

На правах рукописи



003 167644

Рубцов Олег Геннадиевич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ  
РАСПИСАНИЯ ЭКЗАМЕНОВ ВУЗА**

Специальность 05.13 18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Oleg Rubtsov'.

Саратов 2008

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Саратовский государственный  
технический университет»

- Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент  
Клеванский Николай Николаевич
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Кушников Вадим Алексеевич
- доктор физико-математических наук,  
профессор  
Железовский Борис Емельянович
- Ведущая организация - ООО «Информационные бизнес-системы»  
(г Москва)

Защита диссертации состоится 12 марта 2008 г на заседании  
диссертационного совета Д 212.242 08 при ГОУ ВПО «Саратовский  
государственный технический университет» по адресу: 410054, г Саратов,  
ул Политехническая, 77, корп. 1, ауд 319

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической  
библиотеке ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический  
университет»

Автореферат разослан «11» февраля 2008 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А А Терентьев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования** Формирование расписаний, то есть упорядоченных во времени и в пространстве различных видов целенаправленных действий, является типичной задачей планирования работы промышленных предприятий, административных организаций, учебных заведений и т д

Под математической моделью теории расписаний понимается математическое описание некоторого управляемого производственного, организационного технологического процесса, в котором определено множество допустимых управлений (расписаний) этого процесса Основным критерием оптимальности для задач теории расписаний является протяженность во времени некоторого дискретного процесса Целью решения большинства задач теории расписаний является минимизация времени выполнения данного процесса Классическими для теории расписаний задачами являются задачи сетевого планирования и календарного (В С Танаев, В С Гордон, Я М Шафранский, Д Конвей, С Максвелл, К Миллер)

К задачам формирования расписаний относятся задачи на формирование временных таблиц (timetabling-задачи) и задачи распределения пакетов информации в информационных сетях (Packet routing-задачи) К timetabling-задачам относят задачи формирования расписаний вузов, транспортные расписания и т д Существенным отличием timetabling-задач от классических задач теории расписания является фиксированная величина интервала времени, в котором необходимо распределить процессы

Timetabling-задачи, как правило, не могут быть решены точными методами Для решения таких задач используются различные эвристические алгоритмы (E Burke, Y Вуков и др )

Процесс формирования расписания экзаменов является многоэтапным На первом этапе на основе учебных поручений, включающих дисциплину, студенческий контингент, преподавателя, и ряда ограничений формируется начальное расписание экзаменов На втором этапе осуществляется оптимизация начального расписания На третьем этапе может проводиться локальная корректировка расписания для конкретных подразделений вуза (факультетов, специальностей, кафедр и т д )

Получаемое на каждом этапе расписание экзаменов должно быть непротиворечивым, т е соответствовать обязательным ограничениям, и учитывать требования к качеству, т е соответствовать желательным ограничениям Количество и качество желательных ограничений влияют на возможность и трудоемкость получения решения В соответствии с работами ряда авторов (И И Морковин, Э А Мухачева, А А Овчинников, E Zitzler, Y Вуков) будем рассматривать проблему формирования расписания экзаменов как многокритериальную

Задача формирования расписания экзаменов имеет существенные отличия по сравнению с задачами формирования расписания занятий, рассмотренными в диссертационных работах Е.А. Макаровой и С.А. Костиной

К этим отличиям относятся

– обязательность включения «пауз» между экзаменами группы, тогда как при формировании расписаний занятий отсутствие «окон» между занятиями является одним из видов желательных ограничений;

– повышение в полтора-два раза количества расставляемых в расписании событий по сравнению с задачей формирования расписания учебных занятий.

Кроме того, в работах по автоматизированному формированию расписания экзаменов недостаточно учтены требования интегрированных систем управления учебным процессом. Изложенное определило актуальность данной работы, целью которой являются разработка, исследование и реализация математической модели и многокритериальных методов формирования и оптимизации расписания экзаменов в интегрированной системе управления учебным процессом вуза

В соответствии с целью в диссертации поставлены следующие задачи.

- 1) разработка математической модели и методов формирования и оптимизации расписания экзаменов вуза с использованием критериев загрузки ресурсов и критериев равномерности,
- 2) разработка метода визуального моделирования информации в задаче формирования расписания экзаменов,
- 3) анализ характеристик разработанных алгоритмов и методов,
- 4) реализация и практическое применение предложенных алгоритмов формирования расписания экзаменов в виде программного обеспечения, позволяющего автоматизировать решение задачи формирования расписания экзаменов

**Объект исследования** – расписание экзаменов вуза

**Предмет исследования** – формирование начального расписания экзаменов вуза и его многокритериальная оптимизация

**Методологическая и теоретическая основа исследования.** В диссертационной работе использован математический аппарат теории множеств, теории графов, исследования операций, общей теории расписаний.

В работе использованы методы системного анализа, статистики, оптимизации, компьютерной графики

### **Научная повизна исследования состоит в следующем:**

- разработан метод формирования начального расписания экзаменов для интегрированных систем управления учебным процессом вуза с применением критерия загруженности учебных поручений В отличие от существующих подходов предлагаемый метод использует централизованную базу данных вуза, в рамках которой автоматически формируются учебные поручения для проведения экзаменов. Критерии загрузки учебных поручений рассчитываются при каждом включении очередного экзамена в расписание сессии Выбор очередного учебного поручения для его включения в расписание осуществляется на основании максимального значения критерия загруженности поручения,
- предложен метод визуального представления расписания экзаменов в виде круговой диаграммы Круговая диаграмма впервые используется для анализа и проверки соответствия расписания обязательным и желательным ограничениям;
- введены критерии равномерности экзаменов и расписания, отличающиеся тем, что отражают качественные характеристики всего расписания в целом, и влияние каждого экзамена в расписании группы и в составе конкретного таймслота сессии. Критерий равномерности экзаменов группы связан с обеспечением равномерности интервалов между экзаменами. Критерий равномерности экзаменов в таймслоте связан с обеспечением равного количества экзаменов в период сессии;
- разработан метод многокритериальной оптимизации начального расписания экзаменов. Метод основан на разработанной автором концепции равномерности распределения экзаменов групп, таймслотов и всего расписания Оптимизация начального расписания основана на последовательном выборе экзамена для перестановки по максимальному значению мультипликативного критерия равномерности экзамена. Возможность перестановки определяется соблюдением Парето-ограничений

### **На защиту выносятся:**

- модель и методы формирования и оптимизации начального расписания экзаменов вуза с использованием критериев загруженности ресурсов и критериев равномерности,
- метод визуального представления информации в задаче формирования расписания экзаменов,
- программное обеспечение, формирующее расписание экзаменов вуза

**Практическая значимость** диссертационного исследования состоит в том, что представленные модель, методы и алгоритмы могут быть использованы при разработке и практической реализации подсистем автоматизи-

рованного формирования расписаний экзаменов для интегрированных систем управления учебным процессом вуза

**Апробация результатов исследования.** Предложенные в диссертации модели, методы и алгоритмы были использованы при разработке и практической реализации информационных систем управления учебным процессом вуза. Предложенные методы внедрены в Саратовской государственной академии права и Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова.

Основные результаты работы докладывались на XVI и XVII Международных конференциях «Информационные технологии в образовании» в 2006 и 2007 гг.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе одна в издании, рекомендованном ВАК РФ

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложенных на 105 страницах, в том числе 18 рисунков, списка использованной литературы, включающего 83 наименования

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** определена цель работы, обоснованы актуальность, научная новизна и практическая ценность результатов диссертационной работы. Содержатся сведения об апробации и внедрении результатов, обоснована их практическая значимость. Раскрывается структура работы и приводится краткое содержание основных разделов, а также основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе**, носящей обзорный характер, даются анализ состояния и развернутая постановка проблемы. Рассматриваются известные методы формирования начального расписания экзаменов и его оптимизации. Анализируются существующие подходы к формализации, точные и эвристические алгоритмы генерации расписаний, основанные на общей теории расписаний, теории графов, теории множеств, математическом программировании, искусственном интеллекте.

На основе выполненного в первой главе анализа были сделаны следующие выводы

1. Формирование и оптимизация расписания экзаменов на основе данных реального высшего учебного заведения невозможны с помощью точных методов, т.к. обе задачи относятся к классу NP-полных задач. Как правило, используются различные эвристические алгоритмы

2. Не отражены результаты исследований по разработке методов и алгоритмов для решения задачи формирования расписания экзаменов вуза и его последующей оптимизации с применением многокритериальных подходов, использующих критерии

3 Недостаточно исследованы решения задачи формирования расписания экзаменов в составе интегрированной системы управления учебным процессом вуза на основе централизованной базы данных

Во второй главе рассмотрены разработка и исследование математической модели формирования расписания экзаменов вуза, дается общая постановка задачи. Описаны разработанный метод и алгоритм формирования начального расписания с использованием критериев загрузки и алгоритм последующей оптимизации сформированного начального расписания. Рассмотрен метод графической визуализации информации в задаче формирования расписания экзаменов

Математическая модель формирования расписания экзаменов включает: входные данные, требования и ограничения, накладываемые на задачу, критерий равномерности и методы формирования начального расписания экзамена и его оптимизации

**Входные данные.** К основным элементам входных данных для формирования расписания экзаменов относятся следующие

**1. Учебное поручение** – задание кафедре на проведение экзамена в потоке, группе или подгруппе. Такое задание определяет студенческий контингент, конкретную дисциплину и требование к аудитории, если данный экзамен требует специализированной аудитории. В вузах, где учебная нагрузка кафедр распределяется до формирования расписаний, формируются учебные поручения преподавателей кафедр. Учебное поручение преподавателя кафедры по сравнению с учебным поручением кафедры включает ссылку на конкретного преподавателя.

Учебные поручения, используемые в предлагаемых методах формирования расписания экзамена и его оптимизации, генерируются автоматически в рамках интегрированной системы управления учебным процессом вуза на основе индивидуальной нагрузки преподавателей

**2. Таймслот** – это интервал времени для приема экзамена, обычно соответствующий смене в определенный день одной из трех недель сессии. Таймслот является элементом множества декартового произведения трех сущностей: недели, дня и смены. Таким образом, таймслот однозначно определяет временной интервал, в котором должно быть выполнено учебное поручение для приема экзамена

**3. Аудитории** – множество доступных для приема экзаменов аудиторий.

Формирование начального расписания экзаменов завершено, если каждому учебному поручению поставлены в соответствие.

- время, т.е. таймслот;

- место – требуемая по учебному поручению или выбираемая программно аудитория

В формализованном виде эти элементы представлены соответствующими множествами:

$$D = \{d_j | j = 1, \dots, J\} \text{ - множество дисциплин.}$$

$P = \{p_l | l = 1, \dots, L\}$  – множество преподавателей, принимающих экзамены

$$X = \{x_m | m = 1, \dots, M\} \text{ - множество групп сдающих экзамены.}$$

$Y = \{y_n | n = 1, \dots, N\}$  – множество подгрупп сдающих экзамены. В ряде случаев группы разбивают на подгруппы для сдачи экзаменов. Это, в первую очередь, может быть связано со спецификой дисциплины или спецификой организации учебного процесса

Множество групп и множество подгрупп охватывают все виды контингента студентов, участвующих в экзаменационной сессии. Введем следующее множество.

$$Z = X \cup Y \quad Z = \{z_o | o = 1, \dots, O\} \text{ - студенческий контингент.}$$

$$T = \{t_p | p = 1, \dots, P\} \text{ - множество таймслотов}$$

$$A = \{a_k | k = 1, \dots, K\} \text{ - множество учебных аудиторий.}$$

$$E = \{e_i | i = 1, \dots, I\} \text{ - множество учебных поручений.}$$

Конкретное учебное поручение на прием экзамена можно представить как функцию параметров дисциплины, студенческого контингента, преподавателя.

$$e_i = e(d_j, z_o, p_l),$$

при условии, что  $d_j \in D, z_o \in Z, p_l \in P$

В процессе формирования расписания экзаменов каждому элементу множества учебных поручений назначаются в соответствие один из элементов множества таймслогов и один из элементов множества доступных аудиторий. В результате получается отношение, являющееся элементом множества экзаменов  $\Omega$  в расписании

$$\Omega_i = \Omega(e_i, t_p, a_k) = \Omega(d_j, z_o, p_l, a_k, t_p). \quad (1)$$

#### **Ограничения, накладываемые на задачу.**

Непротиворечивость сформированного начального расписания экзаменов является единственным критерием возможности его существования. Понятие непротиворечивости означает, что в расписании нет неразрешенных конфликтов, то есть ситуаций, когда разные экзамены в одном и том

же таймслоте расписания требуют одинаковых ресурсов (аудитория, студенческий контингент, кафедра или преподаватель) Для непротиворечивости расписания экзаменов достаточно того, чтобы при формировании расписания были соблюдены так называемые **обязательные ограничения** (в зарубежной литературе - *hard-constraints*), которые для случая учебных поручений преподавателей будут иметь следующий вид

1 Если предусматривается сдача экзамена по дисциплине всей группой студентов, то данная группа не может находиться более чем на одном экзамене в одно и то же время В ситуации, когда группа разбивается на подгруппы, сдающие экзамен в разных аудиториях разным преподавателям, ограничение будет следующим ни одна подгруппа не может находиться более чем на одном экзамене в одно и то же время

$$\forall z_o \in Z, \forall t_k \in T, \forall d_i \in D, \forall d_j \in D$$

$$(d_i \neq d_j) \Leftrightarrow \Omega(d_i, z_o, p, a, t_k) \neq \Omega(d_j, z_o, p, a, t_k) \quad (2)$$

2 Ни один преподаватель не может принимать более одного экзамена одновременно

$$\forall p_l \in P, \forall t_k \in T, \forall d_i \in D, \forall d_j \in D$$

$$(d_i \neq d_j) \Leftrightarrow \Omega(d_i, z, p_l, a, t_k) \neq \Omega(d_j, z, p_l, a, t_k) \quad (3)$$

3 Ни в одной аудитории не может приниматься более одного экзамена одновременно

$$\forall a_p \in A, \forall t_k \in T, \forall d_i \in D, \forall d_j \in D,$$

$$(d_i \neq d_j) \Leftrightarrow \Omega(d_i, g, p, a_p, t_k) \neq \Omega(d_j, g, p, a_p, t_k) \quad (4)$$

Очевидно, что каждое обязательное ограничение служит для предотвращения возможного конфликта по назначению ресурса событию в расписании

К обязательным ограничениям отнесено также требование

4 Ни один преподаватель не может принимать более одного экзамена в день

При формировании начального расписания экзаменов учитываются следующие **желательные ограничения** (в зарубежной литературе - *soft-constraints*) при определении таймслота и аудитории для экзамена

- 1 Обеспечение равномерности распределения экзаменов каждой группы в период сессии
- 2 Обеспечение равномерности распределения экзаменов в таймслотах сессии

Первое ограничение связано с необходимостью обеспечения равномерных интервалов между экзаменами каждой группы на протяжении сессии Второе ограничение связано с рациональным использованием аудиторного фонда

### Критерий загрузки учебного поручения.

Каждое из множества учебных поручений  $E = \{e_i, i = 1, \dots, I\}$  можно оценить, и е поставить ему в соответствие критерий загрузки.

$$\nu^i = K_x \times K_p \times K_l \times K_y, \quad (5)$$
$$0 \leq K_x, K_p, K_l, K_y \leq 1,$$

где  $K_x, K_p, K_l$  - частные критерии загрузки группы, преподавателя и аудитории, рассчитываемые следующим образом.

$$K_l = \frac{a_1^i - a_2^i}{a^T - a_2^i}, \quad (6)$$

где  $a_1^i$  - количество запланированных ресурсов экзаменов на период сессии,

$a_2^i$  - количество включенных в расписание экзаменов ресурса;

$a^T$  - количество таймслотов сессии

Множество учебных поручений включает два подмножества, для которых значения частных критериев загрузки аудитории определяются различным образом

1. Учебные поручения с требуемыми аудиториями, например, дисплейные классы для приема экзаменов по программированию. Для них критерий загрузки аудитории определяется выражением (6).

2. Учебные поручения без требуемых аудиторий. Частный критерий загрузки аудитории для учебных поручений этого подмножества рассчитывается следующим образом:

$$K_A^{null} = \frac{a_1^{null} - a_2^{null}}{a^{null} - a_2^{null}}, \quad (7)$$

где  $a_1^{null}$  - количество учебных поручений без требуемых аудиторий;

$a_2^{null}$  - количество включенных в расписание учебных поручений без требуемых аудиторий,

$a^{null}$  - количество таймслотов всех доступных аудиторий.

Частный критерий учета экзаменов подгрупп  $K_y$

$$K_y = \frac{q_y}{q_{\max}}, \quad (8)$$

где  $q_{\max}$  - максимальное количество подгрупп и групп среди всех учебных поручений,

$q_y$  - количество подгрупп группы

Таким образом, критерий загруженности учебного поручения является мультипликативным обобщенным критерием, включающим частные критерии загруженности группы, преподавателя и аудитории. Значение обобщенного критерия переопределяется по мере включения экзаменов в расписание (рис 1)

Формирование начального расписания экзаменов в предлагаемом методе заключается в последовательном выборе наиболее загруженного учебного поручения, нахождении для него наиболее подходящих таймслота и аудитории с учетом обязательных (2)-(4) и желательных ограничений и переопределении критериев загруженности (5) оставшихся учебных поручений

Соблюдается следующая последовательность действий

1 Рассчитываются критерии загруженности всех необработанных учебных поручений

2. Выбирается наиболее критичное учебное поручение, т.е. учебное поручение с максимальным обобщенным критерием загруженности

3 Выбранному поручению определяются таймслот, то есть временной интервал для проведения экзамена, и аудитория. Таймслот выбирается из определенного для каждой группы диапазона допустимых таймслотов (рис. 2) Эти диапазоны определяются при включении первого учебного поручения группы в расписание

4 Поручение включается в расписание экзаменов

Процесс повторяется для всех необработанных учебных поручений. Первому из обрабатываемых учебных поручений программно назначаются первый таймслот и первая аудитория

При включении в расписание первого экзамена каждой группы выполняются следующие действия

1 Определяется наименее загруженный, удовлетворяющий обязательным ограничениям таймслот

2. Исходя из запланированного количества экзаменов группы определяются предположительные таймслоты для оставшихся экзаменов.

3. Относительно таймслота каждого существующего и предполагаемых экзаменов формируется поддиапазон допустимых таймслотов (рис 2) Данные поддиапазоны используются также в методе оптимизации начального расписания



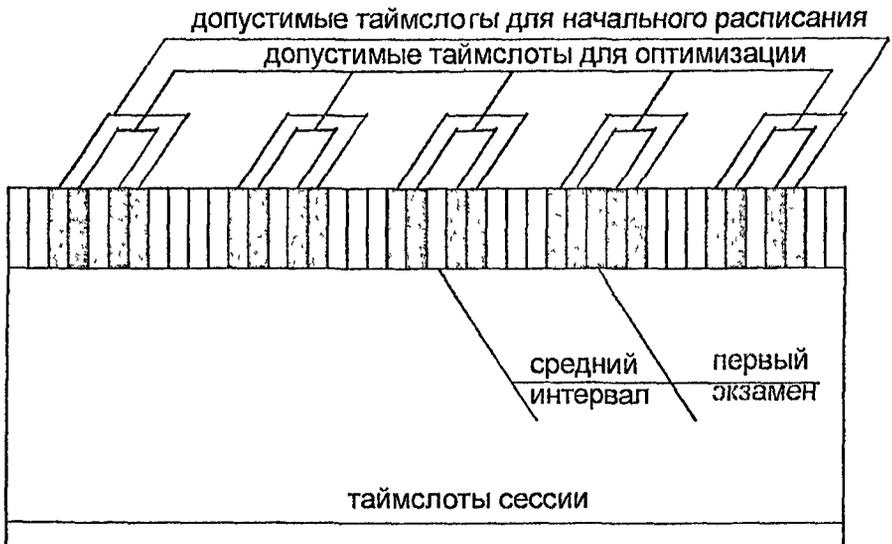
**Рис. 1. Метод формирования начального расписания экзаменов**

При включении остальных экзаменов группы в расписание для каждого из них определяется таймслот с наименьшим количеством экзаменов из диапазона допустимых таймслотов

Результаты формирования начального расписания для одного из тестовых заданий представлены на рис 4,а

Предложен метод визуального представления информации в задаче формирования расписания экзаменов Традиционно информация об экзаменах группы курса факультета представляется в табличной, текстовой форме. Такая форма не совсем удобна для анализа параметров и характеристик расписания Этот недостаток устраняется при использовании круговой диаграммы представления расписания экзаменов (рис 4)

Таймслоты представлены секторами. Группы представлены концентрическими кольцами, внутри которых в соответствующих таймслотах представлены их экзамены Экзамены представлены закрашенными участками. Такая форма представления расписания экзаменов позволяет оценить качество расписания, т.е. его соответствия желательным ограничениям



**Рис. 2. Определение диапазонов допустимых таймслотов для экзаменов группы**

Используемая в работе концепция равномерности распределения экзаменов позволяет оценить качество расписания с помощью критериев равномерности. В представляемой работе равномерность оценивается двумя критериями: критерием равномерности распределения экзаменов для групп в период сессии и критерием равномерности распределения экзаменов в таймслотах сессии.

Равномерность распределения экзаменов группы определяется интервалами между экзаменами в расписании

Критерий равномерности экзамена группы определяется как:

$$K_1 = \frac{L_{e+1} - L_{e-1}}{2 * L_{cp}}, \quad -1 \leq K_1 \leq 1, \quad (9)$$

где  $L_{e+1}$ ,  $L_{e-1}$  - интервалы между текущим и ближайшими экзаменами группы.

$$L_{cp} = \frac{a^i - I}{I}, \quad (10)$$

где  $L_{cp}$  - средний интервал между экзаменами для группы

$I$  - количество экзаменов группы

Критерий  $K_1$  является относительной величиной, а его знак указывает направление требуемого смещения экзамена для улучшения равномерности распределения экзаменов группы в период сессии

Частный критерий равномерности распределения экзаменов групп для расписания определяется суммой абсолютных значений критериев экзаменов

$$K_1^{расн} = \sum_{i=1}^N |K_1^i|, \quad (11)$$

где  $N$  - количество экзаменов групп в расписании

**Равномерность распределения экзаменов по таймслотам** определяется количествами экзаменов в таймслотах расписания, т.е. количествами экзаменов, принимаемых одновременно

$$K_2 = \frac{N^{cp} - N^T}{N^{cp}}, \quad (12)$$

где  $N^{cp}$  - среднее количество экзаменов в таймслоте;

$N^T$  - текущее количество экзаменов в таймслоте.

Критерий  $K_2$  является относительной величиной, а ее знак указывает на необходимость добавления/исключения экзамена в таймслоте. Значение этого критерия присваивается всем экзаменам таймслота

Частный критерий равномерности распределения экзаменов в таймслотах для расписания определяется суммированием абсолютных значений критериев таймслотов.

$$K_2^{расн} = \sum_{i=1}^{a^T} |K_2^i| \times (N^i)^i. \quad (13)$$

В работе представлен метод оптимизации начального расписания экзаменов, использующий введенные критерии равномерности для экзамена (9) и (12) и расписания (11) и (13).

Предлагаемый метод (рис. 3) заключается в последовательном выборе наиболее неравномерно расставленных экзаменов и определении для них вариантов перестановки с учетом Парето-ограничений и обязательных ограничений

Каждый экзамен и все расписание в целом могут быть оценены следующими обобщенными критериями

Обобщенный мультипликативный критерий экзамена рассматривается как произведение абсолютного значения критерия равномерности экзамена группы (9) и критерия равномерности экзамена в таймслоте (12)

$$K^{жж} = |K_1| \times K_2. \quad (14)$$

Обобщенный аддитивный критерий экзамена рассматривается как сумма абсолютного значения критерия равномерности экзамена группы (9) и критерия равномерности распределения экзаменов в таймслоте (12)

$$K^{жж} = |K_1| + |K_2| \quad (15)$$

Обобщенный аддитивный критерий расписания рассматривается как сумма абсолютного значения частных критериев равномерности экзаменов групп (11) и равномерности распределения экзаменов в таймслотах (13).

$$K^{расп} = |K_1^{расп}| + |K_2^{расп}| \quad (16)$$

Начальное расписание экзаменов необходимо оптимизировать при отличной от нуля величине обобщенного критерия расписания (16) Целью оптимизации является получение расписания с наименьшим возможным значением обобщенного критерия расписания  $K^{расп}$ . Получение расписания с  $K^{расп} = 0$  практически невозможно, т.к. невозможно достичь идеальной равномерности распределения экзаменов групп в период сессии (например, в случае нечетного количества экзаменов группы в сессии с четным количеством таймслотов)

На каждой итерации (рис 3)

- 1) производится определение обобщенных критериев равномерности каждого экзамена и всего расписания,
- 2) выбирается наименее равномерно распределенный экзамен, т.е. экзамен с максимальным обобщенным критерием,
- 3) определяется вариант перестановки экзамена, позволяющий уменьшить обобщенный критерий расписания при уменьшении его частных критериев. При определении допустимых для расстановки таймслотов используются интервалы равномерности, определенные для каждой группы в методе формирования начального расписания экзаменов. При этом существенно уменьшаются поддиапазоны допустимых таймслотов – вместо пяти до трех. При поиске решения определяются варианты с уменьшением значения критерия равномерности распределения экзаменов группы для всего расписания. При этом значение критерия равномерности распределения экзаменов по таймслотам не должно ухудшаться. Тем самым достигается оптимальность по Парето,

4) если вариант перестановки найден, то полученный вариант включается в расписание, переопределяются частные и обобщенные критерии экзаменов и расписания и происходит возврат к пункту 1;

5) если вариант перестановки для данного экзамена не найден, то осуществляется переход к пункту 2.

Процесс автоматически продолжается до тех пор, пока будут соблюдаться Парето-ограничения, т.е. до тех пор, пока уменьшение одного из частных критериев расписания происходит при увеличении другого частного критерия

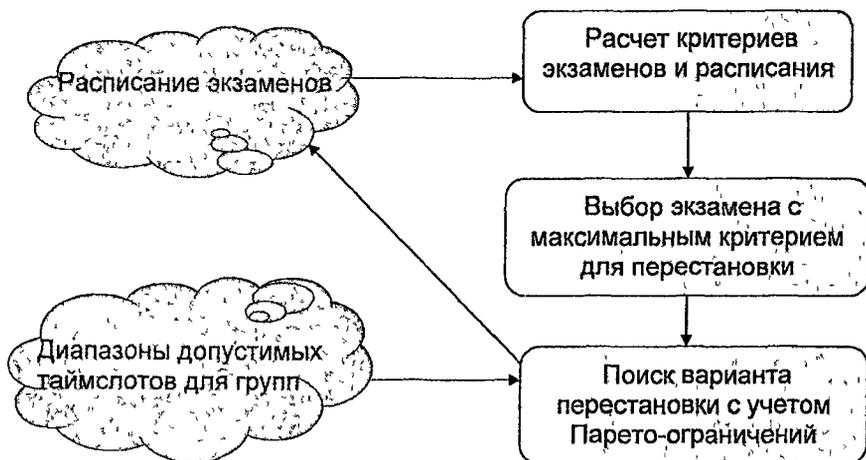


Рис. 3. Алгоритм оптимизации начального расписания экзаменов

Разработанные методы формирования начального расписания и его оптимизации реализованы алгоритмически. Программа основана на инструкциях структурированного языка запросов SQL к централизованной базе данных интегрированной системы управления учебным процессом вуза. Программа позволяет получить оптимизированное расписание в таблично-текстовой форме. Процесс формирования и оптимизации расписания экзаменов полностью автоматизирован.

Это позволяет осуществить решение второй задачи работы

В третьей главе представлены результаты применения разработанного метода формирования начального расписания экзаменов и его многокритериальной оптимизации для различных вариантов начального расписания. Оптимизация расписания производилась с использованием как аддитивных, так и мультипликативных критериев равномерности экзаменов.

Для анализа работы разработанного алгоритма формирования начального расписания экзаменов были сформированы тестовые задания.

Данные тестового задания содержат информацию об учебных поручениях для приема экзаменов в 50 группах пяти курсов факультета дневного отделения. Общее количество учебных поручений составило 250. Продолжительность экзаменационной сессии принята равной 21 дню. Каждый день сессии включает две смены сдачи экзаменов, вследствие чего расчетное количество таймслотов сессии составило 42.

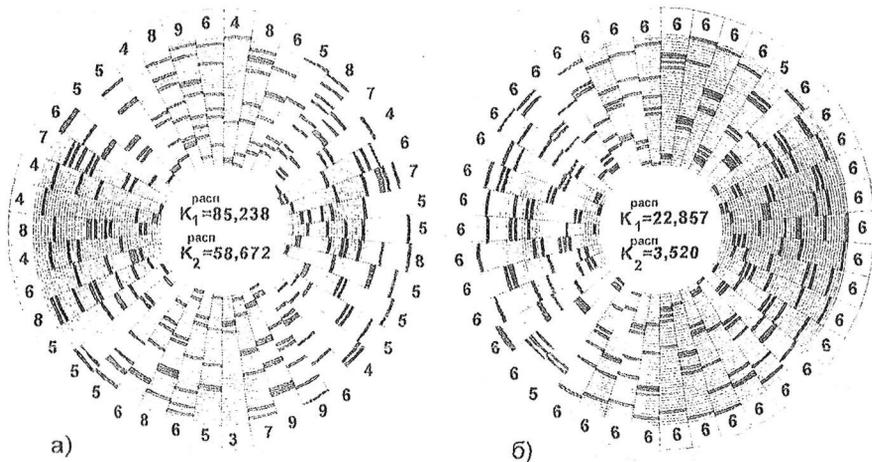
В одном из рассчитанных первоначальных расписаний (рис 4,а) получено, что частные критерии равномерности расписания составляют  $K_1^{расп} = 85,23$  и  $K_2^{расп} = 58,672$ . Многокритериальная оптимизация позволила существенно улучшить равномерность расписания. Значения критериев равномерности расписания для найденного Парето-оптимального варианта составили  $K_1^{расп} = 22,857$  и  $K_2^{расп} = 3,52$  (рис. 4,б). Для указанного тестового задания наибольшее возможное значение критериев составило соответственно  $K_1^{расп} = 162$  и  $K_2^{расп} = 1850$ .

На рис 5 представлены траектории пошагового изменения значений частных критериев равномерности расписания в процессе оптимизации при использовании мультипликативного и аддитивного критериев экзаменов. Полученные результаты свидетельствуют об эквивалентности использования обеих форм критерия равномерности экзаменов.

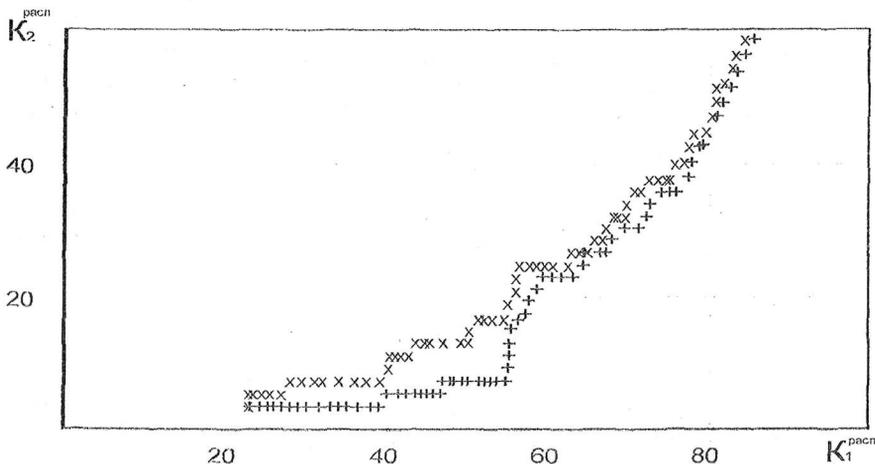
Разработанное программное обеспечение было использовано в Саратовской государственной академии права (СГАП). Исходные данные для формирования расписания сессии дневного отделения включали 629 учебных поручений. Частные критерии равномерности начального расписания, полученного в результате расчета, составили  $K_1^{расп} = 75,84$  и  $K_2^{расп} = 41,87$ .

Некоторые экзамены были фиксированы в расписании в связи с учетом требований преподавателей и руководства кафедр. После оптимизации частные критерии равномерности расписания составили соответственно  $K_1^{расп} = 46,19$  и  $K_2^{расп} = 27,52$ . Наибольшее возможное значение критериев равномерности для данного расписания составило  $K_1^{расп} = 189$  и  $K_2^{расп} = 2230$ .

Таким образом экспериментальная проверка разработанных методов формирования расписания экзаменов показала их эффективность и существенное улучшение равномерности получаемых расписаний.



**Рис 4. Результаты формирования расписания экзаменов:**  
а - начальное расписание; б - оптимальное расписание



- + оптимизация по мультипликативному критерию экзаменов
- x оптимизация по аддитивному критерию экзаменов

**Рис. 5. Изменение критериев равномерности**

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основании анализа имеющихся подходов к решению задач составления оптимального расписания занятий и экзаменов вуза обоснована актуальность создания методов автоматизированного формирования расписаний экзаменов для интегрированных систем управления учебным процессом вуза
2. Предложены математическая модель и метод формирования начального расписания экзаменов с использованием критериев загруженности в функциях выбора учебных поручений. Предлагаемый метод базируется на централизованной базе данных вуза, в рамках которой автоматически формируются учебные поручения для проведения экзаменов, и используются критерии загруженности, учитывающие требования к распределяемым ресурсам
3. Разработана процедура итеративного алгоритма формирования начального расписания экзаменов, базирующаяся на разработанном методе. При этом предусмотрены способы введения дополнительной информации для учета возможных требований преподавателей и руководства
4. Предложен метод оптимизации начального расписания экзаменов, основанный на использовании введенных критериев равномерности. Предложенные критерии равномерности обусловлены спецификой задачи составления расписания экзаменов и требований, накладываемых на задачу
5. Разработанное и внедренное в Саратовской государственной академии права и Московской медицинской академии им. И.М. Сеченова программное обеспечение позволяет полностью автоматизировать процесс формирования расписания экзаменов в составе интегрированной системы управления учебным процессом вуза
6. Разработан метод визуального представления информации в задаче формирования расписания экзаменов в виде круговой диаграммы
7. Проведен анализ разработанных методов с использованием мультипликативных и аддитивных критериев равномерности, показавший эквивалентность применения обоих критериев

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В издании, рекомендуемом ВАК РФ

1. Рубцов О.Г. Модели и методы многокритериальной оптимизации расписаний вуза/ Н.Н. Клеванский, А.А. Пузанов, О.Г. Рубцов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 4 (17). Вып. 2. С.76 – 82.

В других изданиях

- 2 Рубцов О Г Тестовые задания и алгоритмы составления расписания экзаменов / Н Н Клеванский, А В Свиридов, О Г Рубцов // Математические методы в технике и технологиях сб трудов XIX Междунар науч конф Воронеж ВГТА, 2006. С 112 – 114
- 3 Рубцов О Г Использование визуального моделирования в задачах расписания вуза / Н Н Клеванский, О Г Рубцов // ИКТ в управлении образованием XVI Междунар конф «Информационные технологии в образовании» («ИТО-2006») в 6 ч М МИФИ, 2006 Ч V С 39
- 4 Рубцов О Г Использование многокритериальных подходов в задачах управления учебным процессом вуза / Н Н Клеванский, С С Кашин, О Г Рубцов // ИКТ в управлении образованием XVI Междунар конф «Информационные технологии в образовании» («ИТО-2006») в 6 ч М МИФИ, 2006 Ч V С 37-38
- 5 Рубцов О Г Тестовые задания для расписания экзаменов вуза / Н Н Клеванский, О Г Рубцов // Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления VIII Всерос науч конф студентов и аспирантов Таганрог ТГРТУ, 2006 С 81 – 82
- 6 Рубцов О Г Формирование начальных расписаний экзаменов / Н Н Клеванский, О Г Рубцов // ИКТ в управлении образованием XVII Междунар конф «Информационные технологии в образовании» («ИТО-2007») в 6 ч М МИФИ, 2007 Ч V С 47
- 7 Рубцов О Г Оптимизация начальных расписаний экзаменов / Н Н Клеванский, О Г Рубцов // ИКТ в управлении образованием XVII Междунар конф «Информационные технологии в образовании» («ИТО-2007») в 6 ч М МИФИ, 2007 Ч V С 48

Подписано в печать 08 02 08 Формат 60x84 1/16

Бум офсет Усл печ л 1,0 Уч-изд л 1,0

Тираж 100 экз Заказ 7 Бесплатно

Саратовский государственный технический университет

410054, Саратов, Политехническая ул, 77

Отпечатано в РИЦ СГТУ 410054, Саратов, Политехническая ул, 77