус. гос. ун-т; редкол.: С.Г. Мулярчик (отв. ред.) и др. – Минск, 2003. – С. 144–149.

### Статьи в материалах научных конференций

9–А. Воротницкий, Ю.И. Декомпозиционный подход к размещению информационных ресурсов в мультисервисных сетях / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // IST'2004: Информационные системы и технологии: материа-

лы II междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8-10 ноября 2004 г.: в 2 ч. / Бел. гос. ун-т. – Минск, 2004. – Ч. 2. – С. 18–21.

10–А. Воротницкий, Ю.И. Моделирование сетевого взаимодействия с информационными ресурсами в среде NS-2 / Ю.И. Воротницкий, Д.А.Стрикелев // Сборник трудов XVI-ой международной научно-технической конференции «Прикладные задачи математики и механики», Севастополь, Украина, 15–19 сентября 2008 г. / Севаст. нац. техн. ун-т. – Севастополь, 2008. – С. 111–115.

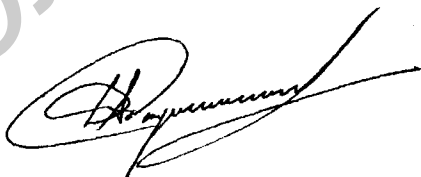
11–А. Воротницкий, Ю.И. О задаче размещения распределенного информационного сервера в интернете в условиях переменной нагрузки / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Управление информационными ресурсами: материалы II науч.-практ. конф., Минск, 16 марта 2004 г. / Академия управления при Президенте Республики Беларусь. – Минск, 2004. – С. 44–46.

12–А. Воротницкий, Ю.И. Об одном подходе к проектированию распределенных информационно-вычислительных систем / Ю.И. Воротницкий, Д.А. Стрикелев // Сборник трудов XVI-ой международной научно-технической конференции «Прикладные задачи математики и механики», Севастополь, Украина, 15–19 сентября 2008 г. / Севаст. нац. техн. ун-т. – Севастополь, 2008. – С. 74–78.

#### Отчёты по НИР

13–А. Разработка математических моделей и методов оптимизации размещения информационных ресурсов в распределенных информационных системах с заданной пропускной способностью телекоммуникационных каналов: отчет о НИР (заключительный) / М-во образования РБ, БГУ; науч. рук. Ю. И. Воротницкий.; исполн.: – Стрикелев Д.А. – Минск, 2005. – 58 с. – № ГР 20032714.

14–А. Разработать концепцию построения и развития отраслевой информационной среды системы образования (ОИССО), техническое задание на создание телекоммуникационной инфраструктуры ОИССО, систему управления данными объектов ОИССО: отчет о НИР (заключительный) / М-во образования РБ, БГУ; науч. рук. Ю. И. Воротницкий. [и др.]. – Минск, 2007. – 110с. – № ГР 20073580.



## РЭЗІЮМЕ

Стрыкелеў Дзмітрый Аляксандравіч

**Мадэлі і сродкі аптымізацыі размяшчэння інфармацыйных рэсурсаў у  
размеркаваных інфармацыйна-вылічальных сістэмах з фіксаванай  
тапалогіяй**

*Ключавыя словы:* праектаванне інфармацыйных сістэм, аптымізацыя размяшчэння інфармацыйных рэсурсаў, імітацыйнае мадэляванне інфармацыйных рэсурсаў, паралельныя генэтычныя алгарытмы.

*Аб'ект даследавання:* размеркаваныя інфармацыйна-вылічальныя сістэмы з нязменнай тапалогіяй камунікацыйнага асяроддзя і настройваемым размяшчэннем інфармацыйных рэсурсаў.

*Мэта працы:* распрацоўка мадэлей і сродкаў аптымізацыі размяшчэння інфармацыйных рэсурсаў у размеркаванай інфармацыйна-вылічальнай сістэме с фіксаванай тапалогіяй камунікацыйнага асяроддзя.

*Метады даследавання:* тэорыя верагоднасці, тэорыя графаў, эвалюцыйныя метады, імітацыйнае мадэляванне.

*Атрыманыя вынікі і іх навізна.* Прапанаваны дэкампазіцыйны падыход да аптымізацыі размеркаваных сістэм з колькасцю вузлаў да некалькіх тысяч шляхам аптымізацыі праграмнага наваколля пры фіксаванай канфігурацыі камунікацыйнага асяроддзя. Прапанавана двухузроўневая мадэль аптымізацыі размеркаванай сістэмы с фіксаванай тапалогіяй, якая ўключае мадэлі рэсурсаў як міжузроўневыя транслятары характарыстык якасці сэрвісу; метадыку атрымання пачатковых ацэнак характарыстык якасці сэрвісу; заснаваную на імітацыйным мадэляванні метадыку атрымання удакладненых ацэнак якасці сэрвісу; ітэрацыйны алгарытм размяшчэння рэсурсаў па вузлах камунікацыйнага асяроддзя. Рэалізаваны паралельны генэтычны алгарытм шматкрытэрыяльнай аптымізацыі. Праведзена дапаўненне імітацыйнага асяроддзя NS2 рэсурсам тыпу “кліент-сервер” для мадэлявання ўзаемадзеяння карыстальнікаў з інфармацыйнымі рэсурсамі розных тыпаў. Створаны праграмны каркас для распрацоўкі паралельных генэтычных алгарытмаў з дапамогай бібліятэкі JGAP.

*Вобласць прымянення і рэкамендацыі па выкарыстоўванню.* Прапанаваныя мадэлі і сродкі з'яўляюцца новымі інструментамі для павышэння эфектыўнасці функцыянавання існуючых размеркаваных інфармацыйна-вылічальных сістэм без дадатковых матэрыяльных затрат. Атрыманыя вынікі былі выкарыстаны ў праектаванні праграмнага наваколля інфармацыйных сістэм Міністэрства адукацыі Рэспублікі Беларусь і БДУ, у працэсе падрыхтоўкі па спецыяльнасцям G 31.04.02 «Радыефізіка», H 02.03.00 «Фізічная электроніка», P 98.01.01-02 «Камп'ютэрная бяспека» у БДУ.

## РЕЗЮМЕ

Стрикелев Дмитрий Александрович

### **Модели и средства оптимизации размещения информационных ресурсов в распределённых информационно-вычислительных системах с фиксированной топологией**

*Ключевые слова:* проектирование информационных систем, оптимизация размещения ресурсов, имитационное моделирование информационных ресурсов, параллельные генетические алгоритмы.

*Объект исследования:* распределённые информационно-вычислительные системы с неизменной топологией коммуникационной среды и настраиваемым размещением ресурсов.

*Цель работы:* разработка моделей и средств оптимизации размещения информационных ресурсов в распределённой информационно-вычислительной системе с фиксированной топологией коммуникационной среды.

*Методы исследования:* теория вероятности, теория графов, эволюционные методы, имитационное моделирование.

*Полученные результаты и их новизна.* Предложен декомпозиционный подход к оптимизации распределённых систем с количеством узлов до нескольких тысяч путём оптимизации программного окружения при фиксированной конфигурации коммуникационной среды. Предложена двухуровневая модель оптимизации распределённой системы с фиксированной топологией, включающая модели ресурсов как межуровневые трансляторы качества сервиса; методику получения начальных оценок характеристик качества сервиса; основанную на имитационном моделировании методику получения уточнённых оценок характеристик качества сервиса; итерационный алгоритм размещения ресурсов. Реализован параллельный генетический алгоритм многокритериальной оптимизации. Для моделирования взаимодействия пользователей с информационными ресурсами различных типов функциональность среды NS2 расширена генератором трафика типа «клиент-сервер». Создан программный каркас для разработки параллельных генетических алгоритмов с использованием библиотеки JGAP.

*Область применения и рекомендации по использованию.* Предложенные модели и средства являются новыми инструментами для повышения эффективности функционирования существующих распределённых информационно-вычислительных систем без дополнительных материальных затрат. Полученные результаты были использованы при проектировании программного окружения информационных систем БГУ и Министерства образования Республики Беларусь, а также внедрены в учебный процесс БГУ по специальностям G 31.04.02 «Радиофизика», H 02.03.00 «Физическая электроника», P 98.01.01-02 «Компьютерная безопасность».

## SUMMARY

Strikelev Dmitry Alexandrovich

### **Models and means for optimization of informational resources allocation in distributed informational and computational systems with fixed network topology**

*Key words:* informational systems design, optimal resource allocation, simulated modeling of informational resources, parallel genetic algorithms.

*Object of investigations:* distributed informational and computational systems with a fixed network topology and a configurable resource allocation.

*The purpose of research:* to develop models and means for optimization of resource allocation in a distributed system with fixed network topology.

*Methods of investigations:* graph theory, theory of probability, evolutionary computations, statistical analysis, simulated modeling.

*Obtained results and their newness.* A decomposed approach to optimization of distributed systems with fixed network topology containing up to few thousand nodes by optimal allocation of resources is proposed. A two-level optimization model for such systems is provided, which contains: resource models as QoS-translators; mechanisms for QoS metrics estimation; mechanisms for specification of QoS metrics using simulated modeling; an iterative algorithm for resource allocation to network nodes. Parallel genetic algorithm for multi-objective optimization of resource allocation is implemented. NS2 simulation tool is upgraded with “client-server” traffic generator for modeling of communications between users and informational resources of different kinds. Application framework for parallel genetic algorithm development using JGAP library is developed.

*Field of application.* Proposed model and means provide new tools for increasing of efficiency and robustness of existing distributed informational and computational systems without additional expenses. Obtained results are put to use when designing software environment of informational system of Belarusian state university and Ministry of education of Republic of Belarus. Ones are used in educational process on specializations G 31.04.02 “Radiophysics”, H 02.03.00 “Physical electronics”, P 98.01.01–02 “Computer security” in Belarusian state university.

Научное издание

**Стрикелев  
Дмитрий Александрович**

**Модели и средства оптимизации размещения  
информационных ресурсов в распределённых  
информационно-вычислительных системах  
с фиксированной топологией**

Специальность 05.13.13 – Телекоммуникационные системы  
и компьютерные сети

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

---

Подписано в печать 29.09.2009.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 639.

---

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.  
220013, Минск, П. Бровка, 6.