

На правах рукописи

**КОСТИН Станислав Анатольевич**

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
НАЧАЛЬНОГО РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Саратов 2005

Диссертация выполнена в ГОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет»

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Научный руководитель  | - кандидат технических наук, доцент<br>Клеванский Николай Николаевич   |
| Официальные оппоненты | - доктор технических наук,<br>профессор Кузнецов Вадим Викторович<br>- доктор физико-математических наук,<br>профессор Дудов Сергей Иванович |
| Ведущая организация   | - Саратовский государственный социально-<br>экономический университет  |

Защита диссертации состоится 23 декабря 2005 года в 15<sup>00</sup> 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 «21» ноября 2005 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.А. Большаков

2006-4  
28064

2253530

3

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Составление расписания учебных занятий является одной из основных задач автоматизации управления учебным процессом вуза. Качественное расписание занятий определяет эффективность учебного процесса и, как следствие, отражается на подготовке специалистов

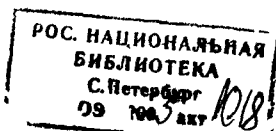
Как известно, задача составления расписания занятий при любых методах ее решения является многоэтапной. На первом этапе обычно формируется непротиворечивое начальное расписание занятий на основе учебных поручений, включающих дисциплину, вид занятия, студенческий контингент и преподавателя. Затем для всего учебного заведения осуществляется оптимизация начального расписания. При необходимости проводится последующая корректировка расписания в виде локальных оптимизаций расписания на низших уровнях управления учебным процессом (факультеты, специальности, кафедры и т.д.).

Получаемое на каждом этапе расписание занятий должно быть непротиворечивым, то есть соответствовать обязательным ограничениям (академическая группа может находиться только на одном занятии в одно и то же время; преподаватель не может проводить более одного занятия одновременно и др.) и желательным ограничениям (например, отсутствие у группы дней с одной «парой» занятий, недопустимость возникновения «окон» в расписании групп и т.п.). Количество и качество этих ограничений существенно влияет на возможность и трудоемкость получения решения. Ряд авторов (В.П. Ерунов, В.А. Костенко, Э.А. Мухачева, Е.Р. Пантелеев, Е.К. Burke и др.) рассматривают указанные ограничения в виде набора критериев оптимальности, приводя тем самым проблему составления расписания занятий к задаче многокритериальной оптимизации. При этом, как правило, учитываемым критериям придаются статические неизменные веса, что приводит в ряде случаев к приемлемым вариантам расписаний.

Практически не исследованными являются методы многокритериальной оптимизации расписания занятий с использованием динамических, изменяющихся в процессе расчета весов критериев, а также вопросы создания визуальных средств моделирования для задач оптимизации расписания занятий. Кроме того, в известных работах по автоматизированному составлению расписания занятий недостаточно учтены требования интегрированных систем. Изложенное определило актуальность данной работы, целью которой является разработка, реализация и исследование математических моделей и методов многокритериальной оптимизации начального расписания занятий в интегрированной системе управления учебным процессом вуза.

В соответствии с целью в диссертации поставлены следующие задачи:

- разработка метода многокритериальной оптимизации начального расписания занятий вуза;



- реализация алгоритма оптимизации расписания;
- разработка визуальных средств моделирования информации в задаче формирования расписания занятий;
- исследование характеристик разработанных алгоритмов и методов.

**Объект исследования** – расписание занятий вуза.

**Предмет исследования** – многокритериальная оптимизация начального расписания занятий вуза.

**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 новизна исследования** состоит в следующем:

- применен метод аддитивной оценки значений критериев оптимальности для каждого учебного занятия расписания;
- получен метод интегральной оценки расписания занятий по заданным критериям оптимальности, показывающий разницу между текущим и «идеальным» расписанием занятий;
- разработан метод многокритериальной оптимизации начального расписания занятий для интегрированных систем управления учебным процессом вуза, объединяющий обобщенный критерий с системой обязательных и желательных ограничений;
- применен градиентный подход для предложенного метода многокритериальной оптимизации;
- реализована компьютерная система многокритериальной оптимизации начального расписания занятий вуза с использованием динамически формируемых весов критериев в функции выбора занятия. Для исследования были использованы следующие критерии:
  - минимизация количества занятий для указанной «пары»;
  - равномерность распределения занятий учебных групп по количеству «пар» каждого учебного дня для обеих недель расписания;
  - равномерность занятий групп для обеих недель расписания.
- разработаны статические и динамические средства визуального моделирования расписания занятий.

**На защиту выносятся:**

- математическая модель оптимизации начального расписания занятий вуза, основанная на многокритериальном подходе с динамически формируемыми весовыми коэффициентами в функции выбора занятия;
- алгоритм реализации частного случая метода условного градиента в задаче многокритериальной оптимизации расписания занятий вуза;
- компьютерная система многокритериальной оптимизации, реализующая разработанный алгоритм;

- статические и динамические средства визуального моделирования расписания занятий вуза;
- распределение экстремальных состояний расписания по выбранным критериям оптимальности на основе экспериментирования.

**Практическая значимость** диссертационного исследования состоит в том, что представленная модель, метод и алгоритм могут быть использованы при разработке и практической реализации подсистем автоматизированного формирования расписания 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. Система прошла внедрение в Саратовском государственном техническом университете и Саратовской государственной академии права и продолжает совершенствоваться.

Основные результаты работы докладывались на XV Международной конференции «Применение новых технологий в образовании» (г. Москва, 2004), XIII, XIV и XV Международных конференциях-выставках: «Информационные технологии в образовании» (г. Москва, 2003, 2004, 2005).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 14 работ.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложенных на 115 страницах машинописного текста, в том числе 25 рисунков, списка использованной литературы, включающего 83 наименования.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** определена цель работы, обоснована 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, дается анализ состояния и развернутая постановка проблемы. Рассматриваются известные методы составления оптимального расписания учебных занятий. 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:

- составление и оптимизация расписания занятий на реальных данных учебного заведения практически невозможны с помощью точных методов;
- применение методов оптимизации зависит от предметной области, поэтому необходимы специализированные модели и методы многокритериальной оптимизации начального расписания занятий;
- не выявлены исследования по созданию тестовых заданий для задачи составления расписания занятий вуза.

Во второй главе разработана и исследована математическая модель многокритериальной оптимизации расписания занятий вуза, рассматриваются общая постановка задачи и алгоритм оптимизации начального расписания с использованием динамически формируемых весов.

Пусть  $p$  – преподаватель,  $g$  – учебная группа и  $G$  – множество всех групп. Обозначим через  $w_k$  количество занятий группы (согласно учебному плану) за две недели. Лекционные занятия проводятся в потоках. Введем множество потоков  $R$ , состоящее из всех потоков расписания  $r$ . Для проведения лабораторных занятий студенты каждой группы делятся на подгруппы  $d$ . Обозначим множество  $D$ , состоящее из всех подгрупп  $d \in D$ .  $A_{ЛП}$  – множество аудиторий для лекций и практических занятий,  $A_{ЛАБ}$  – множество аудиторий для лабораторных занятий,  $a \in A_{ЛП} \cup A_{ЛАБ}$  – обозначение аудитории, а  $|A_{ЛП}| + |A_{ЛАБ}|$  – количество аудиторий в вузе. Занятия проводятся в учебные дни в полуторачасовые интервалы, которые будем называть «парами».  $t_d \in T_d$  – рабочий день недели,  $t_n \in T_n$  – номер «пары»,  $T_q = \{t_q^1, t_q^2\}$  – множество признаков недели (четность недели). Введем множество таймслотов  $T = T_d \times T_n \times T_q$ , элементы которого однозначно определяют четность, день недели и номер «пары».

Задача формирования расписания учебных занятий заключается в определении для каждого лекционного (для потока), практического (в группе) или лабораторного (в подгруппе) занятия таймслота и аудитории с учетом выполнения предложенных ниже ограничений.

Введем булево обозначение учебной «пары»  $s \in S$ :

$$s = s(g, z, p, a, t) = \begin{cases} 1, & \text{если с группой } g \in G \text{ в таймслоте } t \in T \\ & \text{проводится учебное занятие;} \\ 0 & \text{– в противном случае,} \end{cases}$$

где  $z \in D \cup R \cup G$  – вид занятия.

Обязательные ограничения. Для каждой группы должны выполняться все виды аудиторной работы в течение двух недель:

$$\forall g \quad \sum_t \{s : z \in R\} + \sum_t \{s : z \in G\} + \frac{\sum \{s : z \in D\}}{2} = w_g. \quad (1)$$

В любом таймслоте для каждой группы  $g$  может проводиться не более одного занятия:

$$\forall t, \forall g \quad \sum_{z:z \in R} s + \sum_g \{s : z \in G\} + \sum_{z:z \in D} s \leq 1. \quad (2)$$

В каждом таймслоте преподаватель  $p$  может вести не более одного занятия по одной дисциплине на одном потоке, в одной группе или подгруппе:

$$\forall t, \forall p \quad \sum_{z:z \in R} s + \sum_g \{s : z \in G\} + \sum_{z:z \in D} s \leq 1. \quad (3)$$

В любом таймслоте в аудитории не может проходить более одного занятия:

$$\forall t, \forall a \quad \sum_{z:z \in R} s + \sum_g \{s : z \in G\} + \sum_{z:z \in D} s \leq 1. \quad (4)$$

В каждом таймслоте общее число всех видов занятий не должно превышать имеющийся в вузе аудиторный фонд:

$$\forall t \quad \sum_{z:z \in R} s + \sum_g \{s : z \in G\} \leq |A_{\text{ДП}}|, \quad (5)$$

$$\forall t \quad \sum_{z:z \in D} s \leq |A_{\text{ДЛБ}}|. \quad (6)$$

Наконец, расписание занятий для каждой группы не должно содержать «оконов». Обозначим через  $j_{\max}$  номер последнего занятия группы  $g$  в день  $t_\delta$  недели  $t_\alpha$ :

$$\forall g, \forall t_\delta, \forall t_\alpha \quad j_{\max} = \max\{t_n : s = 1\}.$$

Аналогично определим номер первого занятия  $j_{\min}$ :

$$\forall g, \forall t_\delta, \forall t_\alpha \quad j_{\min} = \min\{t_n : s = 1\}.$$

Узнаем количество «пар» занятий у группы  $g$  в день  $t_\delta$  недели  $t_\alpha$ :

$$\forall g, \forall t_\delta, \forall t_\alpha \quad j_{\text{col}} = \sum_{T_\alpha} \{s : z \in D\} + \frac{\sum \{s : z \in D\}}{2}.$$

Тогда искомое ограничение примет следующий вид:

$$\forall g, \forall t_\delta, \forall t_\alpha \quad j_{\max} - j_{\min} - j_{\text{col}} = 0. \quad (7)$$

### Желательные ограничения.

Минимизация количества занятий для заданного номера «пары»  $t'_n \in T_{\text{II}}$ :

$$K_1 = \left\{ s \mid \exists t'_n \in T_{\text{II}} \quad \sum_{z:z \in R} s + \sum_g \{s : z \in G\} + \sum_{z:z \in D} s \rightarrow \min \right\}. \quad (8)$$

Равномерность распределения занятий учебных групп по количеству «пар» в день для обеих недель:

$$K_2 = \left\{ s \mid \forall g, \forall t_\alpha, \forall t_\delta \quad \left| \sum_{T_\alpha} s \right| \rightarrow \min \right\}. \quad (9)$$

Равномерность занятий учебных групп для различных недель:

$$K_3 = \left\{ s \mid \forall g \left| \sum_{i'} s - \sum_{i''} s \right| \rightarrow \min \right\}. \quad (10)$$

Постановка задачи многокритериальной оптимизации расписания занятий вуза: в заданном расписании  $H_{РАСП}$ , учитывая желательные критерии оптимальности (8 – 10) и не нарушая ограничения (1 – 7), произвести такие изменения, чтобы полученное решение  $H'_{РАСП}$  в любом случае улучшало качество расписания  $H_{РАСП}$  по Парето.

Разработанный метод оптимизации начального расписания занятий вуза представлен на рис. 1.

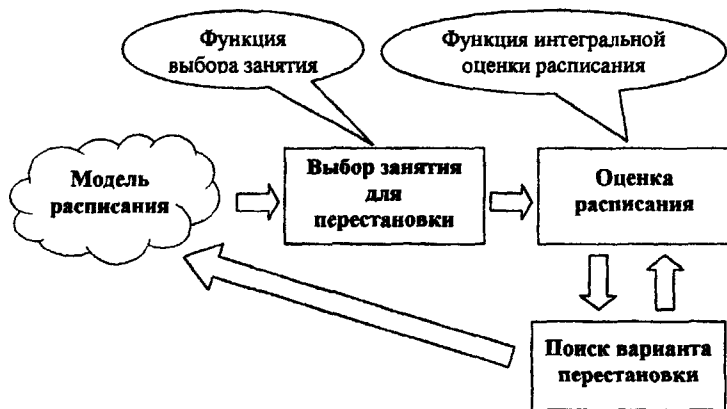


Рис. 1. Метод многокритериальной оптимизации расписания занятий

Положим, что имеется  $I$  критериев оптимальности, причем каждый из них характеризуется числовым значением  $K_i$ ,  $i \in [1, I]$ . Пусть значения критериев для каждого занятия приведены к безразмерному типу при помощи линейной функции нормированных показателей качества:

$$F_i^s = \frac{K_i^s - K_i^{\min}}{K_i^{\max} - K_i^{\min}}, \quad (11)$$

где  $K_i^s$  – текущее значение  $i$ -го критерия для оцениваемого занятия;

$K_i^{\max}$  – максимально возможное значение  $i$ -го критерия;

$K_i^{\min}$  – минимально возможное значение  $i$ -го критерия;

$K_i^{\min} \leq K_i^s \leq K_i^{\max}$ ;

$F_i^s \in [0, 1]$ .



Введем аддитивную функцию выбора занятия для перестановки:

$$v^s = \sum_i (e_i F_i^s), \quad (12)$$

где  $e_i, i \in [0, I]$  – весовые коэффициенты,  $\sum_i e_i = 1$ .

Такой метод свертывания критерия, называемый методом взвешенных сумм, позволяет создавать приоритет более важным частным критериям оптимальности за счет увеличения для них значений весовых коэффициентов  $e_i$ . Величина  $e_i$  задает в количественном измерении предпочтения  $i$ -го критерия над другими критериями оптимальности.

Нормирование весовых коэффициентов  $e_i$  производится на каждом шаге оптимизации следующим образом:

$$e_i = \frac{N_i}{\sum_i N_i}, \quad (13)$$

где  $N_i$  – минимальное требуемое количество перестановок для оптимизации  $i$ -го критерия.

Интегральная оценка расписания, показывающая разницу между текущим и «идеальным» расписанием занятий, определяется следующим выражением:

$$Q = \sum_s \sum_i F_i^s. \quad (14)$$

Для нормализации выбранных критериев  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$  использованы следующие соображения.

При нормировании критерия  $K_1$  принимается, что:  $K_1^{\max} = 1$ , если в выбранном таймслоте  $t_n \in T_{II}$  есть занятие, и  $K_1^{\min} = 0$  – если занятия нет. Следовательно, для этого критерия выражение (11) примет следующий вид:

$$F_1^s = \frac{K_1^s - 0}{1 - 0} = K_1^s,$$

где  $K_1^s = \begin{cases} 1, & \text{если в таймслоте есть занятие на выбранной «паре»;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Оптимальное количество занятий группы в день  $y \in Y$  (критерий  $K_2$ ) вычисляется делением общего количества занятий группы на количество учебных дней для обеих недель расписания.

$$Y = \begin{cases} \{y_1\} : y_1 = \frac{|S|}{|T_{II}|} \text{Div } |T_D|, \text{ если } \frac{|S|}{|T_{II}|} \text{Mod } |T_D| = 0; \\ \{y_1, y_2\} : y_1 = \frac{|S|}{|T_{II}|} \text{Div } |T_D| \text{ и } y_2 = y_1 + 1, \text{ если } \frac{|S|}{|T_{II}|} \text{Mod } |T_D| > 0, \end{cases}$$

где  $|S|$  – число занятий группы за обе недели расписания,

$|T_{Д}|$  – количество учебных дней недели;

$|T_{Г}|$  – количество недель расписания;

$Div$  – оператор, определяющий целочисленное частное от деления двух чисел;

$Mod$  – оператор, определяющий целочисленный остаток от деления двух чисел.

В этом случае  $K_2^{\min}$  принимается равным 0, а максимальное и текущее значение вычисляется как:

$$K_2^{\max} = \max\{|T_{Д}| - \max\{y \in Y\}, \min\{y \in Y\} - \max\{0, |S| + |T_{Д}| - |T|\}\},$$

$$K_2^s = \begin{cases} 0, & \text{если } \exists y \in Y \ x = y; \\ x - \max\{y \in Y\}, & \text{если } x > \max\{y \in Y\}; \\ \min\{y \in Y\} - x, & \text{если } x < \min\{y \in Y\}, \end{cases}$$

где  $x$  – количество «пар» дня недели оцениваемого занятия;

$|T|$  – количество всех таймслотов в расписании группы;

$|T_{Д}|$  – максимальное количество «пар» расписания в день.

Оптимальное количество занятий группы на одной неделе расписания  $y \in Y$  (критерий  $K_3$ ) вычисляется делением общего количества занятий группы на количество недель расписания.

$$Y = \begin{cases} \{y_1\} : y_1 = |S| Div |T_{Г}|, & \text{если } |S| Mod |T_{Г}| = 0; \\ \{y_1, y_2\} : y_1 = |S| Div |T_{Г}| \text{ и } y_2 = y_1 + 1, & \text{если } |S| Mod |T_{Г}| > 0. \end{cases}$$

В этом случае  $K_3^{\min}$  принимается равным 0, а максимальное и текущее значение вычисляется как:

$$K_3^{\max} = \max\{\min\{\frac{|T|}{|T_{Г}|}, |S|\} - \max\{y \in Y\}, \min\{y \in Y\} - \max\{0, |S| - \frac{|T|}{|T_{Г}|}\}\},$$

$$K_3^s = \begin{cases} 0, & \text{если } \exists y \in Y \ x = y; \\ x - \max\{y \in Y\}, & \text{если } x > \max\{y \in Y\}; \\ \min\{y \in Y\} - x, & \text{если } x < \min\{y \in Y\}, \end{cases}$$

где  $x$  – количество «пар» недели для оцениваемого занятия.

В данной работе представлен и исследован эвристический алгоритм преобразования начального расписания  $H_{РАСП}$  в расписание  $H'_{РАСП}$ , оптимальное по Парето и имеющее минимальное значение интегральной оценки расписания (14).

Введем соответствующие операции преобразования расписания  $H_{РАСП}$  в  $H'_{РАСП}$

1.  $O1(s, a)$  – операция изменения  $y$  занятия  $s \in S$  учебной аудитории  $a \in A_{ДУ}$ . Отметим, что эта операция изменяет аудитории только у лекционных и практических занятий.

2.  $O2(s, t)$  – операция изменения таймслота  $t \in T$  у занятия  $s \in S$ .

В множественно-графовой интерпретации операция  $O1$  заменяет вершину  $a$  в ребре  $\{g, z, p, a, t\}$  на вершину  $a'$ . Аналогично в операции  $O2$  происходит замена вершины  $t$  в ребре  $\{g, z, p, a, t\}$  на вершину  $t'$ .

Каждому переставляемому занятию  $c$  в соответствии с его идентификатором присваивается битовое значение следующим образом: 1 – занятие изменено к данному моменту времени, 0 – занятие осталось без изменения, и обозначим  $H^c$  общее состояние расписания после изменения занятия  $c$ ,  $H^0 = H_{РАСП}$ .

Разработанный эвристический алгоритм оптимизации расписания занятий построен на частном случае метода условного градиента.

В задаче оптимизации начального расписания занятий, на каждом шаге эвристика метода условного градиента выбирает такой вариант перестановки занятия, который улучшает расписание по Парето наилучшим образом. При этом расписание будет все лучше соответствовать цели – получению минимального значения интегральной оценки расписания.

Опишем применение эвристики метода условного градиента в задаче оптимизации расписания занятий вуза.

На этапе 1 алгоритм получает значения функции выбора занятия (12) для всех занятий в расписании. Среди них выбирается занятие  $c$  с максимальным значением функции, и алгоритм переходит к этапу 2.

На этапе 2 для выбранного занятия  $c$  алгоритм находит все корректные варианты его изменения, используя систему операций  $O = \{O1, O2\}$ .

Множество возможных решений является множеством вариантов изменения занятия  $c$ , которое можно назначить из текущего состояния расписания  $H^{c-1}$ . Далее, из множества возможных вариантов изменения

занятия выделяется подмножество  $U^c$ , которое состоит из вариантов изменения занятия  $c$  удовлетворяющих аксиоме Парето. Каждый конкретный вариант перестановки  $u_i^c$  этого подмножества представляет собой набор вновь назначаемых вариантов изменения занятия. Каждое следующее состояние расписания получается из предыдущего исходя из соотношения:

$$H_i^c = u_i^c(H^{c-1}).$$

Например, имеем вариант расписания  $H^{c-1}$  и некоторое занятие  $c$ , которое необходимо оптимизировать. Пусть интегральная оценка расписания  $H^{c-1}$  будет равной 131,1 (номер 4 в табл. 1).

Выделим подмножество Парето-оптимальных вариантов изменения занятия  $c$ :  $U^C = \{1, 2\}$ . Отметим, что первый вариант имеет меньшую интегральную оценку расписания.

Таблица 1

Варианты изменения занятия $c$	Значения критериев оптимальности			Интегральная оценка расписания
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	
1	67	27,5	33,6	128,1
2	67	26,5	35,1	128,6
3	67	26,5	36,6	130,1
4	68	26,5	36,6	131,1
5	68	28,5	36,6	133,1
6	68	26,5	35,1	129,6

После второго этапа оптимизации расписания имеем подмножество вариантов изменения занятия  $U^C$ . Каждому варианту соответствует расписание  $H_i^C$  и некоторое значение приращения оптимальности интегральной оценки расписания:

$$\Delta E_i^C = Q(H^{C-1}) - Q(H^C).$$

На 3 этапе Парето-оптимальное подмножество  $U^C$  упорядочивается так, чтобы значение приращения оптимальности  $\Delta E_1^C$  было максимальным. Следовательно, выбираемому наилучшему варианту изменения занятия будет соответствовать расписание  $H_1^C$ . Остальные варианты изменения занятия считаются заведомо худшими приращениями оптимальности и из дальнейшего рассмотрения исключаются.

Если на третьем этапе найден корректный вариант изменения текущего занятия  $c$ , то алгоритм переходит к этапу 4, иначе занятие помечается как неоптимизируемое, в списке оставшихся занятий выбирается занятие с максимальным значением функции выбора занятия, и алгоритм повторяет этап 2 с новым выбранным занятием. Если в списке не осталось занятий для оптимизации, то алгоритм заканчивает работу.

**Этап 4.** Производится вычисление функции выбора занятия (12) и, если есть занятие для оптимизации, то алгоритм переходит к выполнению первого этапа, в противном случае – алгоритм прекращает свою работу.

Предложенное решение задачи оптимизации начального расписания занятий заключается в том, чтобы изменять занятия с максимальной стоимостью (по функции выбора занятия) и получить Парето-решение, имеющее минимальное значение интегральной оценки расписания.

Эвристика частного случая метода условного градиента оптимизирует расписание занятий с полиномиальной эффективностью, так как реализована на основе алгоритмов сортировки и поиска.

Для устранения недостатков представления расписания в табличной текстовой форме при его формировании и анализе, а также для получения средств графического анализа параметров расписания, был разработан метод графической визуализации расписания занятий.

Лекционные, практические и лабораторные занятия выделены цветом. В результате получен способ представления исходного расписания занятий не в текстовой, а в графической форме. Такой же метод визуального моделирования применен при формировании занятости преподавателей и аудиторий.

Динамическая визуализация процесса оптимизации начального расписания представляет его графическую форму с последовательно перемещаемыми занятиями в соответствии с работой предложенного алгоритма.

В третьей главе представлены результаты применения разработанного метода многокритериальной оптимизации занятий для различных вариантов начального расписания. Оптимизация расписания производилась с использованием как статических, так и динамических весовых коэффициентов функции выбора занятий.

Начальные расписания формировались для двух шестидневных учебных недель одного из семестров учебного года для групп пяти курсов факультета, на котором обучаются студенты пяти специальностей. Для всех пятидесяти групп факультета недельная аудиторная нагрузка составляет 27 часов, из которых 14 – лекции, 5 и 8 соответственно лабораторные и практические занятия, проводимые преподавателями различных кафедр. При этом возможны три варианта занятий:

- одна группа – один преподаватель;
- несколько групп – один преподаватель;
- одна группа – несколько преподавателей.

На рис. 2 и 3 в пространстве введенных критериев представлены результаты процесса оптимизации начального расписания занятий с использованием динамических весов в функции выбора занятия.

На рис. 2 представлены множества возможных решений, получаемых в процессе работы алгоритма. Указанные множества для большей наглядности аппроксимированы поверхностью минимального квадратичного отклонения.

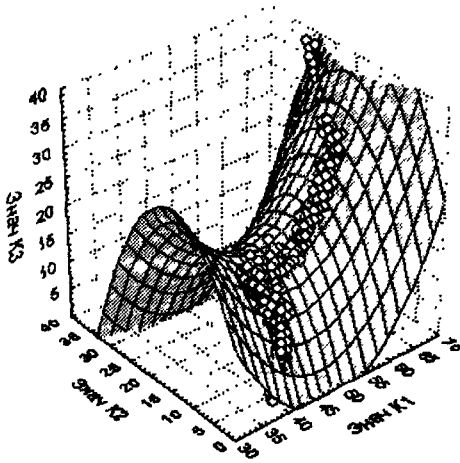


Рис. 2. Множества возможных решений всех шагов вычислительного процесса при использовании динамичных весов

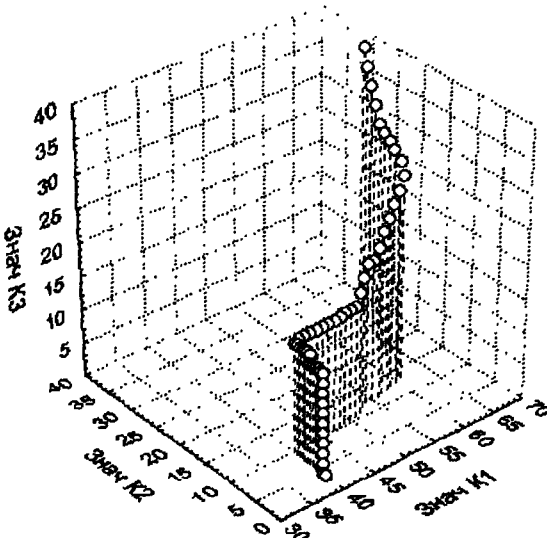


Рис. 3. Множество выбираемых решений при использовании динамичных весов

Выбираемые на каждом шаге оптимизации варианты расписания для рассматриваемого случая показаны на рис. 3. Полученные результаты показывают многоступенчатый характер развития вычислительного процесса в пространстве выбранных критериев оптимальности.

Результаты серии оптимизаций одного и того же начального расписания с использованием статичных и динамичных весов приведены в табл 2. Начальное расписание имело интегральную оценку 137,8 (значение критерия  $K_1 - 69, K_2 - 30,5, K_3 - 38,3$ ).

Таблица 2

Серия оптимизаций

Варианты полученных расписаний	Значения критериев оптимальности			Интегральная оценка расписания	Весовые коэффициенты
	$K_1$	$K_2$	$K_3$		
1	40	3	1,5	44,5	динамические
2	40	3,5	1,5	45	статичные (0,8; 0,1; 0,1)
3	41	2	3	46	статичные (0,1; 0,8; 0,1)
4	43	3	0	46	статичные (0,1; 0,1; 0,8)

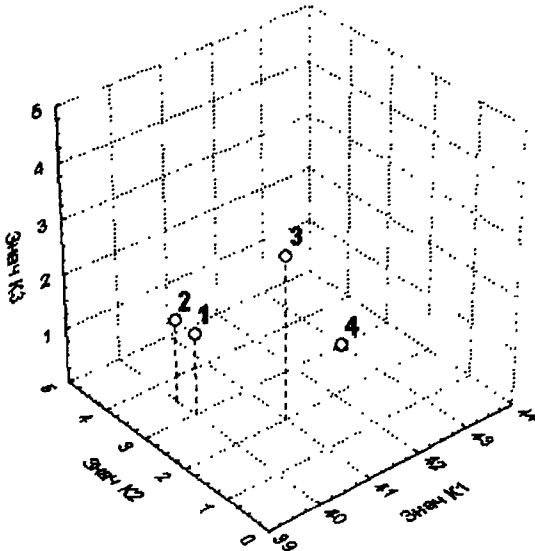


Рис. 4. Множество решений

На рис. 4 показаны значения критериев оптимальности полученных вариантов расписания. Множество Парето-оптимальных решений состоит из 1, 3 и 4 вариантов расписания. Отметим, что вариант 1, полученный с

использованием динамических весов, имеет меньшее значение интегральной оценки расписания.

Сравнив результаты расчетов с использованием статических весов с вариантами расписаний, получаемыми при использовании динамических весов, сделан вывод о том, что использование динамических весов эффективно при отсутствии информации о важности критериев оптимальности и дает, в ряде случаев, Парето-оптимальные решения.

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ**

1. Анализ современного состояния и перспектив подходов к формализации и решению задачи составления оптимального расписания занятий показал актуальность создания подсистем автоматизированного формирования расписания для интегрированных систем управления учебным процессом вуза, основанных на многокритериальной оптимизации.
2. Предложена математическая модель многокритериальной оптимизации начального расписания занятий по Парето с использованием динамически формируемых весов критериев в функции выбора занятия. При этом предусмотрена такая форма введения дополнительной информации (критериев оптимальности), которая является понятной для широкого круга специалистов, вовлекаемых в процесс составления расписания вуза.
3. Разработана процедура пошагового алгоритма многокритериальной оптимизации начального расписания занятий, основанная на частном случае метода условного градиента.
4. Создана компьютерная система многокритериальной оптимизации расписания занятий вуза, базирующаяся на предложенных в данной работе подходах.
5. Разработаны статические и динамические средства визуального моделирования расписания занятий.
6. Проведен ряд экспериментов с определением экстремальных состояний расписания по выбранным критериям оптимальности.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Костин С.А. Моделирование стратегии формирования расписания занятий ВУЗ'а средствами реляционной алгебры / Н.Н. Клеванский, Е.А. Макарцова, С.А. Костин // Прикладные проблемы образовательной деятельности: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГПУ, 2003. – С.71-74.
2. Костин С.А. Использование геометрических критериев при моделировании и разработке учебных планов ВУЗ'а / Н.Н. Клеванский, С.В. Наумова,



- С.А. Костин // Прикладные проблемы образовательной деятельности: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГПУ, 2003. – С.74-78.
3. Костин С.А. Критерии оценки расписания занятий ВУЗ'а и автоматизация его корректировки / Н.Н. Клеванский, Е.А. Макарцова, С.А. Костин // Информационные технологии в образовании: материалы XIII Международной конференции. – М.: МИФИ, 2003. Ч. V. – С.199-201.
  4. Костин С.А. Анализ геометрических критериев для моделирования и разработки учебных планов вуза / Н.Н. Клеванский, С.В. Наумова, С.А. Костин // Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации: межвуз. науч.-метод сб. Саратов: СГТУ, 2003. – С.125-130.
  5. Костин С.А. Моделирование проектной деятельности при разработке учебных планов ВУЗ'а / Н.Н. Клеванский, С.В. Наумова, С.А. Костин // Информационные технологии в образовании: материалы XIII Международной конференции. – М.: МИФИ, 2003. Ч. V. – С.202-203.
  6. Костин С.А. Формирование оптимального расписания занятий ВУЗ'а и средства его визуализации / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин // Применение новых технологий в образовании: материалы XV Международной конференции. – Троицк, 2004. – С.380-382.
  7. Костин С.А. Разработка средств визуального моделирования расписания занятий / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин, А.А. Пузанов // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП): материалы Международной научно-технической конференции. – Орел: ОрелГТУ, 2004. Т.4. – С.88-90.
  8. Костин С.А. Генерация тестовых заданий для систем автоматизированной подготовки расписания занятий ВУЗ'а / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин, А.А. Пузанов // Образовательные технологии: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГПУ, 2004. – С.161-164.
  9. Костин С.А. Анализ требований и ограничений в задаче составления расписаний / Н.Н. Клеванский, А.А. Пузанов, С.А. Костин // Образовательные технологии: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГПУ, 2004. – С.164-168.
  10. Костин С.А. Использование когнитивной компьютерной графики при моделировании расписания занятий / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин, А.А. Пузанов // Пути повышения эффективности учебно-воспитательного процесса: материалы межрегиональной научно-практической конференции. – Шадринск, 2004. – С.72-76.
  11. Костин С.А. К вопросу о задаче формирования расписания занятий вуза / Н.Н. Клеванский, А.А. Пузанов, С.А. Костин // Моделирование и управление в сложных информационных системах: сб. науч. статей – Саратов: СГТУ, 2004. – С.20-28.
  12. Костин С.А. Модели и алгоритмы глобальной оптимизации первоначального расписания занятий ВУЗ'а / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин //

- Информационные технологии в образовании: материалы XIV Международной конференции. – М.: МИФИ, 2004. Ч. IV. – С.30-31.
13. Костин С.А. Разработка математической модели глобальной оптимизации расписания занятий / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин, А.А. Пузанов // Сложные системы. Анализ, моделирование, управление: сб. науч. статей/СГТУ. – Саратов: Научная книга, 2005. – С.39-42.
14. Костин С.А. Применение динамических весов в задаче многокритериальной оптимизации расписания занятий ВУЗ'а / Н.Н. Клеванский, С.А. Костин // Информационные технологии в образовании: материалы XV Международной конференции. – М.: МИФИ, 2005. Ч. IV. – С.156-157.

Лицензия ИД № 06268 от 14.11.01

Подписано в печать 18.11.05

Формат 60×84 1/16

Бум. тип.

Усл. печ.л. 1,16

Уч.-издл. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ 415

Бесплатно

Саратовский государственный технический университет  
410054, Саратов, Политехническая ул., 77

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

**№ 2 5 4 3 7.**

**РНБ Русский фонд**

**2006-4**

**28067**