

На правах рукописи



Якунин  
Юрий Юрьевич

**Оптимальное управление  
формированием штатов  
профессорско-преподавательского  
состава вуза**

05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации  
(по отраслям: информатика, вычислительная техника и управление)

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск — 2005

Работа выполнена  
в Государственном образовательном учреждении  
высшего профессионального образования  
"Красноярский государственный технический университет"

Научный руководитель      доктор технических наук, профессор  
Воловик Михаил Арсентьевич

Официальные оппоненты:   доктор технических наук, профессор  
Доррер Георгий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент  
Зырянов Игорь Александрович

Ведущая организация:      Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Сибирский государственный аэрокосмический  
университет" (г. Красноярск)

Защита состоится 17 июня 2005 года в 14:00 на заседании диссертационного  
совета Д 212.098.04 при Красноярском государственном техническом университете  
по адресу: ул. академика Киренского, 26, Красноярск, 660074, ауд. Д 501.

Факс:            (3912) 43-06-92 (КГТУ, для каф. САПР)

E-mail:        sovet@front.ru

Телефон:      (391-2) 65-15-85 (КГТУ, каф. САПР)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Красноярского государственного  
технического университета.

Автореферат разослан 16 мая 2005 года.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н.



С. А. Бронов

2006-4  
9212

2157975

## Общая характеристика работы

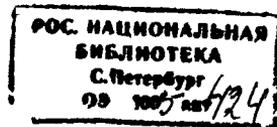
**Актуальность работы.** Одним из направлений развития высшего профессионального образования России является совершенствование системы управления вузом с использованием современных информационных технологий и на этой основе — повышение качества образования.

В большинстве вузов России внедрены и функционируют разнообразные автоматизированные информационные системы (АИС), обеспечивающие сбор, хранение и обработку данных о различных процессах в вузе. В частности, в Красноярском государственном техническом университете разрабатывается и внедряется многокомпонентная система поддержки принятия решений (СППР), в рамках которой успешно функционирует АИС "Учебное планирование", обеспечивающая накопление и предоставление информации об образовательных программах по всем направлениям подготовки и задействованным кафедрам, АИС "Контингент" (данные о студентах), "1С: Штаты" и другие. Но в настоящее время они выполняют лишь минимальные функции по обработке и оперативному предоставлению накопленной в них фактической информации — при том, что её состав и объём уже достаточны для разработки процедур автоматизированной выработки оптимальных решений и создания полноценных СППР. Аналогичная ситуация присуща также и другим вузам.

Одной из важнейших частных задач управления вузом является формирование штатов профессорско-преподавательского состава (ППС). В настоящее время действует двухуровневая система распределения штатов, при которой на первом (министерском) уровне Рособразование по собственной методике выделяет каждому вузу предельное значение штатов ППС и соответствующее финансовое обеспечение. На втором (внутривузовском) уровне эти ресурсы распределяются по подразделениям (факультетам, кафедрам). В настоящее время распределение штатов на втором уровне не регламентировано Рособразованием и выполняется в различных вузах по различным практически опробованным *рациональным* методикам, позволяющим обеспечить приемлемые показатели по загрузке кафедр.

Большой теоретический и практический вклад в решение этой задачи внесли Журавлев В. М., Чеботаревский Ю., Вяткин Г. П., Ефремов А. П. и др.

Но существующие методики формирования штатов, как правило, нельзя считать ни *оптимальными*, ни *научно обоснованными*. **Во-первых**, они являются эмпирическими и основываются на субъективных предпочтениях разработчиков, которые фактически определяют ту или иную *политику* вуза (хотя и не всегда чётко сформулированную) в области формирования штатов (при изменении этой политики необходимо пересматривать соответствующие методики). **Во-вторых**, различные методики учитывают различное сочетание факторов, которые считаются значимыми в данном конкретном вузе. При этом некоторые факторы, как правило, не учитываются, в частности — та или иная политика покафедрального разделения бюджетной и внебюджетной составляющих нагрузки, квалификация преподавателей при распределении вида и объёма нагрузки для профессоров, доцентов, старших преподавателей и ассистентов. **В-третьих**, автоматизацией обычно охвачены простейшие расчёты и их визуализация в виде отчётных или распорядительных документов. Задача поиска оптимальных решений, как правило, не ставится ввиду отсутствия формали-



зованного математического описания процессов и сложности учёта рассматриваемых факторов.

Отсутствие автоматизированного оптимального формирования штатов порождает ряд проблем на уровне как вуза, так и кафедр.

На уровне вуза появляются общие дополнительные издержки, возможны перерасход или нехватка средств по отдельным направлениям учебного процесса, характерен субъективизм в принятии решений, вызывающий конфликты между кафедрами в борьбе за учебную нагрузку и предоставляемые на её покрытие ресурсы, отсутствует возможность предварительной оценки последствий при изменении политики руководства в том или ином вопросе. В настоящее время эти проблемы решаются преимущественно административно-волевым порядком, без убедительного обоснования, а потому — недостаточно эффективно.

На уровне кафедр проблемой является неопределённость штатного состава на очередной учебный год, невозможность определения минимально необходимого количества штатных сотрудников кафедры и возможного числа совместителей (т. е. оценки имеющегося резерва ставок), неравномерность распределения нагрузки среди преподавателей даже родственных кафедр (что приводит к снижению качества методической работы преподавателей).

Указанные проблемы формирования штатов в рамках вуза приводят к общему ухудшению обобщённых показателей, а в рамках кафедр создают сложности в организации учебного процесса.

В то же время, автоматизированное оптимальное формирование штатов может: *повысить эффективность* принимаемых решений за счёт более обоснованного распределения ресурсов; *увеличить достоверность* информации о предельных возможностях той или иной кафедры и вуза в целом в рамках имеющегося или желаемого количественного и качественного состава штатов; *предоставить оценку* наличия резервов по штатам и связанным с ними финансами как по вузу в целом, так и по отдельным кафедрам; *обеспечить оперативность* принятия решений при изменении политики в области управления учебным процессом; *улучшить качество* учебной работы преподавателей в вузе ввиду более равномерной нагрузки преподавателей.

Основой автоматизации поиска оптимальных решений в процессе управления вузом является его формализация, т. е. построение моделей процессов, выбор целевых функций и ограничений с использованием адекватных методов оптимизации.

Таким образом, существует **народно-хозяйственная проблема** создания систем поддержки принятия решений в части формирования штатов профессорско-преподавательского состава вуза и **актуальная научная задача** создания соответствующих математических моделей и алгоритмов оптимизации, **имеющая существенное значение** для улучшения качества управления учебным процессом в вузе.

**Объектом исследований** в диссертации является процесс управления формированием штатов профессорско-преподавательского состава вуза.

**Предметом исследований** являются математические модели и алгоритмы оптимизации штатов профессорско-преподавательского состава кафедр.

**Цель работы:** разработка математического, методического и программного обеспечения для процесса оптимального управления формированием штатов профессорско-преподавательского состава вуза.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **частные задачи исследования**:

1 Системный анализ учебной деятельности вуза и на его основе выбор показателей эффективности формирования штатов ППС, разработка и исследование математических моделей, характеризующих этот процесс.

2 Разработка моделей оптимизации (включающих целевые функции, ограничения, методы оптимизации) для различных стратегий управления процессом формирования штатов, исследование их характеристик и выявление областей возможного применения.

3 Выделение предпочтительной модели оптимизации и разработка на её базе алгоритмов и методики формирования штатов.

4 Подтверждение достоверности результатов оптимизации формирования штатов на примере Красноярского государственного технического университета.

5 Создание программного обеспечения для реализации разработанной методики оптимального формирования штатов ППС вуза как компонента общевузовской системы поддержки принятия решений.

**Методы исследования:** системный анализ, методы разработки математических моделей, численные методы оптимизации (математическое программирование), а также их алгоритмическая и программная реализация.

**Основная идея диссертации** состоит во введении базовой квалификационной матрицы параметров оптимизационной модели в сочетании с матрицей ограничений для оптимального управления формированием штатного расписания кафедр с учётом политики руководства в отношении преподавателей различной квалификации.

#### **Основные результаты:**

1 Введена базовая квалификационная матрица, позволяющая учитывать политику руководства в отношении учёта квалификации преподавателей при формировании штатов ППС кафедр.

2 Разработаны модели процесса формирования штатов ППС и модели оптимизации для различных стратегий управления процессом. Выявлено, что возникающее при этом сочетание монотонных целевых функций со сложными функциями ограничений порождает многокритериальную поверхность отклика, для которой выбран класс поисковых алгоритмов глобальной оптимизации.

3 Разработаны алгоритм расчета и методика формирования штатов ППС с использованием базовой квалификационной матрицы, позволяющие учитывать квалификацию преподавателей и среднюю нагрузку на кафедрах.

4 На основе полученных теоретических результатов разработан и внедрён программный компонент системы поддержки принятия решений, позволяющий в любой момент времени получать всю необходимую информацию для принятия управленческих решений в процессе формирования штатов и распределения ресурсов.

#### **Научная новизна полученных результатов:**

1 Введена базовая квалификационной матрицы для учёта политики руководства по оценке качества кадрового обеспечения кафедр.

2 Разработаны математические модели оптимизации, включающие целевые функции и ограничения, построенные с использованием базовой квалификационной матрицы.

3 Разработаны алгоритм и методика оптимального формирования штатов профессорско-преподавательского состава вуза.

**Значение для теории.** Предложенные показатели эффективности, введенная базовая квалификационная матрица и математические модели оптимизации предусматривают включение ранее не рассматривавшихся факторов, связанных с учётом квалификации профессорско-преподавательского состава при формировании штатов.

**Значение для практики.** Программный компонент системы поддержки принятия решений, реализующий разработанные модели оптимизации и методику расчёта, обеспечивает автоматическое формирование штатов ИПС, повышает оперативность и эффективность принимаемых решений, в том числе, позволяет определять минимально допустимую штатную численность ИПС и существующие резервы по штатам, обеспечивает более равномерную среднюю нагрузку кафедрам

**Достоверность полученных результатов** подтверждена сравнением оптимальных решений по формированию штатов ИПС, полученных с применением предложенных моделей и методики, с решениями, полученными при традиционном формировании штатов в КГТУ.

**Результаты диссертации использованы** в качестве компонента системы поддержки принятия решений в Красноярском государственном техническом университете в части автоматизированного формирования штатов профессорско-преподавательского состава кафедр при взаимодействии с действующей АИС "Учебное планирование".

**Личный вклад автора** состоит в постановке задачи исследования, разработке моделей оптимизации для ряда стратегий управления штатами ИПС, введении базовой квалификационной матрицы, позволяющей учитывать стратегию вуза по нагрузке преподавателей в зависимости от их формальной квалификации, разработке методики формирования штатов и на её основе — программного обеспечения для системы поддержки принятия решений.

**Результаты диссертации могут быть использованы** при создании систем поддержки принятия решений в части оптимального управления формированием штатов профессорско-преподавательского состава кафедр в российских вузах

**Результаты диссертации были апробированы** на 8-й Московской международной телекоммуникационной конференции студентов и молодых ученых в 2004 году (**Якунин, Ю. Ю.** Показатели эффективности распределения штатов и нагрузки на кафедры [электронный ресурс] : тезисы 8-й Московской международной телекоммуникационной конференции студентов и молодых ученых / Ю. Ю. Якунин — М.: МИФИ, 2004 — Режим доступа. <http://www.molod.mephi.ru/dir2.asp?rid=23&grid=6>.), а также на семинарах кафедр "Системы автоматизации, автоматизированного управления и проектирования" и САПР КГТУ

**Публикации** по материалам диссертации включают 6 работ, из них: 5 — статьи в сборниках научных трудов; 1 — программа для электронных вычислительных машин, зарегистрированная в «Национальном информационном фонде неопубликованных документов».

**Общая характеристика диссертации.** Диссертация состоит из 4 разделов, содержит основной текст на 116 с., 10 иллюстраций, 15 таблиц, список использованных источников из 57 наименований.

## Основное содержание работы

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи работы, отражены основные результаты, научная новизна, значение работы для теории и практики, приведены сведения об апробации и достоверности полученных результатов.

**В первом разделе** проведен системный анализ объекта исследований и выявлены его основные характеристики. Выполнен аналитический обзор существующих методик распределения штатов и соответствующих им финансовых ресурсов в вузах, выявлены их достоинства и недостатки. Определена народно-хозяйственная задача управления вузом в части формирования штатов профессорско-преподавательского состава (ППС) и соответствующая ей научная задача разработки соответствующих моделей оптимизации.

Исходными данными для постановки и решения задачи являются документы, участвующие в организационном документообороте учебного процесса вуза. Таковыми документами являются:

График учебного процесса. Содержит понедельное расписание теоретического обучения, экзаменационных сессий, учебной и производственной практики, каникул для каждого курса по одной специальности, направлению или специализации на весь период обучения.

- Рабочий учебный план. Основной документ, определяющий обучение по специальности в вузе. Содержит перечень дисциплин, количество часов, выделяемое на них в каждом семестре, распределение контрольных точек по семестрам. В плане указывается работы по производственной практике, работы по дипломному проектированию и сроки проведения государственных экзаменов или итоговой аттестации.

- Рабочий план занятий на семестр. Документ, определяющий учебную работу по специальности по семестрам на текущий год обучения. Формируется на основе рабочего учебного плана и списка групп.

Учебное поручение на кафедру. Документ, содержащий информацию об учебной нагрузке, поручаемой факультетом (специальностью) кафедре для ее выполнения.

- Объем работы кафедры на учебный год. Документ, определяющий объем работы кафедры по дисциплинам и общий объем работы на год. Содержит данные о количестве часов, планируемых на каждую дисциплину, и о количестве студентов и групп, обучаемых по каждой дисциплине. На основе этого документа определяется штатное расписание кафедры.

Все выше описанные документы логически связаны между собой. Исходными базовыми документами являются рабочий учебный план и график учебного процесса. На основе этих двух документов разрабатываются семестровые планы. На основе семестровых планов формируются учебные поручения на кафедры. Кафедры на основе переданных им поручений формируют объемы работ.

Политика Министерства науки и образования по финансированию вузов обуславливает принцип двухуровневого распределения ресурсов внутри вузов (рисунком 1).

На сегодняшний день финансирование учебных заведений по статье «заработная плата преподавателей» определяется исходя из среднего коэффициента один к десяти, т.е. один преподаватель на 10 студентов. Величина фонда зарплаты вуза получается путем умножения числа ставок на среднюю ставку заработной платы. Сколько ставок в действительности будет в вузе, решает он сам. Вуз сам определяет, сколько ассистентов и сколько профессоров ему надо, но всё в пределах этого фонда заработной платы. Одновременно вуз самостоятельно нормирует труд преподавателей – определяет, сколько аудиторных часов должен иметь каждый из преподавателей. Согласно установленным Министерством рекомендациям, у преподавателя максимально должно быть не более 900 аудиторных часов в год. У профессора, доцента может быть намного меньше.

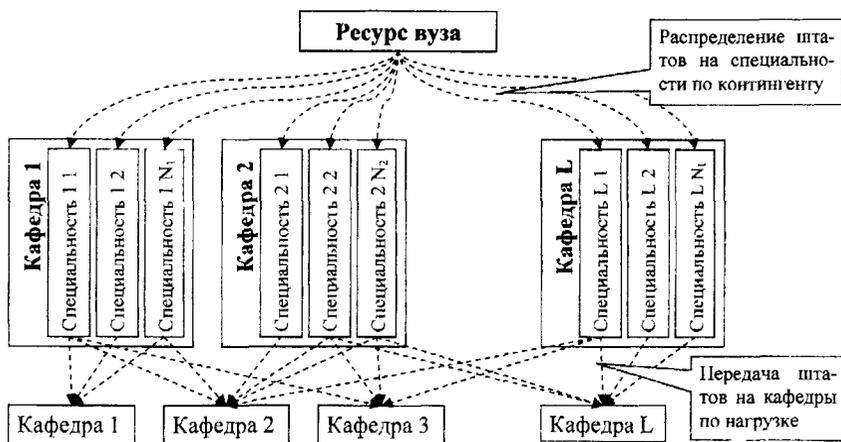


Рисунок 1 — Двухуровневая схема распределения штатов в вузе

Таким образом, в настоящее время в нормировании труда преподавателей достаточно демократично реализуется автономный принцип: вузу выделяется сумма, рассчитанная по выше описанной методике, а вуз в соответствии со своими правилами и с определенными рекомендациями Рособразования устанавливает количество аудиторных и внеаудиторных часов нагрузки преподавателя.

В соответствии с методикой финансирования Министерства образования и науки вузы разрабатывают собственные методики распределения ресурсов, не противоречащие основным принципам выше указанной методики. Основным принцип заключается в установке численности профессорско-преподавательского состава, которая определяется, как было отмечено выше, путем деления количества студентов, обучающихся в вузе, на нормативный коэффициент.

Во втором разделе описаны разработанные алгоритмы формирования штатов кафедр в вузе и их математическое описание. На основе разработанных математических моделей сформулированы модели оптимизации для различных стратегий управления процессом формирования штатов. Введены показатели эффективности этого процесса

Все описанные модели базируются на нескольких основных принципах. Эти принципы заключаются в выделении ресурсов в виде ставок или их денежном эквиваленте факультетам или на специальности по числу обучающихся, а затем распределяются пропорционально нагрузке на кафедры. Ресурсы делятся на бюджетную и контрактную составляющие, но распределение этих составляющих может происходить по различным схемам.

Контингент студентов разделяется на категории, которые включают в себя форму обучения (очная, заочная и вечерняя) и тип обучающихся (студенты, аспиранты, докторанты, слушатели подготовительных курсов, студенты иностранцы).

Профессорско-преподавательский состав в рассматриваемых методиках разделяется по уровням квалификации. Квалификацию преподавателя формально можно оценить на основе занимаемой им должности, его степени и звания. Должностей в вузах, которые могут занимать преподаватели, с точки зрения качества преподавания дисциплины всего пять: преподаватель-стажер, ассистент, старший преподаватель, доцент и профессор. Звания различаются по уровням назначения. Так, звание профессор, присвоенное высшей аттестационной комиссией, считается выше звания профессор вуза. Ученых степеней, присваиваемых преподавателям и ученым, существует всего четыре: бакалавр, магистр, кандидат наук и доктор наук. Все возможные комбинации – звание, ученая степень и должность определяют квалификацию преподавателя и позволяют отнести его к 1ой или иной категории.

Учебная нагрузка  $Q_{k,j}$  (нагрузка, поручаемая  $k$ -ым факультетом  $j$ -ой кафедре) и  $Q_{i_k,j}$  (нагрузка, поручаемая  $j_k$ -ой кафедрой  $k$ -ого подразделения по  $i_k$ -ой специальности  $j$ -ой кафедре) рассчитывается заведующими кафедрами на основе учебных планов специальностей подготовки специалистов, бакалавров и магистров. Учебная нагрузка рассчитывается на один учебный год и делается это ежегодно. В рассматриваемых методиках учебная нагрузка является константой. В случае перехода на систему кредитов количество кредитов должно рассчитываться один раз в семестр, т.е. два раза в год. Для использования разработанных моделей в новой системе, кредиты можно обозначить так же как учебную нагрузку ( $Q_{k,j}$ ,  $Q_{i_k,j}$ ) и использовать в моделях в тех же условиях и ограничениях.

Во втором разделе описано четыре модели оптимизации. Первая модель позволяет достичь максимизации штатов для каждого подразделения и каждой кафедры. В данной модели используются в качестве единицы измерения ресурсов ставки без ранжирования по должностям, вследствие чего получается большая погрешность при пересчете на рубли. То есть решенная задача в «ставках» может показывать хороший результат, но при переводе ставок в рубли, решение будет неудовлетворительным.

Во второй модели ресурсы выделяются на специальность, а внебюджетные средства распределяются по отличной от распределения бюджетных средств методике. Это обстоятельство позволяет управлять внебюджетными средствами, которые направлены на повышение заработной платы преподавателей и на стимулирование развития тех дисциплин, которые по мнению, например, ученого совета являются наиболее важными. Целевая функция данной модели аналогично предыдущей направлена на максимизацию ресурса во всех подразделениях. Однако сложность

модели вызывает определенные трудности при ее решении. Детализированная учебная нагрузка до уровня дисциплин в учебном плане значительно затрудняет применение данной модели без наличия программной системы автоматизирующей процесс учебного планирования. Использование для измерения ресурсов такой единицы как заработная плата в рублях, вносит в решение модели значительную погрешность, из-за использования в ней усредненной заработной платы в подразделениях и на кафедрах.

Третья модель позволяет сформировать штаты таким образом, что общее число ставок, необходимых для осуществления учебного процесса становится минимально возможным, а руководство вуза за счет этого формирует максимально возможный резерв  $I$  единственным параметром, которым можно варьировать, является нормативный коэффициент приведения, т.е. число студентов на одного преподавателя. Основным достоинством этой модели является ее практическая значимость. Модель была разработана на базе реальной задачи стоящей перед руководителями КИ ТУ, которая решалась методом подбора параметров. К недостаткам модели можно отнести выделение штатов на первом этапе на факультеты, а не на специальности. При этом отсутствует разделение бюджетных и контрактных средств, они распределяются по единой схеме.

Четвертая модель была разработана на основе следующих принципов: 1) на первом этапе ресурсы распределяются на специальности по контингенту студентов; 2) распределяемые средства измеряются в ставках, а ставки ранжируются по квалификации преподавателей; 3) бюджетная и контрактная составляющие ресурса различаются, – ставки, произошедшие от контрактной составляющей, в денежном эквиваленте больше чем бюджетные ставки. Варьируемыми параметрами в данной модели являются нормативные коэффициенты приведения, устанавливаемые для каждой специальности.

Для того чтобы определить, какое число квалификационных ставок (профессорских, доцентских и т.д.) на кафедре необходимо для выполнения нагрузки, для каждой кафедры вводится базовая квалификационная матрица  $(b'_{pq})$ , где  $p = 1, P, P -$  количество видов учебной нагрузки, а  $q = \overline{1, M}$ ,  $M$  количество квалификаций преподавателей). Элементы этой матрицы могут задаваться экспертом либо рассчитываются на базе реальных данных кафедр.

Идея введения базовой квалификационной матрицы возникла в результате существования проблемы сокрытия полезной информации от ЛПР при распределении основных и дополнительных ресурсов. Для того чтобы можно было рассчитать число ставок выделяемых на кафедры по должностям, необходимо знать какое количество часов определенного вида (лекции лабораторные и т.п.) присутствует в объеме кафедры. Тогда, используя базовую квалификационную матрицу, можно вычислить количество необходимых ставок. Пример базовой квалификационной матрицы приведен в таблице 1.

Элементы базовой квалификационной матрицы показывают с одной стороны – с точки зрения эксперта или ЛПР, на сколько эффективно использовать преподавателей каждой из квалификаций для выполнения данного вида учебной нагрузки. с другой стороны, – какую долю преподавателей каждой из квалификаций необходимо выделить для выполнения данного вида нагрузки. Здесь понятие эффективности

рассматривается с точки зрения цена-качество. Например, использовать профессора для чтения лекций хорошо для качества обучения, а использовать его для ведения лабораторных работ дорого для бюджета вуза, что не оправдывает качество, поскольку преподаватель, без степени смог бы провести эти занятия с надлежащим качеством для данного вида нагрузки.

В приведенном примере, значения базовой квалификационной матрицы введены таким образом, что соблюдается нормировка по столбцам. Но в разработанной математической модели, использующей эту матрицу, это требование не обязательно, что позволяет упростить выполнение матриц экспертами.

Таблица 1 — Базовая квалификационная матрица

Квалификация														
Должность	Учёная степень	Лекции	Лабораторные	Практические	Производственная и иная практика	Учебная практика	Руководство дипломниками	Другое	Курсовой проект	Консультация	Экзамены	Зачёты	Р13	Самостоятельная работа
		Зав кафедрой	Доктор наук	0.20	0.13	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Нет	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Профессор	Доктор наук	0.05	0.06	0.67	0.00	1.00	0.29	0.43	0.00	0.10	0.10	0.09	0.00	0.00
	Канд наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Нет	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Доцент	Доктор наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.23	0.11	0.33	1.00	0.00	0.24	0.04	0.11	0.15	0.15	0.05	0.00	0.00
	Нет	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Старший преподаватель	Доктор наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.18	0.04	0.00	0.05	0.04	0.24	0.00	0.00
	Нет	0.20	0.24	0.00	0.00	0.00	0.18	0.04	0.34	0.20	0.22	0.13	0.00	0.00
Преподаватель	Доктор наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Нет	0.05	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00
Ассистент	Доктор наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Нет	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.26	0.05	0.07	0.21	0.00	0.00
Преподаватель стажер	Доктор наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Канд наук	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Нет	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

К недостаткам данной модели можно отнести её сложное математическое представление, хотя основная сложность заключается в больших объемах расчетов вычисляемых констант, в то время как переменная составляющая модели имеет относительно простой вид.

В данном разделе введены показатели эффективности процесса формирования штатов, которые характеризуют: 1) отклонение средней нагрузки преподавателей от средней по подразделениям; 2) качество кадрового обеспечения структурных единиц, обеспечивающих образовательный процесс; 3) эффективность использования фонда оплаты труда. Расчетные данные показывают, что введенные показатели являются достаточно представительными и могут быть использованы при управлении

учебным процессом на кафедрах и в вузе в целом, а также при мониторинге качества образовательного процесса.

В третьем разделе проведены исследования моделей оптимизации. Математический вид одной из моделей представлен формулой (1). Во всех разработанных моделях целевая функция является дробно-рациональной функцией в гиперпространстве. Графиком такой функции является неравносторонняя гиперболоа, асимптоты которой и центр зависят от вычисляемых констант. Примерная поверхность среза по двум переменным для этой функции представлена на рисунке 2. В силу физических ограничений предметной области переменные  $x_{f,ljk}$  не могут быть отрицательными, более того, они всегда строго больше нуля.

$$\left\{ \begin{array}{l} f(x_{f,ljk}) = \sum_{k=1}^S \sum_{l=1}^{L_j} \sum_{i_{jk}=1}^{N_{jk}} \sum_{f=1}^F G_k \cdot \frac{K_{f,ljk}}{x_{f,ljk}} \rightarrow \min; \\ r_{f,ljk}^{\min} \leq x_{f,ljk} \leq r_{f,ljk}^{\max}, f = \overline{1, F}, k = \overline{1, S}, j_k = \overline{1, L_k}, i_{jk} = \overline{1, N_{jk}}; \\ Q_j^{каф} \leq Q_{\max, j}^{каф}, j = \overline{1, L}; \\ Q_{j,q}^{каф} \leq Q_{\max, j,q}^{каф}, j = \overline{1, L}, q = \overline{1, M}; \\ Q^{вуз} \leq Q_{\max}^{вуз}. \end{array} \right. \quad (1)$$

В формуле (1) приняты следующие обозначения:  $G_k$  – коэффициент, учитывающий резерв  $k$ -ого факультета.  $K_{f,ljk}$  – количество студентов  $f$ -ой категории (типы обучаемых и формы обучения), обучающихся на  $l$ -ой специальности (направлении, специализации), на  $j$ -ой кафедре  $k$ -ого факультета,  $x_{f,ljk}$  – нормативный коэффициент приведения (число обучающихся  $f$ -ой категории по  $i_{jk}$  -ой специальности, приходящихся на одного преподавателя университета),  $Q_j^{каф}$  – средняя нагрузка преподавателя  $j$ -ой кафедры;  $Q_{j,q}^{каф}$  – средняя нагрузка преподавателя  $q$ -ой квалификации  $j$ -ой кафедры, средняя нагрузка преподавателя вуза.

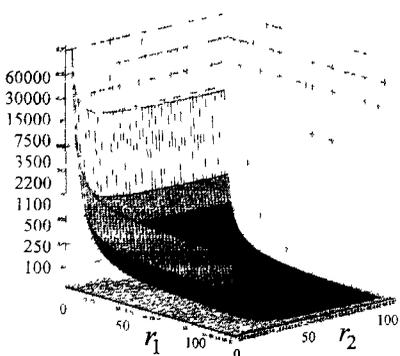


Рисунок 2

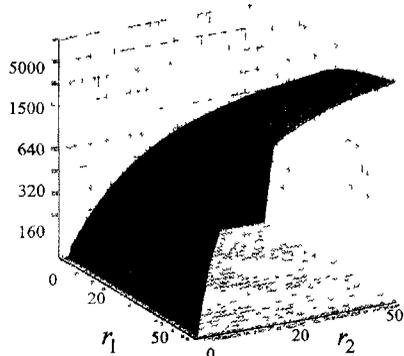


Рисунок 3

Очевидно, что минимальное значение эта функция принимает при значениях переменных  $x_{f,k}$  равных значениям верхней границы ограничений этих переменных  $r_{f,k}^{\max}$ :

В связи с чем, решение для данной задачи может показаться тривиальным. Но с учетом ограничений, поведение которых зависит от заданных констант, решение можно найти только с применением поисковых алгоритмов глобальной оптимизации.

Вид функций ограничений совпадает с видом целевой функции, т.е. они являются дробно-рациональными функциями и их графики также неравносторонние гиперболы. Но для функций ограничений эти графики являются гиперболами только при положительных  $x_{f,k}$  (рисунок 3).

Функции ограничений  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{f,k})$  имеют один и тот же вид, но при изменении переменных на одну и ту же величину  $x_{f,k}$ , функции  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{f,k})$  принимают различные значения. Это обусловлено заданными элементами матрицы учебной нагрузки  $Q_{k,j}$ , на основе которой в каждой из функций происходит пересчет вычисляемых констант  $\xi_{f,k,j}$ .

Поскольку элементы матрицы  $Q_{k,j}$  принимают разные значения, в том числе и нулевые, то изменение одного из  $x_{f,k}$  может и не привести к изменению значения функции  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{f,k})$ , а может, при одном и том же изменении  $x_{f,k}$ , привести к разным значениям функций для разных  $j$ . Пример такой зависимости функций  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{f,k})$  от переменных  $x_{f,k}$  приведен на рисунке 4. На рисунке 4 представлена диаграмма зависимости нагрузки кафедр от коэффициентов приведения для обучающихся по очной форме. За исходное состояние нагрузки были приняты следующие значения параметров:  $x_{1,k} = 10,0$ ,  $k = \bar{1}, \bar{5}$ . На диаграмме показан прирост  $j$ -ых функций  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{1,k})$  в зависимости от прироста значений  $x_{1,k}$ , где  $k = \bar{1}, \bar{5}$ :

$$\Delta_j^{Q_{k,j}} = f_j^{Q_{k,j}}(x_{1,k}) - f_j^{Q_{k,j}}(x_{1,k+1}), \quad k = \bar{1}, \bar{5} - \bar{1}. \quad (2)$$

Таким образом, при увеличении  $x_{1,1}$  на 3 единицы, происходит увеличение функций  $f_j^{Q_{k,j}}(x_{1,k})$  с индексами 1-6, 16, 27, 31-35, 37, 39, 50-57, но на разную величину. На диаграмме этот прирост выделен темной сплошной заливкой. Аналогично на диаграмме изображены приросты функций в зависимости от  $x_{1,k}$ , где  $k = \bar{2}, \bar{5}$ . Отсюда можно сделать вывод, что при рассмотрении сразу всех функций ограничений в совокупности, они образуют такую границу на области определения целевой функции, которая имеет несколько локальных экстремумов и один глобальный (рисунок 5).

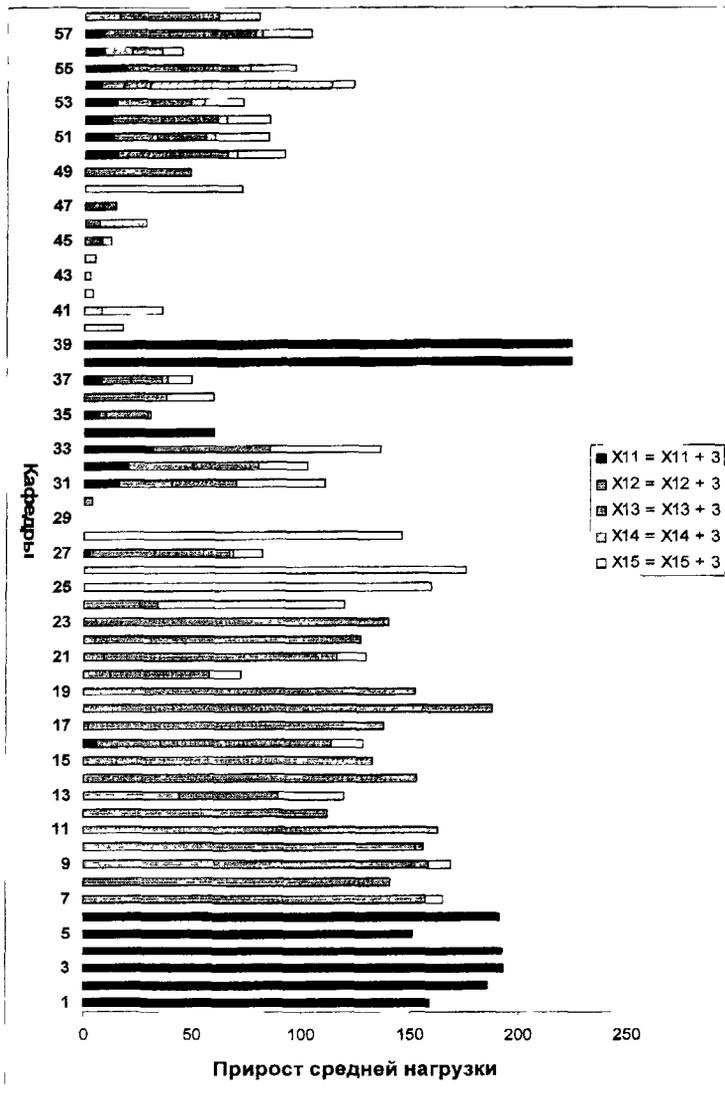
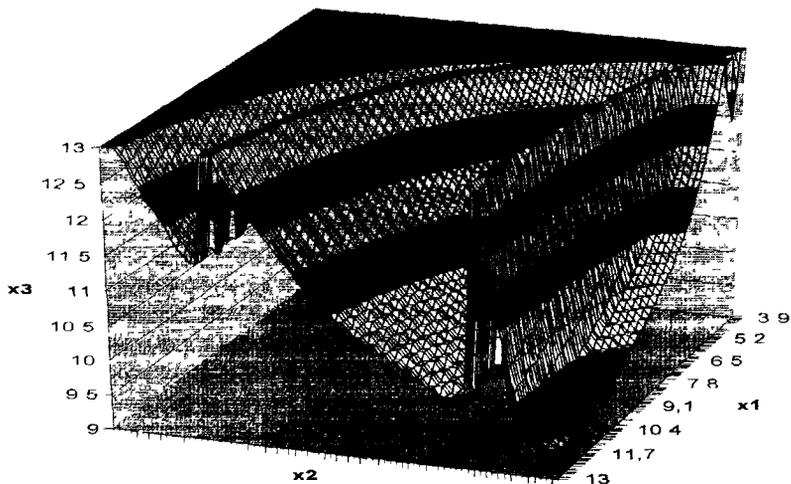


Рисунок 4 — Диаграмма изменения нагрузки кафедр в зависимости от изменения коэффициента приведения

Рассматриваемая задача была решена тремя алгоритмами глобальной оптимизации. Один из используемых алгоритмов глобального поиска – генетический алгоритм. Для решения задачи генетическим алгоритмом была разработана программная система, реализующая этот алгоритм. Эксперименты поиска решений показали устойчивое схождение к глобальному экстремуму, но время решения задачи этим алгоритмом было относительно велико

Два других алгоритма – «глобальная оптимизация методом усреднения координат» и алгоритм, встроенный в офисную программу MS Excel, показывают достаточно хорошие результаты при решении данной задачи, а именно относительно небольшое время решения задачи и достаточно точное нахождение глобального экстремума. Для решения задачи алгоритмом глобальной оптимизации методом усреднения координат был использован компонент программной системы "Global Optimizer v1.0".



**Рисунок 5 — График срезов трех функций ограничений по трем переменным**

В данной главе были проведены исследования на применимость разработанных моделей в системе кредитов. В системе кредитов нагрузка преподавателей и кафедр, а также успеваемость студентов оценивается в кредитах, что позволяет провести аналогию измерения нагрузки в системе образования, использующейся сегодня в вузах РФ. Элементы матрицы поручаемой нагрузки  $Q_{k,j}$ , могут быть представлены в виде кредитов. Поскольку матрица  $Q_{k,j}$  используется как исходные данные в модели оптимизации, то можно утверждать, что разработанная модель может быть использована для распределения ресурсов в вузах, начинающих внедрять систему кредитов, или уже внедривших ее.

**В четвертом разделе** описывается методика формирования штатов на основе разработанных моделей оптимизации с применением базовой квалификационной матрицы. Методика включает в себя пять этапов:

- 1) Распределение ставок на специальности пропорционально приведенному контингенту студентов. Ставки по квалификациям здесь не ранжируются.
- 2) Передача ставок специальностями на кафедры пропорционально поручаемой нагрузке. Определяется количество переданных ставок для каждого вида нагрузки.

3) Расчет квалификационных ставок необходимых для выполнения порученной нагрузки на каждой кафедре.

4) Расчет средней нагрузки преподавателя на каждой кафедре. Если ее значение превышает нормативное, принимаются решения по снижению этого значения.

5) Распределение реальных квалификационных ставок по кафедрам, с учетом реальных потребностей кафедр в ставках каждой из квалификаций и с учетом профессорско-преподавательского состава кафедр.

Разработанная методика сравнивалась с методикой распределения штатов применяемой в КГТУ на основе реальных исходных данных. Для нахождения оптимального решения в одной и другой методики варьируют нормативным коэффициентом приведения, который показывает число студентов на одного преподавателя. На рисунке 6 изображены значения средних нагрузок кафедр, в зависимости от минимального и максимального значения нормативного коэффициента приведения.

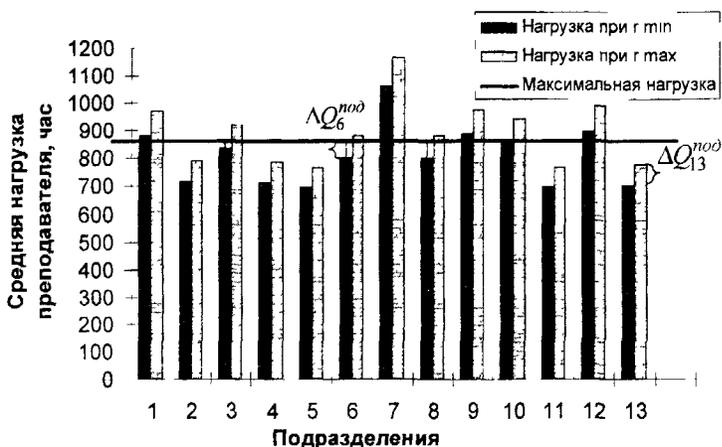


Рисунок 6 — Диаграмма средних нагрузок кафедр, соответствующих нижней и верхней границам коэффициентов приведения

Нижняя граница средних нагрузок определяется такими нормативными коэффициентами приведения  $r_f^{\min}$ , при которых общее число ставок будет стремиться к числу ставок выделенных Министерством. С другой стороны  $r_f^{\max}$ , которое устанавливается вузом, определяет верхнюю границу средних нагрузок. Однако существует ограничение на максимальную среднюю нагрузку преподавателя (на рисунке это сплошная горизонтальная линия). Даже при минимальных значениях  $r_f$  (определяемых министерством) существуют такие подразделения, которые нуждаются в дотации. В приведенном примере это подразделения, для которых столбцы со сплошной заливкой пересекаются с линией максимальной средней нагрузки (подразделения с номерами 1, 7, 9 и 12). Для дотирования этих подразделений необходимы факультеты доторы. Для этого в вузе официально принимаются нормативные коэффициенты, соответствующие максимально допустимым значениям. Средняя нагрузка на кафедрах для максимального нормативного коэффициента изображена столбцами

без сплошной заливки. При этом количество дотационных подразделений возрастает (в приведенном примере добавляются подразделения 3, 6 и 8), но и высвобождается необходимое количество ставок, достаточное для покрытия потребностей нагрузок при максимальном и минимальном коэффициенте приведения дотационных подразделений. Количество дополнительных ставок, высвобождаемых каким-либо подразделением – донором определяется разностью  $\Delta Q_k^{nod}$  (например,  $\Delta Q_6^{nod}$  и  $\Delta Q_{13}^{nod}$  на рисунке 6). То есть происходит формирование дополнительного резерва, который можно использовать для дотационных подразделений.

При решении этой задачи с использованием разработанной методики, нагрузка на кафедрах выравнивается автоматически (рисунок 7 и 8).

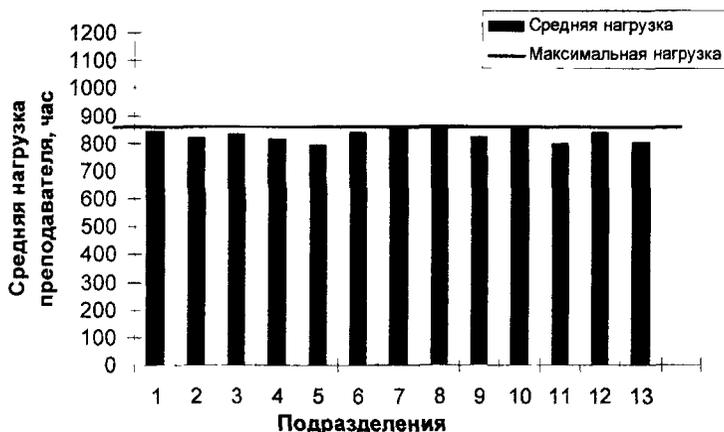


Рисунок 7 — Средние нагрузки кафедр после решения задачи оптимизации



Рисунок 8 — Средние нагрузки кафедр после решения задачи оптимизации при расширенном диапазоне  $x_f$

К преимуществам данной методики можно отнести следующее: 1) применяется модель оптимизации, в которой штаты выделяются специальностям, а для ранжирования штатов по квалификациям преподавателей используется базовая квалификационная матрица; 2) методика позволяет распределить штаты так, что общее число ставок необходимых для учебного процесса становится минимальным и за счет этого формируется максимально возможный резерв; 3) нагрузка на кафедрах выравнивается и не превышает допустимых пределов.

### Заключение

Полученные результаты позволяют сделать заключение, что поставленные задачи решены и цель диссертационного исследования достигнута.

На основе рассмотрения проблемной области выявлено отсутствие комплексного математического описания процесса формирования штатов ППС вуза, научно обоснованных формальных показателей его эффективности, а также самой постановки задачи оптимизации управления этим процессом, что в совокупности породило научную проблему.

Системный анализ учебной деятельности нескольких вузов позволил выделить общие для них свойства, которые были учтены затем при разработке математических моделей: 1) ресурсы выделяются на специальности по величине контингента обучающихся, что обусловлено политикой государственных органов, а кафедрам передаются по величине нагрузки, что обусловлено необходимостью перераспределения ресурсов внутри вуза; 2) ресурсы (штаты и соответствующие им финансы) разделяются на бюджетную и контрактную составляющие; 3) модели распределения ресурсов для бюджетной и контрактной составляющих могут различаться; 4) для кафедр вместе с поручаемой нагрузкой штаты передаются с учётом формальной квалификации преподавателей и видов учебной нагрузки.

Разработано несколько процедур формирования штатного расписания кафедр, включая финансовые расчёты. Выполненная формализация процесса формирования штатов позволила сформулировать соответствующие математические постановки задачи оптимизации с различными показателями эффективности. В одной из них введена и применена *базовая квалификационная матрица* (БКМ), содержащая весовые показатели распределения нагрузки различного вида среди ППС различной квалификации и являющаяся удобным инструментом формализации политики руководства в этом отношении. Предложен и реализован один из способов расчёта элементов БКМ с использованием актуальных данных кафедр.

Предложено использовать три показателя оценки организации учебного процесса с точки зрения кадрового обеспечения: 1) отклонение средней нагрузки преподавателя кафедры от средней по вузу; 2) качество кадрового обеспечения, которое выражается в оценке ППС кафедр с использованием БКМ, 3) эффективность использования фонда оплаты труда, под которым понимается отклонение фонда оплаты труда кафедр и средней стоимости часа от оптимальных значений, полученных путем расчёта с применением БКМ. Рассмотренные практически примеры применения введённых показателей показывают, что они являются достаточно представительными и могут быть использованы при управлении учебным процессом на кафедрах и в вузе в целом, а также при мониторинге качества образовательного процесса.

Исследование моделей оптимизации показало, что наложение ограничений, сложность которых определяется матрицей поручаемых нагрузок, на монотонные целевые функции порождает многокритериальную поверхность отклика, для которой выбран класс поисковых алгоритмов глобальной оптимизации.

На основе полученных теоретических результатов разработан программный компонент системы поддержки принятия решений, позволяющий в любой момент времени получать всю необходимую информацию для принятия управленческих решений в процессе формирования штатов и распределения резерва. Этот программный компонент внедрён в Красноярском государственном техническом университете и используется для автоматизированного формирования штатов профессорско-преподавательского состава кафедр при взаимодействии с действующей АИС "Учебное планирование".

В связи с переходом в перспективе на новую систему исчисления трудоёмкости освоения студентом образовательной программы проанализирована совместимость разработанных моделей и методик формирования штатов ППС с вводимой системой кредитов и показано, что разработанные в диссертации модели и методики применимы и для новой системы.

#### **Публикации автора по теме диссертации**

1 **Якунин, Ю. Ю.** Модель распределения бюджетных и внебюджетных ресурсов по кафедрам в вузе / М. А. Воловик, В. М. Журавлёв, Ю. Ю. Якунин // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: НИИ ИПУ, 2003. — Вып. 9. — С. 260—266.

2 **Якунин, Ю. Ю.** Модель распределения ресурсов в вузе / Ю. Ю. Якунин, М. А. Воловик // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. — Красноярск: НИИ ИПУ, 2004. — Вып. 10. — С. 101—104.

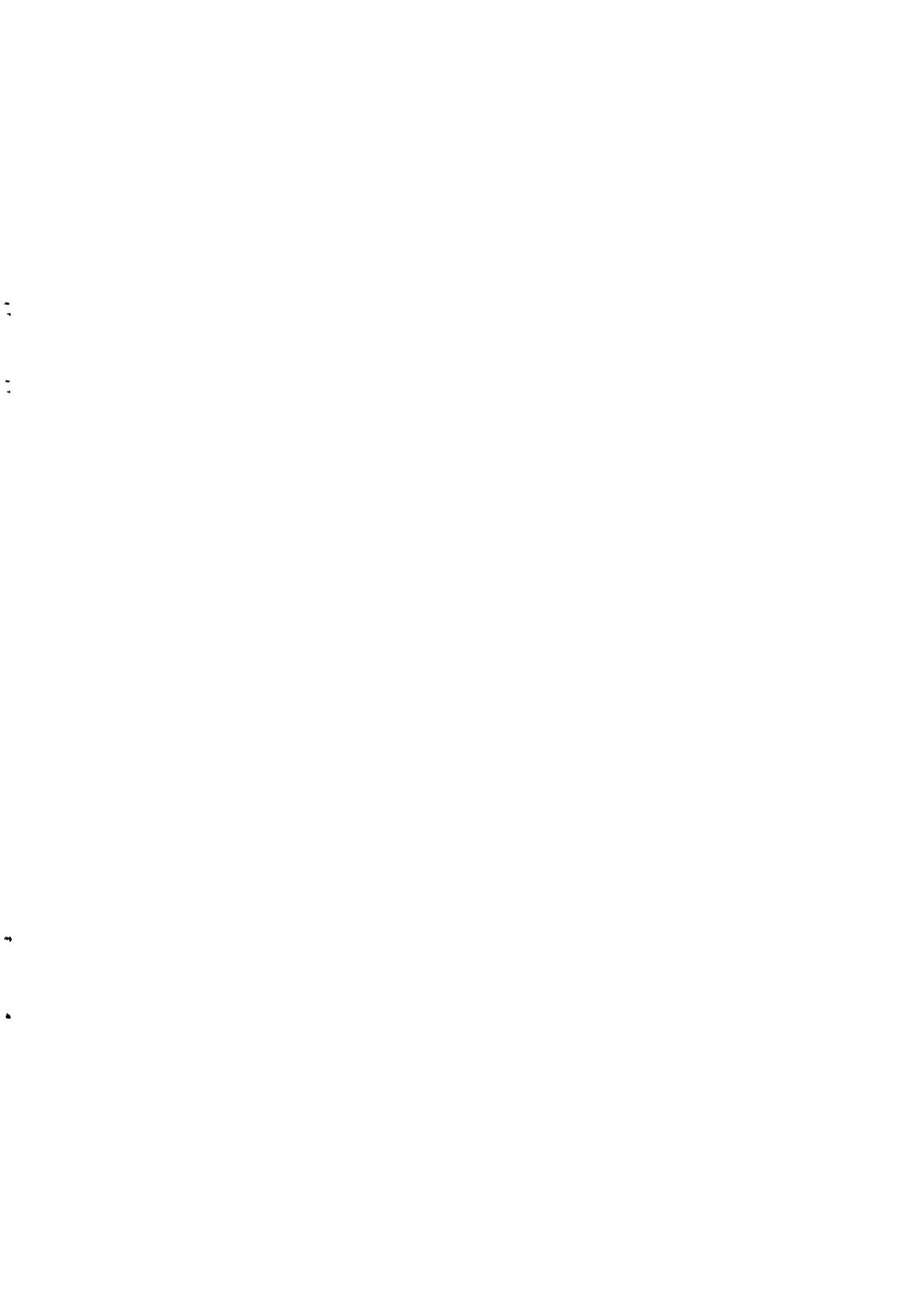
3 **Якунин, Ю. Ю.** Показатели эффективности распределения штатов и нагрузки на кафедры / Ю. Ю. Якунин, М. А. Воловик, А. М. Даничев // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. — Красноярск: НИИ ИПУ, 2004. — Вып. 10. — С. 105—113.

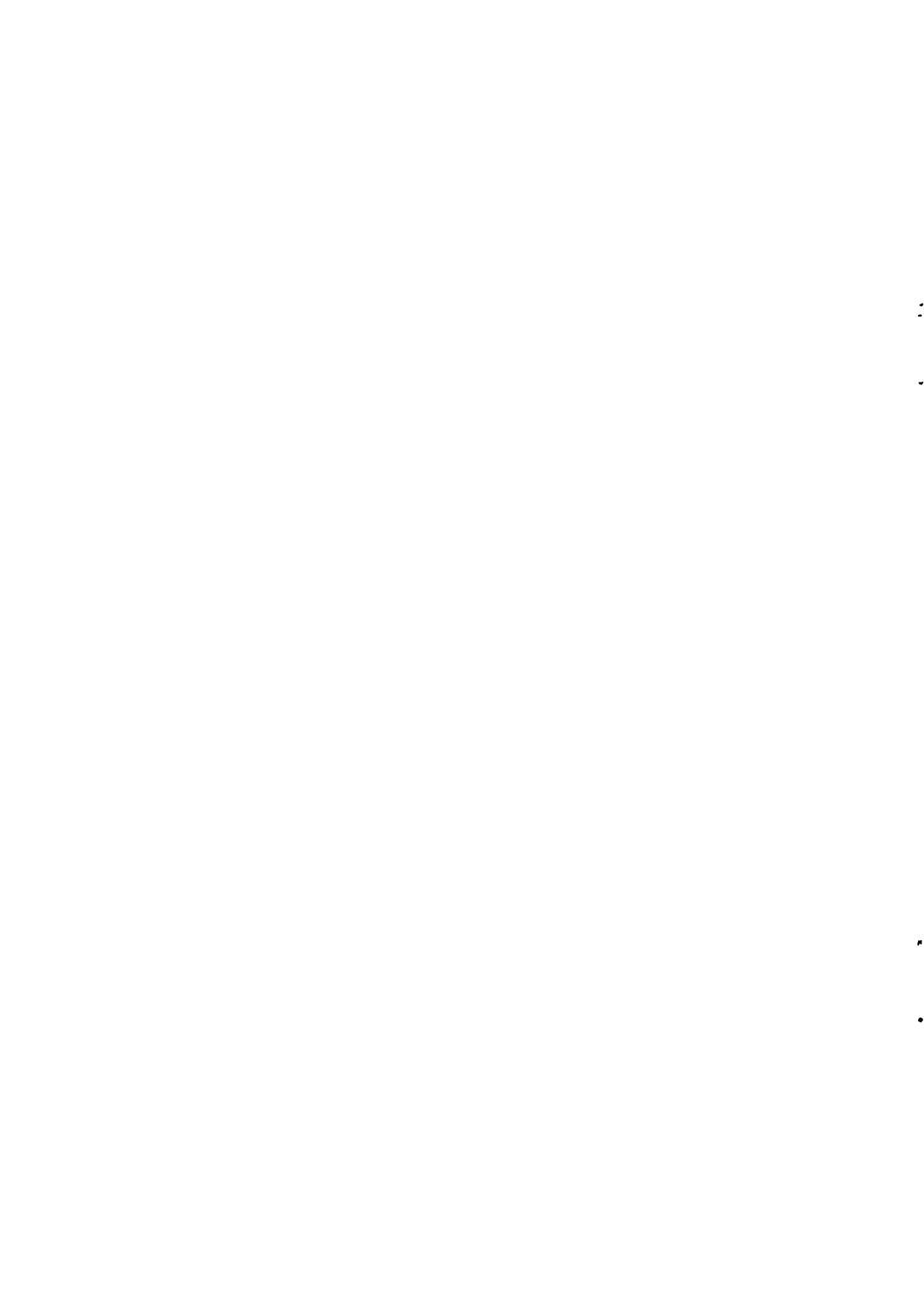
4 **Якунин, Ю. Ю.** Распределение ресурсов по специальностям подготовки с применением базовой квалификационной матрицы / Ю. Ю. Якунин, М. А. Воловик, А. М. Даничев // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. — Красноярск: НИИ ИПУ, 2004. — Вып. 10. — С. 114—123.

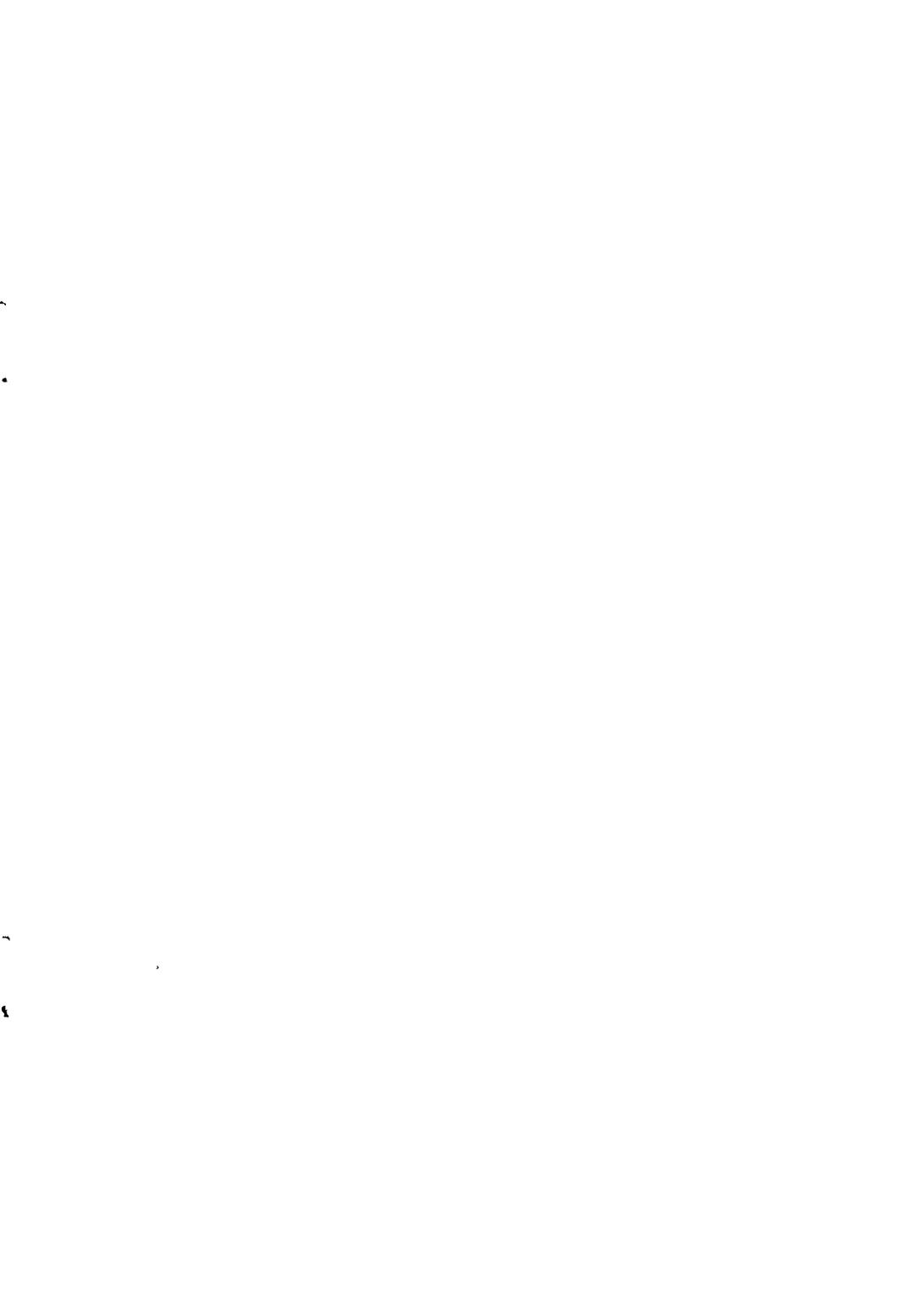
5 **Якунин, Ю. Ю.** Распределение ресурсов с учетом ограничений средней нагрузки преподавателей на кафедрах / Ю. Ю. Якунин, М. А. Воловик // Информатика и системы управления: межвуз. сб. науч. тр. — Красноярск: НИИ ИПУ, 2004. — Вып. 10. — С. 124—132.

6 **Якунин, Ю. Ю.** Система поддержки принятия решений при распределении финансовых ресурсов в образовательном процессе вуза / М. А. Воловик, А. М. Даничев, В. М. Журавлёв, П. Е. Константинов, Ю. Ю. Якунин // Отраслевой фонд алгоритмов и программ. №4428, госрегистрация №50200500283, 2005.

Отпечатано в ИПЦ КГТУ Тираж 100 экз Заказ 558/2  
660074, Красноярск, ул Киренского, 28







**№ 10578**

РНБ Русский фонд

2006-4

9212