

УДК 004.42:378

**Ю. С. КАБАЛЬНОВ, Л. И. ШЕХТМАН, Г. Ф. НИЗАМОВА,  
Н. А. ЗЕМЧЕНКОВА**

## **КОМПОЗИЦИОННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

Проводится анализ существующих подходов к составлению расписания учебных занятий. Предлагается структурный подход представления исходной информации при составлении расписания занятий в образовательных системах массового обучения. Приводится математическая модель задачи составления расписания учебных занятий. Предлагается композиционный генетический алгоритм, основанный на структурном описании объектов расписания. *Образовательные системы; расписание учебных занятий; учебные планы*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Составление расписания занятий является одной из важных задач, решаемых при планировании учебного процесса. В первую очередь, это связано с тем, что без расписания занятий невозможно функционирование любого учебного заведения. Иными словами, расписание учебных занятий должно быть составлено своевременно. Кроме того, расписание должно быть «качественно» составленным, т. е. отвечать ряду требований и критериев. В качестве таких критериев могут выступать критерии, отражающие экономическую эффективность использования имеющихся ресурсов образовательной системы, комфортность учебы студентов и работы ППС, ограничения по времени обучения и т. д.

Задача составления расписания относится к задачам целочисленного программирования, сложность решения которых растет экспоненциально с ростом числа и возможных значений варьируемых переменных (такие задачи относятся к классу NP-трудных задач). Кроме того, для нее характерно наличие большого объема различной по своему составу исходной информации и большого числа трудноформализуемых требований.

Указанные сложности препятствуют автоматизации процедуры составления расписания, несмотря на наличие широкого спектра методов целочисленного программирования: методов полного перебора, метода ветвей и границ, метода раскраски графов, эвристических методов. Так, в группе работ [1, 3] для автоматизации процедуры составления расписания занятий предлагаются подходы, осно-

ванные на так называемых точных (классических) методах и алгоритмах целочисленного программирования.

Недостатком данных методов является громоздкость и сложность получаемой математической модели задачи составления расписания, резкий рост временных затрат с ростом объемов исходной информации на поиск решения в силу NP-сложного характера задачи составления расписания в ее классической постановке. Кроме того, в данных работах слабо учитываются структурные особенности объектов расписания (преподаватели, группы, аудитории, дисциплины, временные интервалы занятий), между которыми существуют сильные связи, обусловленные спецификой организации учебного процесса. Так, например, преподаватели ведут занятия в строго определенных группах и в строго определенное время. Более того, занятия в группах ведутся по строго определенным дисциплинам в соответствии с учебным планом. Отметим, что часть из указанных объектов имеет иерархическую структуру. Так, например, учебные группы могут объединяться в потоки, включающие в себя группы одного курса одной специальности. Такие потоки назовём «малыми». В свою очередь эти «малые» потоки могут входить в качестве составных частей в другие более крупные потоки — из групп нескольких специальностей и т. д. Поэтому предлагаемые в данных работах подходы оказываются малоэффективными при составлении расписания занятий для образовательных систем массового обучения.

В последнее время все чаще для решения большеразмерных задач целочисленного про-

граммирования, в том числе задачи составления расписания, используют различные эвристические методы [2]. К числу таких методов относятся так называемые генетические алгоритмы, которые и являются предметом исследования в настоящей статье.

С учетом всего вышесказанного можно сказать, что разработка генетических алгоритмов оптимизации, учитывающих структурные особенности расписания учебных занятий, является актуальной задачей. В настоящей работе для составления расписания занятий предлагается композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий, основанный на структуризации исходной информации, адаптированных к ней генетических операциях и структурном представлении объектов генетической оптимизации.

### 1. СТРУКТУРИЗАЦИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

В качестве исходной информации при составлении расписания учебных занятий выставляют:

а) множество  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{N_d}\}$  дисциплин изучения;

б) множество  $G = \{g_1, g_2, \dots, g_{N_g}\}$  учебных групп;

в) множество  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{N_p}\}$  преподавателей;

г) множество  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{N_a}\}$  имеющихся в распоряжении аудиторий;

д) множество  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{N_t}\}$  временных интервалов (пар),

где  $N_d$  — число дисциплин обучения,  $N_g$  — число учебных групп,  $N_p$  — число преподавателей,  $N_a$  — число аудиторий,  $N_t$  — число пар в течение семестра.

Между данными множествами имеют место связи, вытекающие из организационной структуры образовательной системы, реализующей учебный процесс. Поэтому в качестве теоретико-множественной модели расписания можно рассматривать функцию, отображающую декартово произведение множеств  $R = D \times G \times A \times P \times T$  на множество  $\{0, 1\}$ :

$$r : D \times G \times A \times P \times T \rightarrow \{0, 1\},$$

причем  $r(d_i, g_l, p_m, a_j, t_k) = 1$  означает, что занятия по дисциплине  $d_i$  для группы  $g_l$  проводятся преподавателем  $p_m$  в аудитории  $a_j$  во время пары  $t_k$ .

Заметим, что в этой модели не отражена информация о виде занятий (лекционное, практическое, лабораторное) и не учтена возможность проведения занятий различных видов по одной и той же дисциплине разными преподавателями.

Учитывая большую размерность и разнородность исходной информации целесообразно, на наш взгляд, использовать для её представления приемы агрегирования и декомпозиции. Это позволит структурировать исходную информацию, а именно, представить ее в виде совокупности объектов с указанием существующих между ними связей.

Рассмотрим более детально использование указанных процедур при описании объектов «преподаватели», «аудитории», «временные интервалы», «дисциплины» и «группы».

**Описание объекта «аудитории».** Можно осуществить классификацию всех аудиторий (множество  $A$ ), имеющихся в распоряжении учебного заведения, на 3 вида:

- аудитории для проведения лекционных занятий (множество  $A_b$ );

- аудитории для проведения практических занятий (множество  $A_s$ );

- аудитории для проведения лабораторных занятий (множество  $A_l$ ).

Очевидно, что  $A = A_b \cup A_s \cup A_l$ .

Классификации имеющихся аудиторий только на три вида может быть недостаточно. Для большинства вузов характерно наличие потоковых занятий, причем потоки могут формироваться из групп нескольких специальностей одного курса (например, для общих и естественнонаучных дисциплин) и включать в себя 7–8 групп («большие» потоки), а могут состоять из нескольких (2–3) групп одной специальности («малые» потоки). Поэтому, на наш взгляд, можно «раздробить» множество  $A_b$  на два подмножества:  $A_b$  — «больших» аудиторий для «больших» потоков, и  $A_m$  — «средних» аудиторий для «малых» потоков.

В свою очередь лабораторные занятия должны проводиться не просто в некоторой лаборатории, а в лаборатории определенной кафедры, поэтому множество всех лабораторий разобьем на  $n_k$  подмножеств, где  $n_k$  — число кафедр.

Очевидно, что  $A = A_b \cup A_m \cup A_s \cup A_l$ .

Естественно, одну группу можно разместить и в малой, и в средней, и в большой аудитории, поток из одной специальности — и в средней, и в большой, а поток из нескольких специальностей — только в большой.

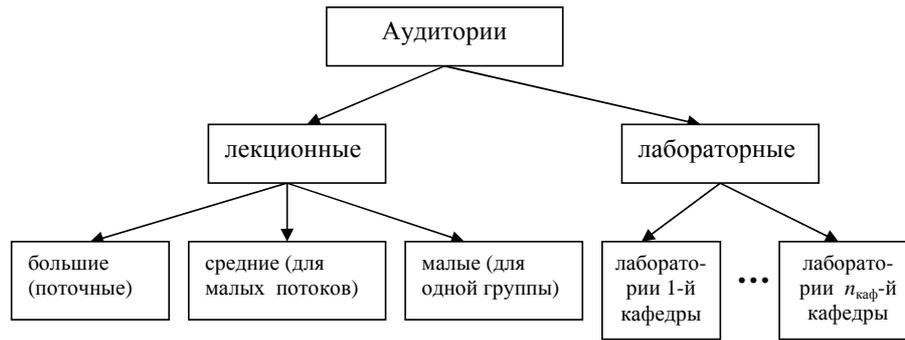


Рис. 1. Иерархическая структура объекта «аудитории»

Поэтому удобнее использовать следующее разбиение:  $A = A_{bms} \cup A_{bm} \cup A_b \cup A_l$ , где  $A_{bms} = A_b \cup A_m \cup A_s$ ,  $A_{bm} = A_b \cup A_m$ .

Такое разбиение множества аудиторий позволит организовать более быстрый поиск подходящей для занятия аудитории при составлении расписания. Иерархическая структура объекта «аудитории» представлена на рис. 1.

Каждая аудитория имеет идентификатор, который показывает её место расположения (номер корпуса, номер этажа, номер комнаты), но не назначение аудитории. Например, идентификатор 6-203 означает, что аудитория располагается в 6 корпусе, на 2 этаже, но при этом неясно, каково назначение данной аудитории: лаборатория, лекционная аудитория и т. д. Для формального описания  $j$ -й аудитории, расположенной в  $v$ -м учебном корпусе под номером  $s$  и имеющей тип  $type$  введем в рассмотрение 3-арный кортеж:

$$A = \{a_j\}, \quad a_j = (a_v^j, a_s^j, a_{type}^j), \quad j = \overline{1, N_a}, \quad (1)$$

где индекс  $type$  принимает значения «большая», «средняя», «малая», «лабораторная».

**Описание объекта «временные интервалы занятий».** Расписание в вузе обычно составляется на один семестр. Для каждой специальности обучения известно число недель, число учебных дней в неделе (например, шесть) и число пар в один день.

Временные интервалы (пары) проведения занятий предлагается описывать в виде множества  $T = \{t_k\}$ , каждый элемент которого представляет собой 3-арный кортеж вида:

$$T = \{t_k\}, \quad t_k = (t_w^k, t_q^k, t_r^k), \quad (2)$$

где  $t_w^k = \overline{1, N_{week}}$  — номер недели;  $t_d^k = \overline{1, N_{dpw}}$  — номер дня недели;  $t_p^k = \overline{1, N_{cpd}}$  —

номер пары в течение дня ( $N_{dpw}$  — число дней в неделе,  $N_{cpd}$  — число пар в течение одного дня).

**Описание группы объектов «дисциплины», «преподаватели», «учебные группы».**

На основе имеющейся информации о нагрузке преподавателей, об учебных группах и об учебных планах специальностей можно сказать, что объекты  $D, P, G$  однозначно определяют, какие именно занятия по каким дисциплинам и в каких группах должен провести определенный преподаватель. Учитывая существующие между данными объектами связи, представляется возможным образование новой структуры, которую можно назвать агрегированным объектом — «занятие» (рис. 2).

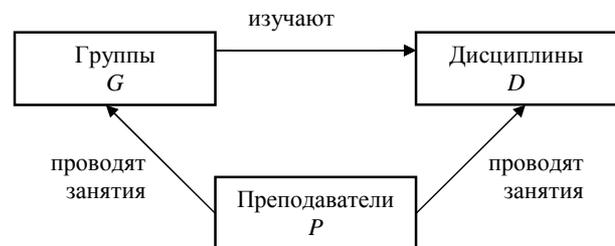


Рис. 2. Структура агрегированного объекта «занятие»

Тогда теоретико-множественное описание объекта «занятие» можно представить следующим образом:

$$Z = \{z_i\} = (z_p^i, z_d^i, z_g^i, z_s^i, z_e^i, z_h^i, z_w^i, z_c^i, z_l^i, z_a^i), \quad (3)$$

где  $z_i$  —  $i$ -й элемент множества циклов занятий  $Z$  ( $i = \overline{1, N_c}$ );  $z_p^i$  — преподаватель;  $z_d^i$  — дисциплина;  $z_g^i$  — учебная группа (из множества  $G$ ) или поток из нескольких учебных групп (из множества  $S$ ),  $z_g^i \in G \vee z_g^i \in S$ ;  $z_s^i \in \{0, 1\}$  — признак поточного занятия: если  $z_s^i = 1$ , то данный цикл содержит поточные занятия и в таком случае компонента

$z_g^i \in S$ ; если же  $z_s^i = 0$ , то компонента  $z_g^i \in G$ ;  $z_e^i \in \{\frac{1}{2}, 1\}$  — признак полугруппы: если  $z_e^i = \frac{1}{2}$ , то в занятиях данного цикла участвует только половина группы; если же  $z_e^i = 1$ , то участвует группа целиком;  $z_h^i$  — длительность цикла (число занятий);  $z_w^i \in \{1, 2\}$  — интенсивность занятий в цикле: если  $z_w^i = 1$ , то занятия в цикле проводятся 1 раз в неделю; если же  $z_w^i = 2$ , то — 1 раз в 2 недели;  $z_c^i$  — длина (число пар) одного занятия;  $z_l^i$  — параметр, определяющий вид занятия;  $z_a^i$  — код допустимого подмножества аудиторий.

Итак, на основе произведенных процедур декомпозиции и агрегирования при составлении расписания будем оперировать следующими тремя множествами объектов:

$Z = \{z_i\}$ ;  $i = \overline{1, N_c}$  — множество циклов занятий;

$A = \{a_j\}$ ;  $j = \overline{1, N_a}$  — множество учебных помещений для проведения занятий;

$T = \{t_k\}$ ;  $k = \overline{1, N_t}$  — множество учебных единиц времени в течение семестра (пар).

С учетом (1)–(3) расписание учебных занятий можно полностью определить двумя векторами  $\alpha$  и  $\tau$ :

$$\begin{aligned} \alpha &= (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_{N_c}), \\ \tau &= (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_{N_t}), \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\alpha_i \in A$  — код аудитории, назначенной циклу занятий  $z_i$ ,  $\tau_i \in T$  — код пары, назначенной первому занятию из цикла занятий  $z_i$ ,  $i = \overline{1, N_c}$ .

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

Все требования, предъявляемые к расписанию учебных занятий, условно разобьем на две группы: обязательные и желательные. К первой группе относятся требования, невыполнение которых делает невозможным осуществление учебного процесса. Эти требования будем рассматривать в качестве ограничений оптимизационной задачи составления расписания.

Вторая группа включает в себя требования, выполнение которых является желательным. К числу данных требований относятся:

- соблюдение равномерности распределения занятий в течение недели,
- соблюдение соответствия между характером занятий и временным интервалом их проведения (например, лекции желательно проводить в начале учебного дня и т. д.);

- учет пожеланий преподавателей относительно своего расписания занятий;

- требования, связанные с обеспечением комфорта преподавателей и студентов, а также спецификой вуза (например, минимизация количества переходов из одного учебного корпуса в другой).

Эти требования будем рассматривать в качестве критериев.

### Описание ограничений

1) Отсутствие накладок для учебных групп.

$$\forall (g_j, t_k) : g_j \in G, t_k \in T$$

$$\sum_{i \in Z^{g_j} \cap Z^{t_k}} z_e^i \leq 1, \quad (5)$$

где  $Z^{g_j}$  — множество циклов, в которых участвует группа  $g_j$ ,  $Z^{t_k}$  — множество циклов, «занимающих» пару  $t_k$ . Таким образом, для каждой упорядоченной двойки (группа, пара), сумма компонент  $z_e^i$  циклов из множества  $Z^{g_j} \cap Z^{t_k}$  не превышает 1. Это означает, что во время данной пары эта группа студентов либо присутствует на одном занятии целиком, либо обе подгруппы данной группы присутствуют на двух занятиях, либо одна из подгрупп присутствует на одном занятии; либо данная группа во время данной пары свободна.

Поясним условие выделения диапазона для суммирования. Занятия, объединенные в циклы, могут быть не поточными ( $z_s^i = 0$ ) или поточными ( $z_s^i = 1$ ). В первом случае достаточно проверить, совпадает ли код группы, участвующей в цикле занятий ( $z_g^i$ ) с интересующим нас кодом группы  $g_j$ . Во втором случае компонента  $z_g^i$  является кодом потока, т. е. множества групп, и необходимо проверить, входит ли группа  $g_j$  в поток  $z_g^i$ . Получим

$$\begin{aligned} Z^{g_j} &= \{z_i : (z_m^i = 0) \wedge (z_g^i = g_j) \vee \\ &\vee (z_m^i = 1) \wedge (g_j \in z_g^i)\}. \end{aligned}$$

Компонента  $\tau_i$  указывает на номер пары в течение семестра, присвоенной первому занятию цикла  $z_i$ . Однако каждый цикл  $z_i$  в общем случае занимает не одну, а несколько пар. Номер недели пары  $t_k$ , «занимаемой» циклом  $z_i$ , должен удовлетворять условию  $\tau_w^i \leq t_k \leq \tau_w^i + (z_h^i - 1) \cdot z_w^i$  в любом случае (и при  $z_w^i = 1$ , и при  $z_w^i = 2$ ). Кроме того, в случае, когда занятия проводятся через неделю ( $z_w^i = 2$ ), номер недели пары  $t_k$  должен

быть четным при четном значении  $\tau_w^i$  и нечетным при нечетном  $\tau_w^i$  ( $\tau_w^i \bmod 2 = t_w^k \bmod 2$ ). Номер дня пары  $t_k$  должен совпадать с номером дня, присвоенным циклу ( $t_d^k = \tau_d^i$ ), а номер пары в течение дня ( $t_p^k$ ) должен совпадать с номером пары в течение дня, присвоенным циклу ( $t_p^k = \tau_p^i$ ) или, в случае, когда одно занятие цикла содержит две пары ( $z_c^i = 2$ ), — со следующим номером пары ( $t_p^k = \tau_p^i + 1$ ). Получаем

$$\begin{aligned} Z^{t_k} = \{ & z_i : ((\tau_w^i \leq t_w^k \leq \tau_w^i + (z_h^i - 1) z_w^i) \wedge \\ & \wedge ((z_w^i = 1) \vee (z_w^i = 2) \wedge \\ & \wedge (\tau_w^i \bmod 2 = t_w^k \bmod 2))) \wedge \\ & \wedge (t_d^k = \tau_d^i) \wedge ((t_p^k = \tau_p^i) \vee (z_c^i = 2) \wedge \\ & \wedge (t_p^k = \tau_p^i + 1))\}; \quad (6) \end{aligned}$$

2) Отсутствие накладок для аудиторий.

$$\begin{aligned} \forall (a_r, t_k) : a_r \in A, t_k \in T \\ (\exists! z_i : (\alpha_i = a_r) \wedge (z_i \in Z^{t_k})) \vee \\ \vee (\neg \exists z_i : (\alpha_i = a_r) \wedge (z_i \in Z^{t_k})), \quad (7) \end{aligned}$$

где  $Z^{t_k}$  — множество циклов занятий, «занимающих» пару  $t_k$ .

Таким образом, для каждой упорядоченной двойки (аудитория, пара), либо существует единственный цикл занятий, которому присвоена данная аудитория и который «занимает» данную пару, либо такого цикла не существует, т. е. аудитория свободна.

3) Отсутствие накладок для преподавателей.

$$\begin{aligned} \forall (p_u, t_k) : p_u \in P, t_k \in T \\ (\exists! z_i : (z_p^i = p_u) \wedge (z_i \in Z^{t_k})) \vee \\ \vee (\neg \exists z_i : (z_p^i = p_u) \wedge (z_i \in Z^{t_k})), \quad (8) \end{aligned}$$

где  $Z^{t_k}$  — множество циклов занятий, «занимающих» пару  $t_k$ .

Таким образом, для каждой упорядоченной двойки (преподаватель, пара) либо существует единственный цикл занятий, в котором «занят» данный преподаватель во время данной пары, либо такого цикла не существует вовсе, т. е. преподаватель свободен.

4) Отсутствие «окон» для групп студентов.

Введем в рассмотрение множество учебных дней  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_v, \dots, b_{N_{\text{day}}}\}$ .

Каждый элемент данного множества  $b_v$  ( $v = \overline{1, N_{\text{day}}}$ ) представляет собой множество:  $b_v = \{t_q \in T : t_q^d = b_v\}$ .

Тогда рассматриваемое ограничение можно выразить так:

$$\begin{aligned} \forall (b_v, g_j) : b_v \in B, g_j \in G \\ \left( \sum_{i \in I_{g_j}^{b_v}} [z_e^i] z_c^i = t_{\max}^{b_v} - t_{\min}^{b_v} + 1 \right) \wedge \\ \wedge \left( \forall t : t_{\min} 1_{g_j}^{b_v} \leq t \leq t_{\max} 1_{g_j}^{b_v} \right. \\ \left. \sum_{i: z_i \in Z^{g_j} \wedge \tau_p^i = t} z_e^i = 1 \right), \quad (9) \end{aligned}$$

где  $I_{g_j}^{b_v} = \{i : (z_i \in Z^{g_j}) \wedge (\tau_d^i = b_v)\}$  — множество номеров циклов, в которых одно из занятий проводится в день  $b_v$  для группы  $g_j$ ;  $t_{\min}^{b_v} = \min_{i \in I_{g_j}^{b_v}} \tau_p^i$  ( $t_{\max}^{b_v} = \max_{i \in I_{g_j}^{b_v}} \tau_p^i$ ) —

минимальный (максимальный) номер пары в течение дня  $b_v$  среди пар, проводимых в этот

день для группы  $g_j$ ;  $I_{b_v g_j \tau_p^i} = \left\{ i \mid (i \in I_{g_j}^{b_v}) \wedge \right.$

$\left. \left( \sum_{m: (z_m \in I_{g_j}^{b_v}) \wedge (\tau_p^m = \tau_p^i)} z_e^m = 1 \right) \right\}$ ;  $t_{\min} 1_{g_j}^{b_v} =$

$= \min_{i \in I_{b_v g_j \tau_p^i}} \tau_p^i$  ( $t_{\max} 1_{g_j}^{b_v} = \max_{i \in I_{b_v g_j \tau_p^i}} \tau_p^i$ ) —

в отличие от величины  $t_{\min}^{b_v}$  ( $t_{\max}^{b_v}$ ) на диапазон рассматриваемых циклов налагается дополнительное условие: в паре  $\tau_p^i$  дня  $b_v$  должна быть задействована вся группа  $g_j$ .

Таким образом, для каждой упорядоченной двойки (день, группа), во-первых, число пар должно быть равно величине  $t_{\max}^{b_v} - t_{\min}^{b_v} + 1$ ; во-вторых, начиная с первой пары, «занимающей» всю группу, во всех последующих парах дня также должна быть занята вся группа. Вторая часть выражает требование отсутствия «окон» для подгрупп.

5) Число проведенных пар в течение дня для каждой учебной группы не должно превышать заданное.

$$\forall (b_v, g_j) : b_v \in B, g_j \in G \quad \sum_{i \in I_{g_j}^{b_v}} z_e^i \cdot z_c^i \leq N_{\text{ppd}}, \quad (10)$$

где  $N_{\text{ppd}}$  — число пар в день.

6) Соответствие типа аудитории виду занятия.

$$\forall z_i \in Z \quad \alpha_i \in A^{z_i^i}, \quad (11)$$

т. е. для каждого блока занятий  $z_i \in Z$  аудитория назначается только из допустимого подмножества аудиторий, код которого хранится в компоненте  $z_a^i$  вектора  $z_i$ .

7) Необходимость проведения запланированных на семестр занятий в полном объеме.

$$\forall z_i \in Z \quad 1 \leq \tau_w^i \leq \leq N_{\text{week}} - ((z_h^i - 1) \cdot z_w^i + 1) - 1, \quad (12)$$

где  $(z_h^i - 1) \cdot z_w^i + 1$  — длина цикла в неделях с учётом интенсивности.

Теперь сформулируем задачу составления расписания учебных занятий. Для заданных множеств  $A, T, Z$  (1)-(3), требуется найти такое расписание  $(\alpha, \tau)$  (4), которое удовлетворяет ограничениям (5)–(12) и минимизирует значение критерия  $P$  потерь «качества» расписания

$$P = f(\alpha, \tau) = \sum_{i=1}^N c_i w_i(\alpha, \tau),$$

где  $c_i$  — коэффициент штрафа за невыполнение  $i$ -го требования,  $w_i$  — оценка, определяющая степень невыполнения  $i$ -го требования.

### 3. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ И ЭТАПОВ КОМПОЗИЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

В генетическом алгоритме решения задачи составления учебного расписания каждая особь является одним из возможных решений задачи, т. е. вариантом расписания. Формула (4), как было сказано, выражает математическую модель расписания. Следуя этой модели, предлагается рассматривать особь, состоящую из двух хромосом (рис. 3).

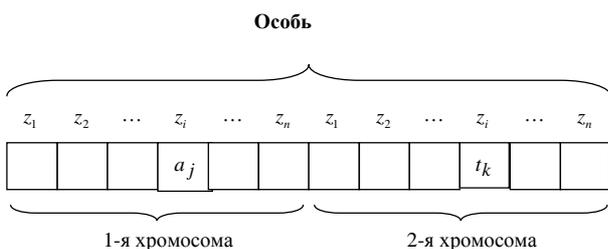


Рис. 3. Структура особи (варианта расписания занятий)

Каждая хромосома, в свою очередь, состоит из генов, обозначаемых целыми числами  $1, 2, \dots, i, \dots, N$ , причем номер гена соответствует номеру цикла занятия, так,  $i$ -й ген и в первой и во второй хромосоме характеризует цикл занятия  $z_i$  из множества  $Z$ . Информационным наполнением первой хромосомы являются аудитории, второй хромосомы — время проведения занятий (пары). Таким образом, в первой хромосоме значением  $i$ -го гена является номер (код) аудитории из подмножества допустимых аудиторий, в которой предполагается провести данное занятие. Аналогично во второй хромосоме значением  $i$ -го гена является номер пары из допустимого подмножества временных интервалов (пар) обучения. Это означает, что первая и вторая хромосомы связаны с блоком циклов занятий особой связью, которую можно назвать связью «однозначного соответствия».

Тем самым, при выборе аудитории и пары для проведения занятия просматриваются не все имеющиеся аудитории и пары (временные интервалы), а только та их часть, которая обеспечивает наибольшую эффективность решения задачи составления расписания: хорошее быстроедействие, строгое соответствие типа аудитории характеру занятия для всех циклов занятий. Это оказывается возможным:

- а) благодаря введению агрегированного блока  $Z$ , названного нами цикл занятий, объединяющего в себе три множества: множество  $D$  дисциплин изучения, множество  $P$  преподавателей, множество  $G$  учебных групп;
- б) благодаря предложенной процедуре декомпозиции, заключающейся в разбиении исходного множества  $A$  аудиторий на категории в зависимости от их назначения.

Таким образом, каждая особь (вариант расписания) будет содержать в себе все необходимые циклы (блоки) занятий с присвоенными им номерами аудиторий и установленными номерами пар (учебных единиц времени) и тем самым **однозначно** определять место и время проведения занятий, запланированных на семестр.

Поиск оптимального расписания занятий с использованием генетических алгоритмов будет проходить в несколько этапов:

#### 3.1. Создание начальной популяции

Случайным образом формируется заданное число особей. Формирование каждой особи происходит следующим образом.

Поочередно для каждого гена первой и второй хромосомы, условно обозначающего цикл (блок) занятий, приписывается некоторое значение, для первой хромосомы этим значением будет номер аудитории из числа допустимых (подходящих) для данного цикла (блока) занятия, для второй хромосомы – номер пары из подмножества допустимых для данного цикла (блока) пар. Аналогичным образом формируются следующие особи популяции.

### 3.2. Селекция особей

На данном шаге происходит отбор (селекция) наиболее приспособленных особей (вариантов расписания), имеющих наиболее предпочтительные значения используемой функции пригодности по сравнению с остальными особями.

В данной работе предлагается использовать метод, называемый «элитным отбором» или «элитной стратегией», который при решении данной задачи заключается в следующем: из предыдущей популяции выбирается только некоторое число отдельных особей (вариантов расписаний), имеющих наименьшее значение весовой функции – критерия, отражающего выполнение желательных требований. Выявленные таким способом «элитные» особи без каких-либо изменений переходят в следующее поколение.

Оставшееся количество «свободных мест» в новой популяции заполняется особями, полученными в результате скрещивания (кроссингвера) и мутации особей.

### 3.3. Скрещивание

Скрещивание (кроссингвер) особей происходит по следующей схеме: случайным образом из числа наиболее приспособленных выбираются две особи. Далее для каждой пары отобранных особей случайным образом разыгрываются позиции гена (локус)  $L_1$  и  $L_2$  и производится обмен участками генетического кода между соответствующими хромосомами родительских особей (рис. 4).

При предложенной схеме скрещивания двух особей не происходит изменение общего количества генов, условно обозначающих циклы занятий. Также в каждой из хромосом выбранных особей не меняется порядок следования генов внутри каждой хромосомы. Учитывая тот факт, что при выборе номера аудитории и номера пары строго учитывался вид занятия, после процедуры скрещивания

не требуется проверки особей на «правильность» выбора аудитории и номера пары для проведения занятий. Это позволяет избежать лишних проверок на корректность особей, полученных в результате процедуры скрещивания.

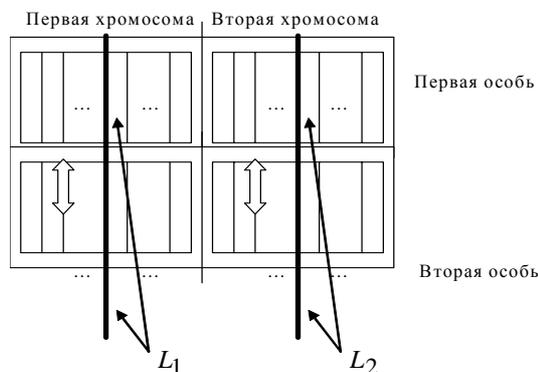


Рис. 4. Схема скрещивания (кроссингвера) двух особей

### 3.4. Мутация

К некоторым особям применяется оператор мутации. В предлагаемом алгоритме этот оператор изменяет значение нескольких генов особи на другие допустимые для данного гена значения, например, заменяет номер аудитории для некоторого занятия на другой номер аудитории из допустимого для данного типа занятий подмножества аудиторий. Полученные в результате такой мутации варианты расписаний остаются допустимыми по требованиям (6) и (7).

### 3.5. Проверка условия останова алгоритма

В результате применения операторов отбора, скрещивания и мутации формируется популяция потомков, которая заменяет родительскую популяцию, после чего выполняется проверка условия останова алгоритма. Предлагается в качестве такого условия использовать следующее: некоторый процент (60–80%) особей имеет одинаковые значения функции приспособленности. Действительно, в процессе работы генетического алгоритма в популяции будут накапливаться наиболее приспособленные особи и в какой-то момент их количество и качество достигнет необходимого уровня. При выполнении заданного в алгоритме условия останова осуществляется переход к следующему этапу, иначе происходит переход к этапу 2 и процесс поиска оптимального решения продолжается.

Составление расписания занятий в ВУЗе		
База данных	Расписание	
	МС-204	МС-205
Понедельник	+++++++	+++++++
8:00:00-9:35:00		Каримов Р. Р.  2 2 Прак 1-126
9:45:00-11:20:00	Каримов Р. Р.  2 2 Прак 1-213	Уразбахтин Р. Н.  2 2 Прак 3-136
12:10:00-13:45:00	Уразбахтин Р. Н.  1 3 Лек 1-125   Кабальнов Ю. С.  1 1 Лек 1-124	Уразбахтин Р. Н.  1 3 Лек 1-125   Кабальнов Ю. С.  1 1 Лек 1-124
13:55:00-15:30:00	Ахмадеев Р. В.  1 2 Лек 1-126	Ахмадеев Р. В.  1 2 Лек 1-126
16:10:00-17:45:00	Лукашук Ю. В.  2 2 Прак 1-125	
17:55:00-19:30:00		
Вторник	+++++++	+++++++
8:00:00-9:35:00		
9:45:00-11:20:00		
12:10:00-13:45:00	Кабальнов Ю. С.  2 2 Прак 2-130	Лукашук Ю. В.  2 2 Прак 4-134
13:55:00-15:30:00	Уразбахтин Р. Н.  1 2 Лек 1-123	Уразбахтин Р. Н.  1 2 Лек 1-123
16:10:00-17:45:00	Бибакоева Н. Я.  1 2 Лек 1-126	Бибакоева Н. Я.  1 2 Лек 1-126
17:55:00-19:30:00	Карев В. П.  1 2 Лек 1-124	Карев В. П.  1 2 Лек 1-124
Среда	+++++++	+++++++
8:00:00-9:35:00		
9:45:00-11:20:00	Лукашук Ю. В.  1 3 Лек 1-123	Лукашук Ю. В.  1 3 Лек 1-123
12:10:00-13:45:00	Стапанова Ю. А.  1 2 Лек 1-126	Стапанова Ю. А.  1 2 Лек 1-126
13:55:00-15:30:00	Уразбахтин Р. Н.  2 2 Прак 1-109	Кабальнов Ю. С.  2 2 Прак 1-114
16:10:00-17:45:00	Каримов Р. Р.  1 3 Лек 1-124	Каримов Р. Р.  1 3 Лек 1-124
17:55:00-19:30:00		

Рис. 5. Фрагмент экранной формы расписания

### 3.6. Выбор «наилучшей» особи

В последнем поколении в качестве решения задачи выбирается особь, которая в наибольшей степени удовлетворяет требованиям, предъявляемым к расписанию.

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ПРЕДЛОЖЕННОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Описанный в статье алгоритм реализован в среде программирования Delphi, для хранения исходной информации с помощью СУБД Access разработана база данных. Программа создает варианты расписаний, удовлетворяющие всем обязательным требованиям, среди которых выбирается лучший по желательным требованиям. Реализована возможность получения «мигающего» расписания. Проведен вычислительный эксперимент по составлению расписания занятий для 2-го курса специальности «Моделирование и исследование операций в ОТС». На рис.5 приведен фрагмент полученного расписания.

В среднем, время, затраченное на получение расписания, составило около одной минуты. Это на порядок меньше, чем при «ручном» составлении расписания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложено использовать идеи системного подхода при составлении расписаний учебных занятий для образовательных систем массового обучения, представляющих собой сложные организационные системы.

2. Предложен композиционный генетический алгоритм, особенностью которого являются:

- структурированное представление объектов (особи и хромосом) генетического алгоритма;

- модификация процедур скрещивания и мутации применительно к структурированному представлению объектов генетического алгоритма.

3. Разработана программа в инструментальной среде Delphi, реализующая предложенный композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий. Для хранения исходной информации с помощью СУБД Access создана база данных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Логоша, Б. А.** Комплекс моделей и методов оптимизации расписания занятий в вузе / Б. А. Логоша, А. В. Петропавловская // Экономика и математические методы. 1993. Т. 29, № 4. С. 668–675.
2. **Маслов, М. Г.** Эвристический алгоритм решения задачи составления расписания учебных занятий в вузе / М. Г. Маслов // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. XV Междунар. науч. конф. Тамбов, 2002. С. 86–88.
3. **Система** моделей и методов рационального планирования и организации учебного процесса в вузе / под ред. В. В. Гусева, Н. Я. Краснера. Воронеж : ВГУ, 1984. 152 с.



**Шехтман Лидия Ивановна**, доц. той же каф. Дипл. инж.-программист (УГАТУ, 1993). Канд. физ.-мат. наук по применению ВТ, мат. моделированию и мат. методам в науч. иссл. (УГАТУ, 1997). Иссл. в обл. мат. моделирования.



**Низамова Гузель Фанисовна**, ассистент, аспирантка той же каф. Дипл. преподаватель по математике и информатике (БГПУ, 2002). Готовит дис. по генетич. алгоритмам составления расписания для образоват. систем.

### ОБ АВТОРАХ



**Кабальнов Юрий Степанович**, проф., зав. каф. информатики. Дипл. инж. электронной техники (УАИ, 1971). Д-р техн. наук по управлению в технических системах (УГАТУ, 1993). Иссл. в обл. адаптивного и интеллектуального управления.



**Земченкова Наталья Анатольевна**, ст. преп. той же каф. Дипл. математик (БашГУ, 1992). Готовит дис. по эволюц. алгоритмам составления расписания занятий в вузе.