



УДК 519.6:371.214

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ© П.В. Бурнасов¹

Криворожский национальный университет,
50027, Украина, г. Кривой Рог, ул. 22 партсъезда, 11.

Рассмотрена математическая постановка задачи составления расписания занятий в вузе, отличающаяся от существующих возможностью обучения студентов при помощи виртуальных групп и подгрупп, в условиях несовпадения требований и пожеланий преподавателей и обучающихся. Проанализированы жесткие и нежесткие ограничения в задаче составления расписания. Созданная математическая постановка позволяет учитывать специфику различных учебных заведений.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: расписание занятий; модель данных; ограничения задачи расписания; индивидуальная траектория обучения; ресурсы вуза.

MATHEMATICAL FORMULATION OF THE PROBLEM OF CLASS TIMETABLES**P.V. Burnasov**

Kryvyi Rih National University,
11 XXII Partz'izdu St., Kryvyi Rih, 50027, Ukraine.

The article deals with the mathematical formulation of the problem of scheduling classes at university. It differs from the existing ones by the possibility of training students through virtual groups and subgroups under the lack of coincidence in teachers' and students' requirements and wishes concerning timetables. The article also analyzes rigid and non-rigid constraints in the scheduling problem. Developed mathematical formulation allows to consider the features of various educational institutions.

1 figure. 6 sources.

Key words: class timetables; data model; scheduling problem constraints; individual learning paths; university resources.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Многочисленные исследования в области теории расписаний доказывают, что создать оптимальное расписание за один цикл очень сложно, поскольку не существует единого критерия оптимальности для расписания занятий [1, 3, 4, 5]. Различные виды интегральных критериев оптимальности являются компромиссными и в большинстве случаев вступают в противоречие с локальными критериями оптимальности. Задачу составления оптимального расписания можно разложить на две подзадачи: составление полного расписания с разрешением всех противоречий и оптимизация составленного расписания. Обе подзадачи ресурсоемки и поэтому задача разработки эффективного алгоритма их решения является актуальной.

Анализ исследований и публикаций. Существующие системы построения расписаний занятий как в теоретической, так и в практических реализациях в той или иной степени решают проблему расписания групп учащихся и недостаточно или совсем не решают проблему обеспечения индивидуальной траектории обучения студента. В этом случае возникает еще некоторое количество сводных групп студентов, изучающих дисциплины по выбору, и согласование расписания этих групп с академическими группами значительно усложняет теорию и практику построения расписаний.

Цель исследований. Целью исследований является построение математической модели системы формирования расписания занятий с учетом индивидуальной траектории обучения студента вуза.

Изложение материала и результаты. Для составления полного расписания существует пять обобщенных методов обработки данных: полный перебор, алгоритмизация, эвристика, имитация (симуляция) и аналитическая методология [3]. Эвристика и полный перебор используются для определения времени и места проведения занятий для всех групп студентов и всех дисциплин для них. Имитация используется для определения оптимального варианта переноса занятий и каскадных изменений занятий и нагрузки преподавателей. Алгоритмическая методология применяется для последовательного улучшения расписания.

Процедуру составления расписания не следует рассматривать только как какую-то программу, которая реализует функцию распределения занятий перед началом семестра и его текущего корректирования. Необходимо осуществлять идентификацию нормативных моделей деятельности студентов, преподавателей и сотрудников, оценивать пожелания и требования кафедр и отдельных преподавателей, разрешать противоречия, накапливать знания в виде эффективных и неудачных расписаний, вести учет и анализ допущенных ошибок и т.д. Другими словами, задача со-

¹Бурнасов Павел Викторович, старший преподаватель кафедры информатики, автоматизации и систем управления, тел.: (38097) 3556392, e-mail: burnasov@inbox.ru

Burnasov Pavel, Senior Lecturer of the Department of "Information Science, Automation and Control Systems", tel.: (38097) 3556392, e-mail: burnasov@inbox.ru



ставления оптимального расписания является лишь частью сложного комплекса задач управления учебным процессом.

Формирование расписания занятий заключается в следующем. В учебном плане специальности, к которому "приписаны" студенческие группы, перечислены дисциплины, которые должны быть изучены студентом, с указанием их очередности. Практическая реализация этого плана в календарном графике работы студента, преподавателя и загрузки аудитории и есть расписание занятий. Иными словами, расписание устанавливает порядок проведения занятий во времени. При составлении расписания занятий важно обеспечить полное выполнение плановой нагрузки при условии обеспечения необходимых ограничений. Последние могут иметь характер универсальных, присущих всем учебным заведениям, и специфических, характерных для конкретного вуза. Строго говоря, расписание занятий для вуза – это совокупность расписаний: расписание занятий студентов-дневников; расписание факультативов (дисциплин по выбору студентов при условии формирования временных групп для их изучения); расписание экзаменов; расписание студентов-заочников; бронирование ресурсов (аудиторий, преподавателей), что не является непосредственно расписанием занятий, но является ограничивающим фактором для него. Расписание занятий студентов дневной формы обучения имеет периодический характер, экзаменов и занятий студентов заочной формы обучения – календарный характер.

В соответствии с вышеизложенным модель данных для расписания визуально можно представить в виде трехмерной матрицы (рисунок). Каждое занятие – т.е. комбинация "группа + преподаватель + дисциплина + вид занятий (лекция, семинар, лабораторная работа)" – это исходные данные расписания. Составление расписания – это назначение для каждого занятия аудитории и времени проведения занятий. Время проведения занятий имеет астрономические рамки – это полтора часовые интервалы времени, которые в высшем учебном заведении имеют название "пара". Кроме номера пары для однозначной идентификации времени проведения занятия необходимо определить день недели и четность недели (далее будем называть неделю просто – 1-я, 2-я и т.д.) или дату проведения занятия. Комбинацию "номер пары+неделя+день недели" будем называть "TimeSlot". TimeSlot – это число, которое отображает номер занятия (пары) во временной сетке в двухнедельном графике. Первая пара в понедельник по первой неделе имеет номер 1, вторая имеет номер 2, первая пара в понедельник по второй неделе имеет номер 21 и т.д. Двухнедельный график занятий для дневной формы обучения включает 9 пар в день (от нулевой до восьмой) и семь дней в неделю (с понедельника по воскресенье). Занятия дневной формы обучения, как правило, не планируются в субботу и воскресенье, но экзамены в период сессии планируются. Для заочной формы обучения используется календарный график обучения и к нему кроме TimeSlot, который обозначает номер пары, прибавляется конкретная дата проведе-

ния занятия. У дневной формы обучения – периодическая система формирования графика, в которой кроме TimeSlot фиксируются даты первого и последнего занятий. Можно использовать календарный или смешанный график проведения занятий и для дневной формы обучения, но такой подход неоправданно усложняет организацию учебного процесса.

Представленная на рисунке объемная модель данных является удобной для визуального восприятия (и то лишь при незначительном количестве занятий), а для практической работы используются послойные двумерные представления в виде таблиц – расписание занятий групп, преподавателей, загрузка аудиторий.

На практике диспетчеры при работе вручную, как правило, вырабатывают свой личный подход к составлению расписания на основе принятой в учебном заведении технологии. Например, сначала во временную сетку расписания расставляются все занятия (по учебному плану) всех учебных групп. При размещении занятий по времени диспетчер использует свой опыт решения задачи и расставляет занятия в соответствии с некоторыми принципами, например, сначала занятия в потоках в порядке уменьшения количества групп, потом занятия в одной группе с учетом занятости преподавателей. Потом, если нет дефицита аудиторий соответствующего класса и вместительности, в полученном расписании, где каждому занятию отвечает период времени из временной сетки расписания, проводится распределение аудиторий. При этом диспетчер руководствуется принятыми в конкретном образовательном учреждении правилами и соглашениями по размещению групп в аудиториях. В некоторых задачах составления расписания, например, при составлении расписания экзаменов или расписания занятий в условиях дефицита аудиторий соответствующего назначения и вместительности, тяжело выделить этапы составления расписания, так как в этом случае назначение аудиторий ведется одновременно с размещением занятий и экзаменов во времени. В данной статье рассматривается только задача составления академического расписания.

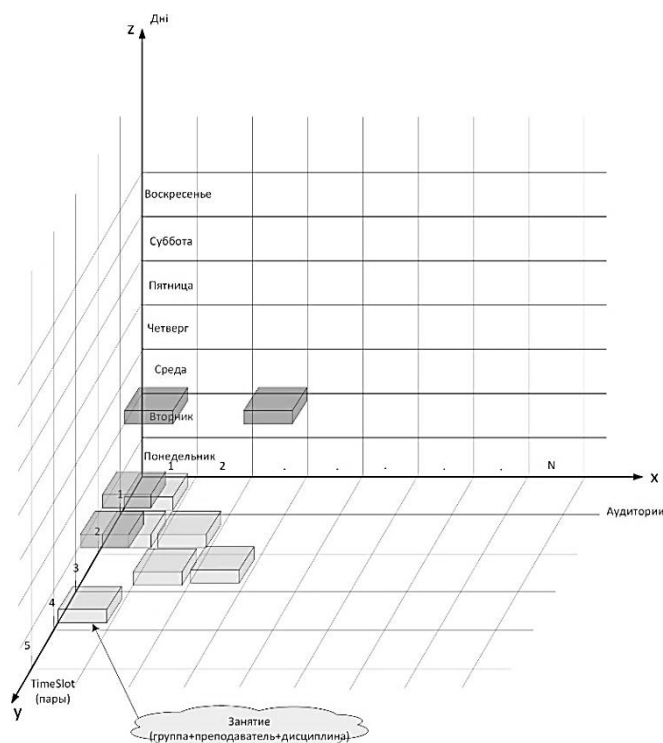
Учитывая принятый способ декомпозиции задачи, перейдем к математической постановке задачи. Сначала дадим формальные определения введенным ранее понятиям. Будем считать, что имеющиеся в задаче ресурсы задаются в виде следующих множеств [2].

Множество групп студентов:

$$G = \left\{ \left(g_i | i = \overline{1, N_G} \right) \right\}, \quad (1)$$

где N_G – общее число учебных групп, которые обучаются в образовательном учреждении; g_i – количество студентов в i -й группе.

Поскольку студенты имеют возможность выбирать дисциплины (из перечня предложенного учебным планом специальностей) для изучения по своему желанию, необходимо формировать временные сводные (виртуальные) группы из разных академических групп для изучения конкретной дисциплины. При составле-



Модель данных расписания занятий

нии расписания для таких сводных групп необходимо контролировать занятость всех академических групп, из которых составляется сводная группа. Тогда множество групп студентов будет иметь вид

$$G = \left\{ (g_{vi} | v = \overline{1, N_V}, i = \overline{1, N_G}) \right\}, \quad (2)$$

где N_V – общее число виртуальных групп для изучения избранных дисциплин в учебной группе; g_{vi} – количество студентов в v -й виртуальной (сводной) группе i -й академической группы. В случае, когда дисциплину изучает вся академическая группа, формула (2) принимает вид (1).

Множество аудиторий:

$$R = \left\{ (r_{jka} | j = \overline{1, N_R}, k = \overline{1, N_K}, a = \overline{1, N_A}) \right\}, \quad (3)$$

где N_R – количество имеющихся в k -ом корпусе образовательного учреждения аудиторий a -го типа; r_{jka} – вместительность j -й аудитории k -го корпуса a -го типа.

Тип аудитории определяет возможности ее использования для проведения занятий, например, лекционная аудитория, компьютерный класс, лаборатория химии, спортивный зал и т.д.

Множество преподавателей:

$$T = \left\{ (t_{kl} | k = \overline{1, N_T}, l = \overline{1, N_L}) \right\}, \quad (4)$$

где N_T – количество преподавателей; N_L – количество дисциплин; t_{kl} – k -й преподаватель, который может излагать l -ую дисциплину.

Расписание занятий может иметь разную периодичность, например, для школьного расписания период его повторения – одна неделя, для высшего учебного заведения – две недели. Временная сетка распи-

сания (TimeSlot) описывается следующим множеством:

$$D = \left\{ (d_l | l = \overline{1, N_D \cdot H}) \right\}, \quad (5)$$

где N_D – заданная продолжительность расписания в днях; H – максимальное количество занятий в день; l – номер занятия от начала временной сетки; d_l – время начала l -го занятия (TimeSlot).

Все занятия, которые нужно расставить во временную сетку расписания, входят в учебный план, который задается следующим множеством:

$$L = \left\{ (l_{ip} | i = \overline{1, N_G}, p = \overline{1, L_i \cdot Z_f}) \right\}, \quad (6)$$

где L_i – общее число занятий i -й группы (за одну или две недели, в зависимости от продолжительности расписания); Z_f – вид занятия (лекция, практическое занятие, семинар, лабораторная работа).

$N = \sum_i L_i$ – общее число занятий всех учебных

групп по учебному плану L .

Ресурсы могут быть недоступными на протяжении некоторых моментов времени, заданных временной сеткой расписания D . Поэтому для каждого вида ресурсов вводится календарь доступности, например, $Q^R = \left\{ (Q_{jl}^R | j = \overline{1, N_R}, l = \overline{1, N_D \cdot H}) \right\}$ – календарь аудиторий, где

$$Q_{jl}^R = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я аудитория доступна} \\ & \text{для занятий в } l\text{-й TimeSlot;} \\ 0, & \text{если } j\text{-я аудитория недоступна} \\ & \text{для занятий в } l\text{-й TimeSlot.} \end{cases}$$



Для преподавателей и групп аналогично задаются следующие календари:

$$Q^T = \left\{ \left(Q_{kl}^T | k = \overline{1, N_T}, l = \overline{1, N_D \cdot H} \right) \right\}$$

– календарь преподавателей;

$$Q^G = \left\{ \left(Q_{ivl}^G | i = \overline{1, N_G}, v = \overline{1, N_V}, l = \overline{1, N_D \cdot H} \right) \right\}$$

– календарь групп.

Для учета сложного распорядка учебного процесса (деление учебных групп на подгруппы, потоковые лекции, сводные группы) используются понятия обобщенных групп (поток групп – т.е. объединение нескольких академических групп для совместного занятия), преподавателей (занятие может проводиться больше чем одним преподавателем, в таком случае обобщенный преподаватель будет состоять из нескольких физических преподавателей) и аудиторий (например, планирование занятий по подгруппам в разных аудиториях). Принятый способ объединения учитывается в задаче с помощью следующих множеств:

$$\hat{G} = \left\{ G_i \subseteq G | i = \overline{1, F_G} \right\} \text{ – множество обобщенных групп, где } F_G \text{ – количество обобщенных групп; } G_i \text{ – количество реальных или сводных групп, которые входят в } i \text{-ую обобщенную.}$$

Могут существовать индексы:
 $i1 \in [1, F_G], i2 \in [1, F_G]: G_{i1} \cap G_{i2} \neq \emptyset.$

$$\hat{R} = \left\{ R_j \subseteq R | j = \overline{1, F_R} \right\} \text{ – множество обобщенных аудиторий, где } F_R \text{ – количество обобщенных аудиторий; } R_j \text{ – число реальных аудиторий, которые входят в } i \text{-ую обобщенную.}$$

– множество обобщенных преподавателей, где F_T – число обобщенных преподавателей; T_k – количество реальных преподавателей, которые входят в i -й обобщенный. Следует отметить, что могут существовать индексы $k1 \in [1, F_T], k2 \in [1, F_T]$ и пересечение обобщенных преподавателей не является пустым: $T_{k1} \cap T_{k2} \neq \emptyset.$

В связи с принятой декомпозицией для обобщенных аудиторий в отличие от обобщенных групп и преподавателей считается выполненным условие

$$\begin{aligned} \forall j1 \in [1, F_R], j2 \in [1, F_R]: j1 \neq \\ \neq j2 \Rightarrow R_{j1} \cap R_{j2} \neq \emptyset. \end{aligned} \quad (8)$$

Введенные определения позволяют в дальнейшем перейти к выбору вектора параметров оптимизации задачи. Для этого воспользуемся понятием выписки. Следует отметить, что известны различные способы введения вектора параметров задачи [5]. Первым способом является явная связь параметров задачи и создаваемого расписания. Полный набор введенных таким образом параметров однозначно задает расписание занятий. Такой способ введения

параметров задачи используется в большинстве работ, посвященных составлению расписания занятий.

Введем вектор параметров задачи $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, каждой компоненте которого $x_s, s = \overline{1, N}$, взаимно однозначно отвечает одно занятие из учебного плана L . Значения, которые принимает параметр x_s , отвечают за время начала соответствующего занятия. Если занятие x_s начинается в момент времени $d_l, l \in [1, M]$, то $x_s = d_l$. Таким образом, значения всех компонентов вектора x однозначно задают вариант расписания занятий.

В одном занятии x_s задействованы следующие ресурсы: один обобщенный преподаватель $Y_s = T_k, s \in [1, N], k \in [1, F_T]$ (Y_s – количество реальных преподавателей, которые относятся к обобщенному преподавателю) и одна обобщенная группа $Z_s = G_i, s \in [1, N], i \in [1, F_G]$.

Количество реальных аудиторий, которые необходимы для проведения занятий, задается множеством $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, элемент которого $b_s, s \in [1, N]$, задает число аудиторий, которое необходимо для проведения занятия x_s . Реальные аудитории, которые нужны для проведения занятия x_s , выбираются только из соответствующей данному занятию обобщенной аудитории.

Основываясь на введенном векторе параметров оптимизации задачи, перейдем к математическому формулированию существующих в задаче ограничений.

Ограничения в задаче составления оптимального расписания можно разделить на жесткие и нежесткие. Жесткие ограничения расписания – это ограничения, которые должны выполняться безусловно. Например, отсутствие "окон" в расписании студентов, наличие в расписании занятий всех дисциплин учебного плана. Как правило, жесткие ограничения могут быть "смягчены" лишь в крайнем случае. Например, при невозможности разместить занятие в рабочие дни с первой по пятую пары диспетчеры вынуждены запланировать его до начала занятий (нулевая пара) или в субботу. Такая ситуация возникает при дефиците ресурсов. Нежесткие ограничения по возможности выполняются и могут быть почти безболезненно "смягчены". Например, говоря, жесткие ограничения – это необходимое условие расписания, а степень удовлетворения нежестких ограничений – это уровень оптимальности расписания.

Рассмотрим ограничения более детально [2].

Жесткие ограничения оптимального расписания:

1. На любом занятии (TimeSlot) любой студент в составе академической, сводной (поток) или виртуальной группы (изучение дисциплины по выбору студента, даже если он один, но есть преподаватель – это тоже виртуальная группа) изучает только одну дисциплину, включенную в учебный план. Любой физический преподаватель на любом занятии читает



только одну дисциплину, только одной академической, сводной или виртуальной группе:

для студентов

$$\forall j \in Z, \forall k \in Z : j \neq k \Rightarrow (x_j - x_k) \neq 0, Z = \{z \in [1, N] | g_i \in Z_z\}, i = \overline{1, N_G}, \quad (9)$$

для преподавателя

$$\forall j \in Z, \forall k \in Z : j \neq k \Rightarrow (x_j - x_k) \neq 0, Z = \{z \in [1, N] | t_i \in Y_z\}, i = \overline{1, N_T}. \quad (10)$$

2. На каждом занятии количество занятых аудиторий не превышает количества доступных аудиторий:

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} b_s &\leq \sum_{k \in K} Q_{kl}^R, S = \\ &= \{s \in [1, N], x_s = d_l, W_s = R_j\}, \\ K &= \{k \in [1, N_R] | r_k \in R_j\}, \\ l &= \overline{1, M}, j = \overline{1, F_R}. \end{aligned} \quad (11)$$

Частным случаем ограничения 2 может быть дефицит аудиторного фонда определенного типа, например, компьютерных классов с установленным необходимым лицензионным программным обеспечением или лабораторий, оснащенных специальным оборудованием. Это означает, что нужно ограничить количество занятий соответствующего типа, которые могут нуждаться в использовании конкретных лабораторий в любой день на каждой паре, количеством таких аудиторий. Отсюда сформулируем следующее ограничение.

3. На каждом занятии могут быть проведены занятия каждого типа не более количества существующих аудиторий определенного типа:

$$\begin{aligned} \sum_{s \in S} b_s &\leq \sum_{k \in K} Q_{kl}^R, S = \\ &= \{s \in [1, N], x_s = d_l, W_s = R_j\}; \\ K &= \{k \in [1, N_R] | r_k \in R_j\}, \\ l &= \overline{1, M}, j = \overline{1, F_R}. \end{aligned} \quad (12)$$

4. Вместимость аудитории должна быть не менее количества студентов в группе:

$$\forall g_i \in Z_s, \forall r_j \in W_s, : (r_j - g_i) \geq 0, s = \overline{1, N}. \quad (13)$$

5. Количество занятий группы не превышает нормированного количества учебных часов за неделю:

$$L_i < M, i = \overline{1, N_G}. \quad (14)$$

6. При проведении аудиторного занятия количество реальных преподавателей должно быть не меньше числа реальных аудиторий (аудиторные занятия проводятся только в присутствии преподавателя):

$$Y_s \geq b_s, s = \overline{1, N}. \quad (15)$$

7. Расписание занятий для каждой группы каждого дня занятий не должно иметь "окон":

$$\sum_{i=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_D \cdot H} (d_{max} - d_{min} - d_n) = 0, \quad (16)$$

где d_{max} – номер последней за l - й день пары занятий; d_{min} – номер первой за l - й день пары занятий; d_n – количество пар занятий за l - й день.

8. Каждый преподаватель, группа или аудитория могут быть временно недоступными (учет введенных прежде календарей):

для преподавателя

$$\begin{aligned} \forall j \in \{z = [1, N] | t_i \in Y_z\}, \forall p \in \\ \{s = [1, M] | Q_{is}^T = 0\} \Rightarrow \\ (x_j - d_p) \neq 0, i = \overline{1, N_T}; \end{aligned} \quad (17)$$

для группы

$$\begin{aligned} \forall j \in \{z = [1, N] | g_i \in Y_z\}, \forall p \in \\ \{s = [1, M] | Q_{is}^G = 0\} \Rightarrow \\ (x_j - d_p) \neq 0, i = \overline{1, N_G}; \end{aligned} \quad (18)$$

для аудитории

$$\begin{aligned} \forall j \in \{z = [1, N] | r_i \in Y_z\}, \forall p \in \\ \{s = [1, M] | Q_{is}^R = 0\} \Rightarrow \\ (x_j - d_p) \neq 0, i = \overline{1, N_R}. \end{aligned} \quad (19)$$

При невозможности выполнения жесткие ограничения (15)–(19) могут быть ослаблены или вообще не учитываться. Например, при проведении экзаменов в одной аудитории экзамен могут принимать несколько экзаменаторов (например, госэкзамен) или экзамен могут сдавать несколько групп одновременно (письменный экзамен).

Нежесткие ограничения оптимального расписания можно разделить на три категории: ограничения относительно аудиторий, студентов и преподавателей.

Нежесткие ограничения относительно аудиторий:

1. Равномерная загрузка аудиторного фонда учебного заведения по парам занятий. Это ограничение можно сформулировать иначе: на каждой паре количество занятых аудиторий приближается к среднему количеству занятий на пару:

$$\sum_{s \in S} b_s \rightarrow \frac{L}{N_R \cdot H \cdot N_D}, \quad (20)$$

где L – общее число занятий, которые должны быть в расписании; N_R – количество аудиторий для проведения занятий; H – максимальное количество занятий в день; N_D – заданная продолжительность расписания в днях (за одну или две недели).

Нежесткие ограничения относительно студентов:

2. Равномерная загрузка групп студентов по количеству занятий в разные недели:



$$\sum_{i=1}^{N_G} \sum_{l=1}^{N_D} (L_{i,l}^I - L_{i,l}^{II}) \rightarrow 0, \quad (21)$$

где $L_{i,l}^I$ – общее число занятий i -й группы в l -й день первой недели; $L_{i,l}^{II}$ – общее число занятий i -й группы в l -й день второй недели; N_G – количество групп студентов.

Нежесткие ограничения относительно преподавателей:

3. Компактное размещение занятий в расписании в несколько последовательных дней. Например, пожелание преподавателя, чтобы его занятия в расписании были расставлены компактно в два последовательных дня, с помощью нежесткого ограничения формулируется так:

$$\varphi_p(x) = \text{Div}(\max_{j \in Z^*} (x_j) / H) - \min_{j \in Z^*} (x_j), Z^* = \{z = [1, N] | t_i \in Y_z\}, i \in [1, N_T], \quad (22)$$

где i – номер преподавателя; $p \in [1, N_F]$ – номер нежесткого ограничения (N_F – общее количество таких ограничений в задаче); $\varphi_p(x)$ – скалярная функция, отображающая содержание нежесткого ограничения, а Div – оператор, определяющий целочисленную часть от деления двух чисел. Носитель V_p нечеткого множества, которое отвечает нежесткому ограничению, формируется из всех значений скалярной функции, для которых функция принадлежности не равняется нулю: $V_p = \{\varphi_p(x) | \mu_p(\varphi_p(x)) \neq 0\}$.

Функция принадлежности нечеткого множества $\mu_p(Y_p), Y_p \in V_p$ задается преподавателем, например, так, как показано в таблице.

Функция принадлежности нечеткого множества

Дни недели Y_p	Степень выполнения пожеланий $\mu_p(Y_p)$
0	1
1	1
2	0,3
3	0
4	0
5	0
6	0

Эта функция показывает, что нечеткие ограничения со стороны преподавателя выполняются полностью, если занятия в его расписании расставлены в один или два последовательных дня недели, например, в понедельник и вторник или в среду и четверг.

Если расписание преподавателя распределено по трем последовательным дням недели, то такой вариант нежелателен для преподавателя, но, в крайнем случае, возможен (со степенью выполнения пожелания, которое равняется 0,3). Если же расписание распределено по четырем и больше последовательным дням недели, то такое расположение занятий в расписании полностью не соответствует пожеланиям преподавателя.

Для введения пожеланий C_p^* , кроме нежесткого ограничения $C_p^f = (\varphi_p(x), \mu_p(Y_p)), Y_p \in V_p$, нужно задать норму $\alpha_p \in [0, 1]$ и относительную степень важности данного нежесткого ограничения:

$$S_p \in \left\{ \begin{array}{l} \text{"Не имеет значения", "Не важно",} \\ \text{"Нейтрально", "Важно", "Очень важно"} \end{array} \right\}$$

В общем виде пожелание в задаче составления расписания занятий записывается следующим образом:

$$\begin{aligned} C_p^* &= (C_p^f, \alpha_p, S_p) = \\ &= (\varphi_p(x), \mu_p(Y_p), \alpha_p, S_p), V_p = \\ &= \{\varphi_p(x) | \forall x\}, p \in [1, N_F]. \end{aligned} \quad (23)$$

Например, если для некоторого первого ограничения в задаче использовать описанные выше $\varphi_p(x)$ вида (22) и функцию $\mu_p(Y_p)$, показанную в таблице, то это ограничение может быть записано в следующем виде:

$$\begin{aligned} C_1^* &= (C_1^f, \alpha_1, S_1) = \\ &= (\varphi_1(x), \mu_1(Y_1), 0.7, \text{"Важно"}), Y_1 \in [0, 6]. \end{aligned}$$

Задача оптимизации расписания занятий сводится к тому, чтобы минимизировать нежесткие ограничения (20)–(23) и, выполняя жесткие ограничения (9)–(19), привести расписание к его улучшению по аксиоме Парето. Таким образом, мы получим множество вариантов допустимых расписаний.

Выводы. Выполнена математическая постановка задачи составления расписания занятий в вузе, отличающаяся от существующих возможностью учета индивидуальной траектории обучения студента при помощи виртуальных групп и подгрупп, учета нечеткости в формулировке требований и пожеланий при составлении расписания для преподавателей и учебных групп. Сделанная математическая постановка позволяет учитывать специфику конкретного учебного заведения при учете различных ограничений.

Статья поступила 05.02.2014 г.

Библиографический список

- Бурнасов П.В. Критерії якості автоматичного складання розкладу занять у ВНЗ // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць. 2008. Вип. 22. С. 136–140.
- Галузин К.С., Столбов В.Ю. Методика составления оптимального учебного расписания с учетом предпочтений // Теоретические и прикладные аспекты информационных технологий: сб. науч. трудов ГосНИИУМС. Пермь, 2004. Вып. 53. С. 43–50.



3. Ерунов В.П., Морковин И.И. Формирование оптимального расписания учебных занятий в вузе // Вестник Оренбургского государственного университета. 2001. № 3. С. 55–63.
4. Молибог А.Г., Медведский М.В., Неверов Г.С. Методика составления расписания занятий на ЦВМ / МВИРТУ. Минск, 1972.

5. Burke E. A Genetic Algorithm for university timetabling / Burke E., Elliman D., and Weare R. // In AISB Workshop on Evolutionary Computing. University of Leeds, UK. 1994.
6. J. Landa Silva A tutorial on multiobjective metaheuristics for scheduling and timetabling. / J. Landa Silva, E. Burke // University of Nottingham, 2002.

УДК 004.9:550.837

ИНТЕГРАЦИЯ ОПЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

© Р.Г. Гусейнов¹, А.В. Петров², М.В. Шарлов³

^{1,2}Иркутский государственный технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

³ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие»,
664011, Россия, г. Иркутск, ул. Рабочая, 2а.

Разработаны библиотека для объектного отображения данных реляционного вида (ORM) и провайдер для унифицированного доступа к данным и файлам. Спроектирована и изготовлена кроссплатформенная гибридная система с возможностями хранилища и оперативной обработки данных электромагнитных исследований, полученных методом зондирования становлением поля в ближней зоне и вызванной поляризации. Информационная система внедрена в геофизической компании ЗАО «ИЭРП» и содержит первичные и обработанные данные около 60000 зондирований с более чем 200 площадями Восточной и Западной Сибири, Якутии, Дальнего Востока, Индии, Малайзии, Индонезии.

Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: объектно-реляционное отображение; оперативная обработка данных; хранилище данных; электромагнитные зондирования.

INTEGRATION OF OPERATIONAL SYSTEM OF EM SOUNDING DATA PROCESSING AND WAREHOUSING

R.G. Guseinov, A.V. Petrov, M.V. Sharlov

Irkutsk State Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.
Irkutsk Electroprospecting Company CJSC,
2a Rabochaya St., Irkutsk, 664011, Russia.

The library for object-relational mapping (ORM) of data and a provider enabling a unified access to data and files is developed. A cross-platform hybrid system with the functions of data warehousing and online processing of the research data received by the method of time domain electromagnetic sounding and induced polarization is designed and produced. The information system containing primary and processed data of about 60.000 soundings from more than 200 areas of Eastern and Western Siberia, Yakutia, Far East, India, Malaysia, Indonesia has been introduced in the geophysical company "IERP" CJSC.

4 figures. 6 sources.

Key words: object-relational mapping; online data processing; data warehouse; electromagnetic soundings (EM soundings).

Введение

Получение качественных и достоверных сигналов является важной задачей при проведении электромагнитных (ЭМ) исследований методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). Для оценки качества геофизического материала в рамках экспертной системы необходима разработка и обоснование системы количественных показателей [1]. Гибридная информационная система, обладающая возможностями хранилища данных электромагнитных зондирований и оперативной системы обработки, обеспечи-

вает централизованный доступ к архивным и актуальным исследовательским проектам и открывает широкие возможности для проведения детального статистического анализа.

Хранилище, построенное на основе банка данных ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», позволяет централизовать материалы, полученные за активную многолетнюю исследовательскую работу предприятия [2]. Разработка хранилища данных включает в себя интеграцию с программным комплексом SGS-TEM [3], который содержит приложения для про-

¹Гусейнов Роман Гасымович, аспирант, тел.: 89246015874, e-mail: grg@ierp.ru

Guseinov Roman, Postgraduate, tel.: 89246015874, e-mail: grg@ierp.ru

²Петров Александр Васильевич, доктор технических наук, профессор, тел.: 89148992771, e-mail: petrov@istu.edu

Petrov Alexander, Doctor of technical sciences, Professor, tel.: 89148992771, e-mail: petrov@istu.edu

³Шарлов Максим Валерьевич, заместитель генерального директора, тел.: 89149260799, e-mail: smv@ierp.ru

Sharlov Maxim, Deputy Director, tel.: 89149260799, e-mail: smv@ierp.ru