

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИКЛАДНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

На правах рукописи



МАСЛОВ Михаил Геннадьевич

**Разработка моделей и алгоритмов составления
расписаний в системах административно-
организационного управления**

**Специальность 05.13.18 - Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Москва - 2004

Работа выполнена на кафедре "Компьютерные технологии и системы"
Московского государственного университета прикладной биотехнологии

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Ивашкин Юрий Алексеевич

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор
Бобров Дмитрий Александрович

- доктор технических наук, профессор
Миронова Валентина Александровна

Ведущая организация - Московский государственный
университет технологий и управления

Защита состоится «29» июня 2004 г. в 14 час. 15 мин. на заседании
диссертационного совета К212.149.03 при Московском государственном
университете прикладной биотехнологии по адресу: 109316, г. Москва, ул.
Талалихина, 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета прикладной биотехнологии.

Автореферат разослан «27» мая 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент



Потапов А.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время увеличение количества выполняемых требований при составлении расписания учебных занятий в вузах, а также сокращение времени на данный процесс с одновременным повышением качества составляемых расписаний, требует использования новых компьютерных технологий и разработки унифицированных программных средств. Для систем составления расписания занятий характерна сильная зависимость от специфики конкретных учебных заведений уже на уровне математических моделей и представления данных, что затрудняет использование типовых систем. Это усугубляется разобщенностью групп исследователей и разработчиков. Систему созданную в одном вузе обычно без изменения и доработки невозможно эффективно использовать в другом. Для решения поставленных проблем, требуется построение гибких и легко адаптируемых систем на основе новых принципов, с использованием самых современных компьютерных технологий. Разработка таких систем позволяет решить большую социально значимую и актуальную задачу планирования работы организаций с большим числом сотрудников, имеющих гибкие графики работы, и учесть при этом многочисленные существующие требования, что даёт возможность пересмотреть существующий подход к планированию рабочего времени и оптимизировать работу во многих организациях.

Цель диссертационной работы заключалась в разработке математических моделей, методов и алгоритмов для создания автоматизированной системы составления расписания занятий в вузе и оптимизации графиков работы персонала в организациях с плавающими режимами работы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ и систематизация существующих методов, моделей и программных средств разработки расписаний;
- математическая постановка задач с формализацией критериев допустимости расписаний и множества ресурсных, учебно-организационных и информационных ограничений;
- разработка структуры реляционной базы данных для подготовки и составления расписания занятий в вузе и графиков работы персонала



- разработка алгоритмов построения и рационализации расписаний в соответствии с выбранными критериями;
- синтез состава и структуры автоматизированной информационной системы составления расписаний и графиков выполнения работ.

Научная новизна.

- Сформулирована расширенная постановка задачи составления расписания занятий в вузе и предложена методика её решения на основе формализованных знаний.
- Формализован новый класс задач теории расписаний для составления графиков работы в организациях с плавающей нагрузкой.
- Разработаны эвристические и генетические алгоритмы решения поставленных задач составления расписаний.
- Предложены алгоритмы типа ветвей и границ для задачи планирования графиков работы в организациях с плавающей нагрузкой.

Методы исследования.

Основные теоретические результаты диссертационной работы получены с использованием аппарата системного анализа, теории графов, математического моделирования, дискретной математики, теории расписаний, численных методов, теории сложности вычислений, а также современных методов программирования.

Практическая значимость работы.

- Разработан программный комплекс «Университетское расписание» для составления расписания учебных занятий. Данная система имеет трёхзвенную архитектуру, позволяющую снизить время на её обслуживание, что особенно актуально для крупных вузов, поддерживает распределённый ввод и обработку информации.
- Разработана информационная модель планирования учебного процесса.
- Построены логические и физические модели баз данных в нотации IDEF1X для хранения информации при составлении расписаний работы персонала и учебных занятий в вузе. Предложены специальные соглашения и принципы организации баз данных, позволяющие сократить сроки проектирования и повысить качество программного обеспечения.

- Разработана программа для составления расписаний в организациях с плавающей нагрузкой, определения оптимальной численности персонала и оптимальной расстановки сотрудников по штатным единицам.
- На базе объектно-ориентированной методологии разработаны методика и программная реализация для создания автоматизированных систем составления расписаний. Созданы средства автоматической генерации исходного кода для данного типа приложений.

Основные положения, вынесенные на защиту:

- Математические модели составления расписания учебных занятий в вузе и организациях с плавающей нагрузкой.
- Структура автоматизированной системы для составления расписания учебных занятий в вузе, информационная модель формирования расписания занятий, логическая и физическая модели баз данных.
- Эвристический и генетический алгоритмы для составления, расписания учебных занятий в вузе. Подзадачи, возникающие на различных этапах планирования.
- Автоматизированная система планирования графиков работы персонала в организациях с плавающей нагрузкой, и разработанные для неё эвристические алгоритмы и алгоритмы типа ветвей и границ.

Внедрение результатов работы.

Программный комплекс для составления расписания учебных занятий в вузе используется при составлении расписаний в МГУПБ, что подтверждается актом внедрения. Программа "Университетское расписание" ("UniSched") и база данных "Расписание учебных занятий в вузе" ("UniSched DB") зарегистрированы в Роспатент РФ. Свидетельства № 2004610313 и № 2004620036.

Разработанная подсистема для планирования графиков работы персонала в организациях с плавающей нагрузкой использована в программном комплексе "АиТЛУправление персоналом", что подтверждается актом внедрения, и применяется широким числом пользователей данного комплекса.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации представлены на:

- Учебно-методической конференции "Применение информационных технологий в учебном процессе" (Москва, 1999 г.);
- Четвёртой международной научно-технической конференции "Пища, Экология, Человек" (Москва, 2001 г.);
- Второй всероссийской научно-технической конференции "Теория конфликта и её приложения" (Воронеж, 2002 г.);
- Пятом международном симпозиуме "Интеллектуальные системы" (Калуга, 2002 г.);
- XV Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологиях" (Тамбов, 2002 г.);
- Всероссийской научной конференции "Современные проблемы математики, механики, информатики" (Тула, 2002 г.);
- XI международной научно-технической конференции "Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании" (Пенза, 2003 г.);
- VII международной научно-методической конференции "Университетское образование" (Пенза, 2003 г.);
- Международной научно-методической конференции "Компьютеризация обучения и проблемы гуманизации образования в техническом вузе" (Пенза, 2003 г.);
- XIV Международной конференции "Применение новых технологий в образовании" (Троицк, 2003 г.);
- Третьем украино-российском научно-техническом и методическом симпозиуме "Современные информационные технологии в науке, производстве, образовании и управлении" (Хмельницкий, 2003 г.);
- Международной научной конференции "Инновации в науке и образовании - 2003" (Калининград, 2003 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 11 докладов в материалах и трудах Международных и Всероссийских конференций и 4 публикации в тезисах докладов, 2 свидетельства об официальной регистрации.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 7 приложений. Объем работы 233 страницы машинописного

текста, включая 21 рисунок 3 таблицы. Список использованных источников содержит 303 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, научная новизна, методы исследований, практическая ценность и основные научные положения выносимые на защиту, а также сведения о внедрении и апробации работы.

В первой главе проводится анализ и классификация существующих подходов и алгоритмов составления расписания. Из анализа известных работ следует, что, несмотря на большое количество публикаций по данной тематике, в настоящее время не сформулированы методы, позволяющие составлять приемлемое расписание на две недели, в условиях реальных существующих ограничений многих вузов. Большинство из описанных методик создавались для конкретных условий и ограничений существовавшей вычислительной техники, не принимая во внимание ограниченный аудиторный фонд и все необходимые требования. Имеющиеся на данный момент программные продукты для составления расписаний не могут учесть всей специфики, т.к. не располагают требуемой гибкостью - не обладают средствами по настройке, не имеют возможности учёта дополнительных возникающих ограничений, а также не реализуют множество других необходимых возможностей.

Далее проведено исследование процесса составления расписания учебных занятий, приведены определения основных документов используемых при планировании учебного процесса, выполнен анализ информационных потоков и построена информационная модель формирования расписания. Систематизирован список ограничений и пожеланий предъявляемых к расписанию занятий. Приведено описание основных требований, которым должна удовлетворять разрабатываемая система, чтобы превосходить аналогичные программы или соответствовать им.

Во второй главе описана математическая модель задачи синтеза расписания, приведен обзор доказательств NP-полноты задачи составления расписания занятий в вузе. Предложена методика сравнения различных вариантов расписаний, основанная на лексикографическом сравнении векторов значений оценок. Представлена иерархическая многоуровневая схема упорядочения критериев по их значимости.

Математическая модель задачи составления расписания учебных занятий в вузе сводится к задаче нелинейного булева программирования с ограничениями, и критериями в виде формул исчисления предикатов при следующих обозначениях.

Таблица 1

1	ГРУППЫ	$G = \{g: g = 1.. G \}$
2	ПРЕПОДАВАТЕЛИ	$P = \{p: p = 1.. P \}$
3	ДИСЦИПЛИНЫ	$D = \{d: d = 1.. D \}$
4	ВИДЫ ЗАНЯТИЙ	$V = \{v: v = 1.. V \}$
5	АУДИТОРИИ	$A = \{a: a = 1.. A \}$
6	НЕДЕЛИ	$N = \{n: n = 1.. N \}$
7	ДНИ	$S = \{s: s = 1.. S \}$
8	ПАРЫ	$T = \{t: t = 1.. T \}$
9	КОРПУСА	$K = \{k: k=1.. K \}$

$|N| = 2$. $H = \{h: h = 1..|H|\}$ единица времени $h = h(n,s,t) = (n-1)|S| + (s-1)|T| + t$.

$G = C \cup M \cup L$; $C = \{c: c = 1..|C|\}$ – группы;

$M = \{m: m = |C| + 1..|C| + |M|\}$ – потоки;

$L = \{l: l = |C| + |M| + 1..|C| + |M| + |L|\}$ – подгруппы;

$\|CMcm\|_{|C| \times |M|}$ – соответствие между группами и потоками;

$\|CLcl\|_{|C| \times |L|}$ – соответствие между группами и подгруппами;

$Z = \{z: z = 1..|Z|\} \subseteq D \times V$;

$a \in K_k$, $K = \bigcup_{k=1}^{|K|} K_k$, $\bigcup K_k = \emptyset$, $k(a)$ – корпус аудитории a ;

$\tau_{ij}: i = 1..|K|, j = 1..|K|$ – длительности перехода между корпусами;

$X_{gpdvanst} = 1$, если в g -й группе по d -й дисциплине назначен v -й вид занятия у p -го преподавателя в a -й аудитории в s -й день на t -й паре n -ой недели, и 0 в противном случае;

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{если } x > 0 \text{ или } x = \text{TRUE} \\ 0 & \text{если } x = 0 \text{ или } x = \text{FALSE} \\ -1 & \text{если } x < 0 \end{cases}$$

δ (массив, индекс элемента) – функция, возвращающая TRUE, если элемент массива представляет собой обязательное требование и FALSE,

если требование желательно;

$\|Q_g\| |G|$ - вектор численности групп;

$\|W_a\| |A|$ - вектор вместимости аудиторий;

$\|\Omega_{gz}\| |G| \times |Z| \times |M|$ - количество пар по занятию z у g -ой группы в неделю n

$\|\Omega_{czn}\| |C| \times |Z| \times |M|$ - число занятий z на неделе n у группы c (с учётом потоков и подгрупп в которые она входит);

$R(c, h)$ - функция, возвращающая 1, если в единицу времени h в группе c или в каком-либо потоке или подгруппе, в которые она входит, проходит занятие, 0 в противном случае:

$$R(c, h) = \left(\sum_{(\forall z, p, a)} X_{cpzah} \right) + \text{sign} \left(\sum_{(\forall z, p, a) (\forall l \in \{l: CL_{fl}=1\})} X_{lpzah} \right) + \left(\sum_{(\forall z, p, a) (\forall m \in \{m: CM_{fm}=1\})} X_{mpzah} \right)$$

$R(c, n, s)$ - функция, возвращающая 1, если на неделе n в дне s существует хотя бы одно занятие у группы c или в каком-либо потоке или подгруппе, в которые она входит;

$\|P_p^{\text{без окон}}\| |P|$ - требование преподавателя p о проведении его занятий без окон: 0 - означает наличие, 1 - допустимость наличия или отсутствия, 2 - отсутствие окон;

$\|C_c^{\text{max nap}}\| |C|$ - максимальное число пар в день у учебной группы c ;

$\|PNS_{pns}^{\text{max nap}}\| |P| \times |M| \times |S|$ - максимальное количество пар занятий в день s на неделе n у преподавателя p

$P2(n, s, c)$ - предикат, отражающий требование проведения занятий в группе c , а также в сформированных из неё подгруппах и потоках на неделе n в день s в одном и том же корпусе;

Ψ_c - множество групп состоящее из учебной группы c , а также из формируемых из неё подгрупп и потоков:

$$\Psi_c = c \cup \{l \in \{l: CL_{cl}=1\} \cup m \in \{m: CM_{cm}=1\}\}.$$

$$P2(n, s, = \phi (\exists t, k): (i \in \Psi_c \& X_{ipzanst} = 1 \& a \in K_k) \Rightarrow$$

$$(\forall i)(\forall i \in \Psi_C): (X_{ipzanst} = 1 \Rightarrow a \in K_k)$$

Ограничения

1. По нормам проведения занятий.

1.1. В единицу времени у группы, преподавателя и в аудитории должно проходить не больше чем одно занятие:

$$(\forall h, a): \sum_{(\forall z, g, p)} X_{gpzah} \leq 1$$

$$(\forall h, g): \sum_{(\forall z, p, a)} X_{gpzah} \leq 1$$

$$(\forall h, p): \sum_{(\forall z, g, a)} X_{gpzah} \leq 1$$

1.2. Учёт наличия потоков и подгрупп:

$$(\forall h, c): R(c, h) \leq 1$$

1.3. На вместимость аудиторий:

$$(\forall h, g, a): \sum_{(\forall z, p)} Q_g * X_{gpzah} \leq W_a$$

2. Обусловленные графиком проведения занятий.

2.1. В каждой группе g необходимо провести требуемое количество пар по каждому занятию g , за период планирования:

$$(\forall g, z): \sum_{(\forall p, a, h)} X_{gpzah} = \sum_{(\forall n)} \Omega_{gzn}$$

2.2. Должно выполняться указанное в Ω_{gzn} распределение по неделям:

$$(\forall g, z, n): \left(\sum_{(\forall p, a, s, t)} X_{gpzanst} = \Omega_{gz1} \right) \vee \left(\sum_{(\forall p, a, s, t)} X_{gpzanst} = \Omega_{gz2} \right)$$

3. Ограничения, задаваемые перечислением допустимых ресурсов.

В обозначениях массивов ограничений сначала записываются обозначения множеств ограничений G, C, M, L, D, V, Z, P , а затем обозначения

временных и (или) материальных ресурсов с ограничениями A, K, N, S, T, H . Различные сочетания элементов, задающих ограничения на ресурсы, определяют множество ограничений перечислимого типа. Каждый элемент получаемого таким образом массива представляет собой число $[0..λ]$ – лингвистическую переменную (например, 0 - означает невозможность, 1 - допустимость, 2 - желательность, занимать данный ресурс). Таким образом, можно сконструировать необходимые, в нашем случае, обозначения, массивов, определяющих ограничения:

$\|P_Hph\| |P|x|H|$ - допустимое или желательное время проведения занятий преподавателем;

$\|GDV_Hgdvh\| |G|x|D|x|V|x|H|$ - допустимое или желательное время проведения занятий по дисциплине-виду у группы;

$\|DV_A dva\| |D|x|V|x|A|$ - допустимая или желательная аудитория для проведения занятий по дисциплине-виду;

$\|DV_K dvk\| |D|x|V|x|K|$ - допустимый или желательный корпус для проведения занятий по дисциплине-виду;

$\|GDVP_gdvp\| |G|x|D|x|V|x|P|$ - преподаватель p , занимающийся с g -ой группой по d -ой дисциплине v -му виду занятий;

Занятия должны назначаться в допустимое время, допустимой аудитории и корпусе, и проводиться установленными преподавателями:

$$(\forall g, p, d, v, a, n, s, t):$$

$$X_{gpdvanst} \leq GDVP_{gdvp} * P_{Hph}(n, s, t) * GDV_H_{gdvnst} * DV_A_{dva} * DV_K_{dva}(a)$$

Дополнительное ограничение перечислимого типа может быть задано умножением правой части ограничения на элемент соответствующего добавляемого массива ограничений.

4. Ограничения, задаваемые логическими условиями.

Обозначения массивов, содержащих информацию ограничений, строятся так же, как и в предыдущем случае, за исключением того, что:

- в числе объектов, задающих ограничения, могут присутствовать обозначения ресурсов;
- в надстрочном индексе указывается обозначение логического условия, задающего требования.

Примеры построения ограничений логического типа приведены ниже.

4.1. Требование отсутствия окон у преподавателя:

$$PI(p, n, s) = (\forall t_1 \in T, t_2 \in T, t_1 < t_2):$$

$$(X_{gpzans}^{t_1} = 1 \ \& \ (((\forall t = 1 \dots t_1 - 1) (\forall g, z, a): X_{gpzanst} = 0) \vee (t_1 = 1))) \ \& \\ (X_{gpzans}^{t_2} = 1 \ \& \ (((\forall t = t_2 + 1 \dots T) (\forall g, z, a): X_{gpzanst} = 0) \vee (t_2 = T))) \Rightarrow ((\forall t =$$

$$t_1 \dots t_2): (\sum_{(\forall g, z, a)} X_{gpzanst} = 1)$$

$$(\forall p, n, s): (\delta(P^{без\ окон}, p) \ \& \ (P_p^{без\ окон} > 1) \Rightarrow PI(p, n, s))$$

$$(\forall p, n, s): (\delta(P^{без\ окон}, p) \ \& \ (P_p^{без\ окон} < 1) \Rightarrow \neg PI(p, n, s))$$

4.2. Число назначенных пар в день каждой учебной группы не может превышать заданного количества:

$$(\forall c, n, s): (\delta(C^{max\ пар}, c) \Rightarrow \sum_{(\forall t)} R(c, h(n, s, t)) \leq C_c^{max\ пар})$$

4.3. Количество назначенных пар занятий p любого преподавателя на неделе n в день s не может превышать заданного количества:

$$\forall (p, n, s): (\delta(PNS^{max\ пар}, p, n, s) \Rightarrow \sum_{(\forall g, z, a, t)} X_{gpzanst} \leq PNS_{pns}^{max\ пар})$$

Критерии

1. Критерии требований перечислительного типа.

Пример критерия максимизирующего суммарную степень желательности назначений занятий преподавателей на желательные для них пары:

$$\sum_{(\forall g, p, z, a, h)} P_{H_{ph}} * X_{gpzah} \rightarrow max$$

Аналогичным образом могут быть построены и остальные критерии данного типа.

2. Критерии требований логического типа.

Данные критерии можно разделить на минимизирующие (число мест, пар и т.п.) и максимизирующие степень желательности выполненных требований. Примерами данных критериев являются:

2.1. Минимизация интервала времени между первым и последним занятием группы в день (минимизация окон):

$$\sum_{(\forall c, n, s)} (\max_t (t^* R(c, h(n, s, t))) - \min_t (t^* R(c, h(n, s, t)))) \rightarrow \min$$

2.2. Минимизация интервала времени между первым и последним занятием в день у преподавателя:

$$\sum_{(\forall p, n, s)} (\max_{g, z, a, t} (t^* X_{gpzanst}) - \min_{g, z, a, t} (t^* X_{gpzanst})) \rightarrow \min$$

2.3. Равномерное число занятий в день у группы:

$$(\forall c) : S_{\text{н\o}}^c = \frac{\sum_{(\forall n, z)} \Omega'_{c,zn}}{\sum_{(\forall n, s)} R(c, n, s)}$$

$$\sum_{(\forall c, n, s)} |R(c, n, s) * (\sum_{(\forall p, z, a, t)} X_{gpzanst} - S_{cp}^g)| \rightarrow \min$$

2.4. Минимизация количества неиспользованных мест в занятых аудиториях:

$$\sum_{(\forall g, p, z, a, h)} X_{gpzah} * (W_a - Q_g * X_{gpzah}) \rightarrow \min$$

2.5. Критерий максимизации числа дней у учебных групп, в которые все занятия проходят в одном и том же корпусе:

$$\sum_{(\forall n,s,c)} \text{sign}(P2(n, s, c)) \rightarrow \max$$

2.6. Критерий максимизации числа дней у преподавателей, в которые удовлетворяются их требования о наличии или отсутствии окон:

$$P3(p, n, s) = \neg \delta(P^{\text{без окон}}, p) \& (((P^{\text{без окон}} > 1) \Rightarrow P1(p, n, s)) \vee ((P^{\text{без окон}} < 1) \Rightarrow \neg P1(p, n, s)))$$

$$\sum_{(\forall p,n,s)} \text{sign}(P3(p, n, s)) \rightarrow \max$$

Сформулированные критерии и ограничения определяют класс математических моделей составления расписаний занятий в вузе, охватывающий весь комплекс необходимых требований, путём их систематизации и указания методики построения. Конкретная форма модели с заданным числом ограничений и критериев может быть определена на практике только после ввода всей необходимой информации, т.к. только одних перечислительных ограничений можно сконструировать несколько тысяч. Существующие модели фрагментарно охватывают те или иные группы ограничений и критериев.

В третьей главе описываются разработанные алгоритмы составления расписания учебных занятий в вузе: *эвристический* и *генетический* алгоритмы, алгоритмы разрешения конфликтных ситуаций, возникающих при нестыковке требований заявок. На рис. 1 приведена общая схема процесса составления расписания учебных занятий в вузе. После ввода информации, осуществляется проверка на недопустимые и взаимно пересекающиеся требования, согласование исходной информации, а также расчёт не критичности заявок.

Задача назначения занятий, представленная математической моделью является NP-трудной. Для решения подобных задач наиболее часто прибегают к методу первоначального распределения наиболее критичных по ресурсам заявок. Под заявкой понимается запрос на проведение занятий для потока из нескольких групп с описывающими его дополнительными параметрами. Критичность характеризуется количеством имеющихся возможных вариантов назначения занятий и связана с частотой возникновения тупиковых ситуаций.

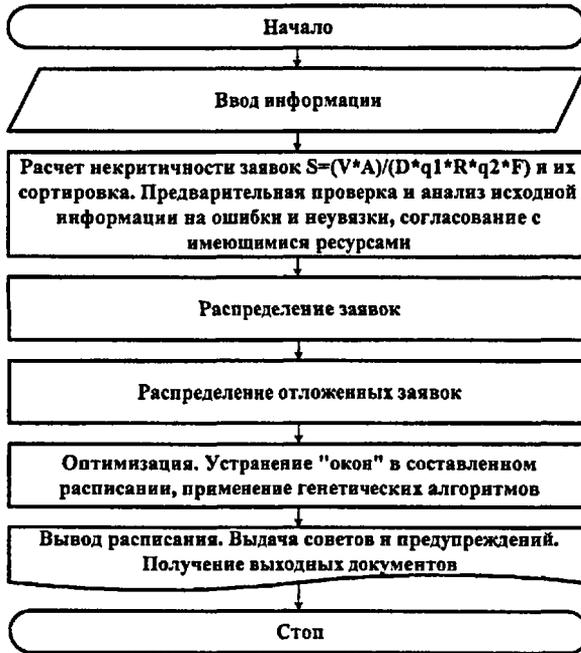


Рис. 1. Блок-схема процесса составления расписания учебных занятий в вузе.

Предлагается следующая формула для вычисления степени не критичности заявки S :

$$S = \frac{V * A}{D * q1 * R * q2 * F},$$

- где V – количество допустимых временных ресурсов;
 A – количество допустимых аудиторных ресурсов;
 D – общая длительность занятия;
 R – размер потока;
 F – длительность непрерывного занятия;
 $q1, q2$ – коэффициенты.

Чем больше значение S , получаемое для заявки по данной формуле, тем она менее критична. Далее следует распределение заявок в соответствии с их не критичностью и статусами (степень обязательности выполнения требований) преподавателей. При распределении конкретной заявки в зависимости от её

параметров и требований возможны различные отклонения от распределения в соответствии с некритичностью, например, при необходимости назначения подряд нескольких однотипных заявок, а также при использовании процедуры анализа. Распределение заявки начинается с определения свободных пар и допустимых аудиторий для заявки. Далее в зависимости от распределения количества пар по неделям производится выбор соответствующей процедуры планирования. Сущность поиска назначения заявки заключается в просмотре по убыванию предпочтительности сначала наилучших вариантов (оптимизация) и попытке назначения заявки, затем в ослаблении желательных требований и ослаблении до определённого предела ограничений. Если не удастся найти назначение, то в зависимости от параметров производится либо перестановка уже назначенных заявок и попытка записи на их место текущей либо откладывание заявки и распределение её после назначения всех заявок. Перестановки производятся до определённой заданной глубины в соответствии с принципом убывания предпочтительности (предусмотрено задание приоритетов преподавателей). В подпрограммах в зависимости от критериев и глубины поиска реализованы различные варианты расчёта с возможностью учёта дополнительных условий, т.е. возможна настройка алгоритма.

Для ускорения генерации расписания на первом этапе может использоваться настройка (вплоть до однопроходного) процесса составления, что позволяет исключить некоторые ошибки и завышенные требования, т.е. обойтись без длительного непродуктивного первоначального поиска, а затем после согласования всех требований с преподавателями и имеющимися ресурсами достраивать и оптимизировать расписание.

Для дальнейшей оптимизации полученного на предыдущем этапе расписания применяется *генетический алгоритм*, представленный на рис. 2. В главе приводится конкретизация алгоритма для решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе - представление расписания в виде хромосомы, способ получения начального решения, разработанные и используемые специализированные генетические операторы.

Представление расписания в виде хромосомы (chromosomal representation). Хромосома представляет набор из $|A| \cdot |H|$ генов, которые удобно представить в виде матрицы, по строкам которой идут временные, а по столбцам аудиторные ресурсы. В ячейках данной матрицы находятся гены. Геном в данном случае является заявка. В локусе (местоположение определённого гена в хромосоме), которым является ячейка (h,a) , может находиться только одна заявка, либо ничего (т.е. нулевой указатель).

Исходя из заданного представления и специфики задачи были разработаны операторы кроссовера и мутации, учитывающие задаваемые ограничения.

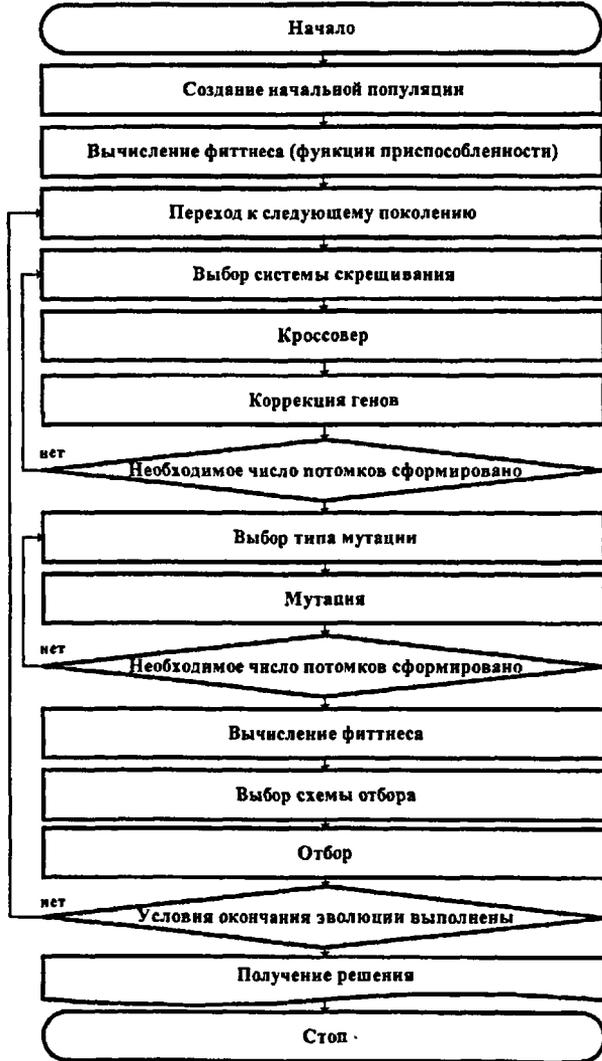


Рис. 2 Блок-схема работы генетического алгоритма.

Начальное решение (initial population) может быть получено при помощи эвристического алгоритма, рассмотренного ранее.

В задачу оператора *селекции (selection)* входит формирование из текущей популяции промежуточного набора индивидов (для отбора), а также формирование индивидов, для последующего применения к ним оператора скрещивания. Принцип работы последнего тот же, отличие состоит в том, что отсутствуют циклы, необходимые для оператора отбора, т.е. возвращается не популяция, а выбранная особь. Использовались следующие виды операторов селекции: селекция на основе турнира, селекция с усечением, селекция с линейным ранжированием, селекция с экспоненциальным ранжированием, пропорциональная селекция. Наибольшую эффективность показали селекция с линейным ранжированием и экспоненциальным ранжированием.

Crossover (crossover). Для данной задачи было разработано два специализированных вида операторов кроссовера (crossover).

Первый вид кроссовера осуществляется путём скрещивания двух хромосом по следующей схеме:

1. Выбор двух особей (т.е. расписаний).
2. Определение числа точек кроссовера (случайно, от 1 до 3).
3. Определение (случайным образом) точек кроссовера, приходящихся на один из интервалов между днями.
4. Формирование двух рекомбинантных гамет потомков.
5. Проверка на допустимость потомков и возможная коррекция.

Второй вид кроссовера осуществляется путём повторения заданного числа раз скрещивания в самой хромосоме каких-либо двух временных интервалов (пар) следующим образом.:

1. Случайный выбор двух интервалов (пары).
2. Скрещивание (используется многоточечный кроссовер).
3. Проверка и коррекция.
4. Запись в потомка.

Данный тип кроссовера, также можно считать одним из видов мутации. Проблема состоит в том, что после скрещивания, содержание расписания изменилось, и может уже не быть корректным. Для решения данной проблемы используется алгоритм коррекции. Например, если один и то же преподаватель или группа встретились дважды в разных заявках, находящихся в разных аудиториях, на одной паре, то дубликаты удаляются из данной пары. Данный

метод может рассматриваться как одна из форм мутации, так как он тоже добавляет дополнительное разнообразие в популяцию.

Мутация (mutation), происходит таким образом, что одна из заявок переносится в какой-либо другой допустимый для неё интервал с применением коррекции (переносы заявок). Для более эффективного поиска производится макромутация. Так же используется понятие доминирования, т.е. в терминах генетики» существуют рецессивные и доминантные аллели (аллели, аллелеформы - альтернативные формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых локусах). Один ген (заявка) может доминировать перед другим в случае присутствия в одном из них преподавателя с наивысшим статусом (обязательно исполнять требование) и требованием проведения занятия, в заданных ресурсах (локусах).

В качестве *условий завершения (stopping conditions, termination)* используются следующие функции завершения: количество поколений (number of generations), сходимость по потере разнообразия (diversity converged), сходимость функции пригодности (fitness converged), значение функции пригодности (fitness target). В последнем случае процесс завершается, если достигнуты уровни выполнения задаваемых требований.

В четвертой главе представлена программная реализация всех разработанных алгоритмов. Описывается функциональное назначение программ и их характеристики, принципиальная структура и интерфейс.

В разработанных системах реализована трёхзвенная архитектура. В качестве сервера БД, могут быть использованы Oracle, Microsoft SQL Server и Interbase. Со стороны клиента не требуется никакой инсталляции, что является преимуществом использования трёхзвенной архитектуры.

Автоматизированная система составления расписания учебных занятий в вузе "Университетское расписание" состоит из следующих основных подсистем:

"Деканат" - для формирования графиков учебных занятий в деканатах факультетов, ввода и коррекции групп и изучаемых ими дисциплин;

"Кафедра" - для формирования выписок и распределений-лекционных потоков на кафедрах на основе графиков занятий составленных в деканатах;

"Расписание" - для построения и коррекции расписания в ручном и автоматическом режимах, включая просмотр полученного варианта с возможностью комментариев по поводу неувязок.

В приложениях представлены: документы, подтверждающие внедрение результатов диссертационной работы, свидетельства об официальной регистрации, обзор существующих программных систем для составления расписаний учебных занятий, выходные формы и результаты решения задач, структуры баз данных автоматизированных систем в нотации IDEF1X (Чена-Баркера), фрагменты исходного кода.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Исследованы и систематизированы существующие автоматизированные системы составления расписаний, предложена классификация алгоритмов и подходов к составлению расписаний учебных занятий и рекомендации по применению.
2. Проведен анализ информационных потоков и построена информационная модель формирования расписания, на основе которой разработана организационная и функциональная структура автоматизированной системы составления расписаний.
3. Сформулированы и формализованы критерии допустимости и рациональности расписаний, а также ресурсные, учебно-организационные, и информационные ограничения задачи оптимизации расписания.
4. Разработана математическая модель синтеза расписания занятий и методика построения адекватных математических моделей данного класса.
5. Разработана математическая модель составления графиков работы персонала в организациях с плавающим режимом работы. Данная задача является новой и не сводится к известным типовым моделям теории расписаний или дискретного программирования.
6. Разработаны автоматизированные методы и алгоритмы построения и рационализации расписаний в соответствии с выбранными критериями.
7. Для генетического алгоритма составления расписания учебных занятий, разработаны специализированные операторы мутации и кроссовера, учитывающие специфику данной задачи.
8. Для задачи составления графиков работы в организациях с плавающими режимами работы, разработаны алгоритмы типа ветвей и границ, позволяющие получать точные решения, а также эвристические алгоритмы предназначенные для эффективного поиска приближённых решений.
9. На основе проведенного моделирования информационной среды вуза создана структура базы данных для распределённого многопользовательского сбора и хранения информации при подготовке и

составлении расписания занятий в вузах и других учебных заведениях аналогичного типа.

10. Разработана структура базы данных для задачи составления графиков работы персонала, совместимая и интегрируемая с программным комплексом "АиТ:Управление персоналом".
11. Для работы с базами данных создан программный интерфейс доступа к данным, позволяющий менять используемую технологию доступа и оперативно поддерживать новые технологии.
12. Разработанная система обработки информации и составления расписаний может быть использована не только в учебном заведении, для которого она была разработана, но и в любых других учебных заведениях того же уровня с соответствующими типами расписаний, т.к. в системе реализованы возможности гибкой настройки под конкретный ВУЗ.
13. Разработанная на базе объектно-ориентированной методологии методика построения автоматизированных систем составления расписаний учебных занятий и её программная реализация может быть использована для создания подобных систем в других вузах, а также как основа для включения других задач и создания единой автоматизированной системы управления вузом.

Список публикаций:

1. Маслов М.Г. Система поддержки принятия решений в составлении расписания занятий в вузе // Пища, Экология, Человек: Труды четвёртой международной научно-технической конференции - М., 2001. - С.269-273.
2. Ивашкин Ю.А. Маслов М.Г. Система поддержки принятия решений при составлении расписания занятий в вузе // Новые информационные технологии в региональной инфраструктуре и образовании: Труды международной научно-технической конференции. - Астрахань, 2001. - С.169-171.
3. Ивашкин Ю.А., Дзюбко СИ., Маслов М.Г. Экспертная система построения расписания работы сотрудников // Интеллектуальные системы (ИНТЕЛС2002): Труды пятого международного симпозиума. 2 - 4 июля 2002 г. - Калуга, 2002. - С.275-277.
4. Маслов М.Г. Эвристический алгоритм решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе // Математические методы в технике и техно-

- логиях: Сб. трудов XV Международной научной конференции. В 10-и т. 2 - 4 июня 2002 г. - Тамбов, 2002. - Т. 9. - С.86-88.
5. Маслов М.Г. Система построения расписания работы сотрудников // Теория конфликта и её приложения: Труды второй всероссийской научно-технической конференции. 30 сентября - 4 октября 2002 г. - Воронеж, 2002. - С.209-211.
 6. Маслов М.Г. Алгоритм решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе // Теория конфликта и её приложения: Труды второй всероссийской научно-технической конференции 30 сентября - 4 октября 2002 г. - Воронеж, 2002. - С.216-217.
 7. Маслов М.Г. Генетический алгоритм для задачи составления расписания занятий в вузе // Современные проблемы математики, механики, информатики: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 20 - 22 ноября 2002 г. - Тула: ТулГУ. 2002. - С. 214-218.
 8. Маслов М.Г. Автоматизированная система построения графиков работы персонала для организаций с плавающим режимом работы // Современные проблемы математики, механики, информатики: Тезисы докладов Всероссийской научной конференции. 20 - 22 ноября 2002 г. - Тула: ТулГУ. 2002.-С.218-222.
 9. Маслов М.Г. Автоматизированная система составления расписания учебных занятий в вузе // Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании: Труды XI международной научно-технической конференции. 22 - 23 мая 2003 г. - Пенза, 2003.-С.303-305.
 10. Маслов М.Г. Применение генетического алгоритма для решения задачи составления расписания занятий в вузе // Компьютеризация обучения и проблемы гуманизации образования в техническом вузе: Труды международной научно-методической конференции. 15 - 18 апреля 2003 г. - Пенза, 2003. - С.296-298.
 11. Маслов М.Г. Применение эвристического подхода для разработки алгоритма составления расписания занятий в вузе // Университетское образование: Труды VII международной научно-методической конференции. 10-11 апреля 2003 г. - Пенза, 2003. - С.165-166.
 12. Маслов М.Г. Автоматизированная система планирования работы сотрудников Современные информационные технологии в науке, производстве, образовании и управлении // Труды третьего украинско-

российского научно-технического и методического симпозиума. 16-19 апреля 2003 г. - Хмельницкий, 2003. - С.156-158.

13. Маслов М.Г. Эвристический подход при автоматизированном составлении расписания учебных занятий в вузе // Применение новых технологий в образовании: Материалы XIV международной научной конференции. 26 - 27 июня 2003 г. - Троицк, 2003. - С.324-326.
14. Маслов М.Г. Решение задачи составления плавающего графика работы персонала для организаций с изменяющейся по времени потребностью в нём // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта : Труды 2-й международной научно-технической конференции. 25 - 27 июня 2003 г. - Вологда, 2003 - С. 146-149.
15. Маслов М.Г. Компьютерная система для подготовки расписания занятий в вузе // Инновации в науке и образовании - 2003: Труды международной научной конференции, посвященной 90-летию высшего рыбохозяйственного образования в России. 13-15 октября 2003 г. - Калининград, 2003. - С.257.
16. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004610313. "Университетское расписание" ("UniSched"). /Ивашкин Ю.А., Маслов М.Г./ - М.: Роспатент, 2004.
17. Свидетельство об официальной регистрации базы данных № 2004620036. "Расписание учебных занятий в вузе" ("UniSched DB"). /Ивашкин Ю.А., Маслов М.Г./ - М.: Роспатент, 2004.



Отпечатано в типографии ООО "Фронтэра"
ПД № 1-0097 от 30.08.2001г.
Москва, Талалихина, 33

Подписано к печати 25.05.2004г.
Формат 60x90/8. Бумага "Офсетная № 1" 80г/м².
Печать трафаретная. Усл.печл. 1,50. Тираж 100 Заказ 096
МГУПБ. 109316, Москва, ул. Талалихина, 33

WWW.FRANTERA.RU

04 - 14045