

УДК 004.023

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ В ВУЗЕ: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Р. И. Хабилов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, ул. Кремлевская,
д. 35, 420008

paladin86@bk.ru

Аннотация

Построение расписания – это распределение дискретного множества событий в заданном временном интервале, с соблюдением заданных ограничений. Целью работы является описание математической модели автоматизации процесса составления расписания в образовательном учреждении. Рассмотрены также подходы к составлению оптимального расписания. В исследуемых задачах используется большое количество первоначальной исходной информации, различающейся по своему составу, и содержится большое количество требований, которые должны быть обязательно учтены. Поэтому составление расписания относится к классу NP-полных задач целочисленного программирования, который подразумевает, что с ростом числа значений заданных переменных сложность решения будет расти экспоненциально. Отметим, что качество сформированного расписания занятий напрямую влияет на эффективность учебного процесса вуза.

Описан процесс формирования расписания занятий: на первом этапе нужно сформировать начальное расписание на основе имеющихся студенческого контингента и преподавателей, учебных аудиторий, а также ряда дополнительных ограничений; на втором этапе происходит оптимизация первоначального расписания; на третьем этапе допускается корректировка полученного расписания сотрудниками вуза.

Ключевые слова: задача составления расписания, алгоритмы целочисленного линейного программирования, учебные планы, расписание занятий

ВВЕДЕНИЕ

Проблемой разработки методов и алгоритмов для решения задачи составления учебного расписания занимаются уже достаточно давно. Первые работы появились еще в 1970-е гг. [1, 2]. Наиболее близкими являются исследования [3]. В последние годы достаточно интенсивно развиваются приближенные и эвристические методы решения этой задачи [5].

Решение задач теории расписаний усложняется тем фактом, что большинство из них являются NP-трудными [1], и алгоритмы их решения, реализованные на ЭВМ, должны быть адаптированы для получения приемлемого варианта за предельно допустимое время.

Формирование оптимального расписания учебных занятий в вузе на учебный год требует от сотрудников, выполняющих эту работу, больших затрат времени, от нескольких дней до нескольких недель работы. Расписание занятий должно удовлетворять многочисленным требованиям организационного и методического характера, имеющим различные приоритеты, которые могут быть взаимно противоречивыми или даже взаимоисключающими. Такие требования могут значительно затруднить построение первоначального расписания, не говоря уже об оптимальном расписании.

При построении расписания в качестве исходных данных выступают учебная нагрузка, учебные группы, учебные аудитории, преподаватели и список дисциплин. Задача разработки оптимального расписания сводится к распределению максимального количества занятий в день в имеющихся учебных аудиториях для соответствующих студенческих групп, с учетом нагрузки и пожеланий преподавателей.

Существует несколько подходов [1–8] к построению расписания, связанных с применением:

- классических методов и алгоритмов целочисленного программирования;
- приближенных алгоритмов решения методом раскраски графов;
- алгоритма полного перебора, ветвей и границ, а также приближенных методов, которые основаны на генетических алгоритмах.

Используя данные алгоритмы и методы, можно получить решение задачи построения расписания, которое будет удовлетворять заданным критериям. Однако время, затраченное на решение этой задачи, может быть очень большим. Поэтому, чтобы найти оптимальное решение, применяют метод моделирования.

При таком методе алгоритм работает с уже заранее заданным списком занятий, которые должны быть включены в расписание. Процесс начинается с первого занятия, еще не отраженного в расписании, затем алгоритм заполняет соответствующий раздел расписания, используя максимальное количество занятий из имеющегося списка. Далее в расписание включается следующее занятие. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет сформировано полное расписание или же не будет выполнено заданное число повторений.

Задача построения оптимального расписания для крупных вузов является достаточно сложной и трудоемкой, поэтому автоматизация такого процесса является актуальной. Кроме этого, чем крупнее вуз, тем актуальность в автоматизации названного процесса выше.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На основе имеющихся списка занятий, перечня преподаваемых дисциплин, контингента студентов, перечня учебных аудиторий и утвержденных учебных планов необходимо рассчитать учебную нагрузку всех кафедр вуза на текущий учебный год, а затем на основании рассчитанной учебной нагрузки необходимо сформировать расписание на этот период.

Выделим особенности решения задачи построения расписания:

- так как расписание традиционно составляется вручную, возникает необходимость в создании систем автоматизированного составления расписания, которые были бы внедрены в систему управления учебным процессом вуза;
- для обеспечения эффективности учебного процесса полученное расписание необходимо оптимизировать;
- для визуализации и оценки работы при составлении расписания необходимо разработать удобную для анализа форму его представления.

Алгоритм формирования расписания занятий реализуется в два этапа:

- на основе исходных данных, списка требований и ограничений формируется начальное расписание;
- полученное начальное расписание оптимизируется, и далее с помощью выбранных критериев оценивается его качество.

Основными составляющими элементами расписания являются:

- временной интервал – интервал времени для проведения учебного занятия, который соответствует определенному дню в учебном году; другими словами, это конкретный интервал времени, в который должно быть проведено занятие;
- аудитория – множество мест, возможных для проведения занятий.

Таким образом, начальное расписание считается сформированным, если каждому учебному занятию соответствуют определенный временной интервал и учебная аудитория.

2. МОДЕЛЬ РАСПИСАНИЯ

Обозначим множество учебных занятий $E = e_i, i=1..N$. Каждое из них характеризуется такими параметрами, как учебная дисциплина, аудитория, студенческая группа, преподаватель.

Учебные задания формируются для каждой дисциплины и каждой учебной группы. Множество учебных заданий можно представить как объединение двух подмножеств $E = E_T \cup E_N$, где E_T – учебные задания со специальными требованиями к аудиториям, например, для работы в компьютерных классах, E_N – учебные задания без специальных требований к аудиториям.

Введем множество временных интервалов T – это интервалы времени, которые однозначно определяются номерами дня недели и самой недели. Таким образом, множество временных интервалов получается с помощью декартового произведения двух временных параметров – недели и дня, иначе говоря, это дата–время: $E = E_T \cup E_N$.

Обозначим множество академических групп и соответственно множество атрибутов групп:

$$X = X_m, m=1..M, A_x = \{(a_{x1}, a_{x2}, a_{x3})\},$$

где a_{x1} – количество запланированных (согласно учебной нагрузке) групп, a_{x2} – количество уже распределенных по временным интервалам дисциплины в этой группе, a_{x3} – количество студентов в группе.

В некоторых случаях группы разбивают на подгруппы, что, как правило, связано с вместимостью аудиторий или спецификой преподаваемого предмета. Множества групп и подгрупп охватывают весь контингент студентов.

Введем следующие множества:

множество студентов

$$Z = X \cup Y, \quad Z = \{Z_p, p = 1..Q\},$$

где X – множество студентов женского пола, Y – множество студентов мужского пола;

множество преподавателей $PA_k = \{a_{p1}, a_{p2}\}$, где a_{p1} – количество в расписании дисциплин, преподаваемых данным преподавателем, a_{p2} – количество дисциплин, преподаваемых данным преподавателем и распределенных в расписании.

Пусть множество аудиторий $A = a_k, k=1..K$, а множество атрибутов для каждой аудитории $A_a = \{(a_{a1}, a_{a2}, a_{a3})\}$, где a_{a1} – общее количество дисциплин (согласно утвержденной учебной нагрузке), возможных для проведения в данной аудитории за рассматриваемый период, a_{a2} – количество распределенных в расписании дисциплин в данной аудитории, a_{a3} – вместимость аудитории.

Таким образом, конкретное учебное занятие в расписании можно представить как функцию параметров дисциплины, контингента студентов и преподавателя:

$$e_i = e(d_j, z_o, p_i); \quad d_j \in D, \quad z_o \in Z, \quad p_i \in P.$$

3. НАКЛАДЫВАЕМЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Основным критерием реализуемости сформированного расписания является его непротиворечивость: это означает, что в расписании нет ситуаций, когда разные занятия, требующие одинаковых ресурсов, размещены в одном и том же временном интервале расписания (аудитория, студенты, кафедра или преподаватель). Соблюдение обязательных ограничений при формировании расписания является достаточным условием для его непротиворечивости.

Для случая учебных занятий ограничения, касающиеся преподавателей, будут иметь следующий вид:

- 1) отсутствие наложений учебных групп

$$\forall z_o \in Z, \forall t_k \in T, \forall d_j \in D \\ d_j \neq d_i \leftrightarrow \omega(d_j, z_o, p, a, t_k) \neq \omega(d_i, z_o, p, a, t_k);$$

- 2) отсутствие совмещенных аудиторий

$$\forall a_p \in A, \forall t_k \in T, \forall d_i \in D, \forall d_j \in D \\ d_j \neq d_i \leftrightarrow \omega(d_j, g, p, a, t_k) \neq \omega(d_i, g, p, a, t_k);$$

- 3) отсутствие совмещенных по времени занятий у одного и того же преподавателя

$$\forall p_i \in P, \forall t_k \in T, \forall d_i \in D, \forall d_j \in D \\ d_j \neq d_i \leftrightarrow \omega(d_j, g, p, a, t_k) \neq \omega(d_i, g, p, a, t_k).$$

Таким образом, для каждой упорядоченной двойки (преподаватель, занятие) либо существует единственный цикл занятий, в котором «занят» данный преподаватель в указанное время, либо такого цикла не существует, следовательно, преподаватель свободен.

При формировании начального расписания и определении временного интервала и аудитории для занятия учитываются также следующие ограничения:

- обеспечение равномерности распределения занятий в каждой группе;
- обеспечение равномерности распределения занятий во временных интервалах.

Первое ограничение обусловлено необходимостью получения равномерных интервалов между занятиями, второе – рациональным использованием аудиторного фонда.

4. КРИТЕРИЙ ЗАГРУЖЕННОСТИ УЧЕБНОГО ЗАНЯТИЯ В РАСПИСАНИЕ

Каждое учебное занятие $E = e_i, i=1..l$, можно оценить, т. е. поставить ему в соответствие некоторый числовой критерий:

$$V^E = K_X \times K_P \times K_A \times K_Y, \quad 0 \ll K_X, K_P, K_A, K_Y \ll 1,$$

где K_X, K_P, K_A – частные критерии загруженности групп, преподавателей и аудитории, учета занятий в подгруппах, которые рассчитываются по формуле

$$K_i = \frac{a_1^i - a_2^i}{a^T - a_2^i}, \quad (1)$$

где a_1^i – количество запланированных занятий за период, a_2^i – количество распределенных критериев загруженности аудитории, определяемые следующим образом:

- учебные занятия, для которых требуются аудитории, например, дисплейные классы для проведения занятий по программированию; для них K_i рассчитываются по формуле (1);
- учебные занятия, для которых не требуются аудитории; частный критерий для учебных заданий этого подмножества рассчитывается следующим образом:

$$K_A^0 = \frac{a_1^0 - a_2^0}{a^0 - a_2^0},$$

где a_1^0 – количество учебных занятий без требуемых аудиторий, a_2^0 – количество включённых в расписание учебных заданий без требуемой аудитории, a^0 – количество временных интервалов доступных аудитории.

Критерий загруженности учебного занятия включает в себя частные критерии загруженности группы, преподавателя и аудитории и является итоговым критерием. Описанные критерии позволяют оценить средний интервал между занятиями для группы или подгруппы. Каждый из частных критериев является относительной величиной, возможность переопределения значения частного критерия обеспечивается изменением количества последовательно включаемых в расписание пар ресурса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены математическая модель и метод создания начального расписания с применением критериев загруженности в выборе учебных заданий. Предлагаемый метод основан на базе данных вуза, в которой могут быть автоматически сформированы учебные задания для проведения занятий, и используются критерии загруженности, учитывающие требования пользователей и распределяющие ресурсы, что дает более оптимальный результат и приемлемое быстродействие в пределах 10%, чем громоздкие методы, требующие больших вычислительных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конвей Р.В., Максвелл В.Л., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 360 с.
 2. Федотов А.Ф., Трунов Н.Н. Учебно-организационная работа в вузе. Л.: ЛПИ, 1980. 112 с.
 3. Безгинов А.Н., Трегубов С.Ю. Обзор существующих методов составления расписаний // Информационные технологии и программирование: межвуз. сб. ст. Вып. 2 (14). М.: МГИУ, 2005. 60 с.
 4. Кабальнов Ю.С., Шехтман Л.И., Низамова Г.Ф., Земченкова Н.А. Композиционный генетический алгоритм составления расписания учебных занятий // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2006. Т. 7, № 2. С. 99–107.
 5. Гранков М.В., Аль-Габри В.М., Горлова М.Ю. Анализ и кластеризация основных факторов, влияющих на успеваемость учебных групп вуза// Инженерный вестник Дона, 2016, № 4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3775 (дата обращения: 21.08.2018).
 6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
 7. Семенов С.П., Татаринцев Я.Б. Сравнительный анализ подходов к автоматизации составления расписаний учебных занятий в образовательных учреждениях [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-podhodov-kavtomatizatsii-sostavleniya-raspisaniy-uchebnyh-zanyatiy-v-obrazovatelnyh-uchrezhdeniyah.pdf> (дата обращения: 10.07.2018).
 8. Танаев С.В., Шкурба В.В. Введение в теорию расписаний. М.: Наука, 1975. 257 с.
-

AUTOMATION OF THE CREATION OF THE SCHEDULE AT THE UNIVERSITY: THE MATHEMATICAL MODEL AND METHODS OF IMPLEMENTATION

R.I. Khabipov

Kazan (Volga region) Federal University

paladin86@bk.ru

Abstract

The construction of the schedule is the distribution of a discrete set of events in a given time interval, subject to the specified restrictions. The aim of the work is to describe a mathematical model of the automation of the scheduling process in an educational institution. Also the approaches to the compilation of the optimal schedule are considered. In the studied tasks a large amount of initial original information is used, which differs in its composition, and contains a large number of requirements that must be taken into account. Therefore, scheduling refers to the class of NP-complete integer programming problems, which implies that as the number of values of given variables increases, the complexity of the solution will grow exponentially. Note that the quality of the established lesson schedule directly affects the efficiency of the educational process of the university.

The article describes the process of forming the schedule of classes: at the first stage, you need to create an initial schedule based on the existing student contingent and teachers, audiences, as well as a number of additional restrictions; at the second stage, the initial schedule is optimized; at the third stage, it is allowed to adjust the received schedule by university staff.

Keywords: *the task of scheduling, algorithms of integer linear programming, educational plans, class schedule.*

REFERENCES

1. Conway R.V., Maxwell V.L., Miller L.V. Theory of schedules. M.: Science, 1975. 360 p.
2. Fedotov A.F., Trunov N.N. Educational and organizational work in high school. L.: LPI, 1980. 112 p.

3. *Bezginov A.N., Tregubov S.Yu.* Review of existing methods of scheduling // Information technology and programming: mezhvuz. Sat st. Issue 2 (14). M.: MGIU, 2005. 60 p.

4. *Kabalnov Yu.S., Shekhtman L.I., Nizamova G.F., Zemchenkova N.A.* Composite genetic algorithm for scheduling studies // Bulletin of Ufa State Aviation Technical University. 2006. V. 7, No. 2. P. 99–107.

5. *Grankov M.V., Al-Gabri V.M., Gorlova M.Yu.* Analysis and clustering of the main factors affecting the academic performance of university groups // Engineering Bulletin of the Don, 2016, No 4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3775.

6. *Saaty T. Decision Making.* Hierarchy analysis method. M.: Radio and cCommunication, 1993. 278 p.

7. *Semenov S.P., Tatarintsev Ya.B.* Comparative analysis of approaches to automatization of scheduling studies in educational institutions [Electronic resource] Access mode: <http://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnyy-analiz-podhodov-kavtomatizatsii-sostavleniya-raspisaniy-uchebnyh-zanyatiy-v-obrazovatelnyh-uchrezhdeniyah.pdf>

8. *Tanayev S.V., Shkurba V.V.* Introduction to scheduling theory. M.: Science, 1975. 257 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



Хабипов Ришат Ильшатович – аспирант Высшей школы информационных технологий и интеллектуальных систем Казанского федерального университета (КФУ). Ведущий программист отдела разработок информационных систем КФУ.

Rishat Ilshatovich Khabipov – graduate student of Information Technologies and Intelligent Systems of the Kazan Federal University (KFU). Leading Programmer of the Information Systems Development Department of KFU.

email: paladin86@bk.ru

Материал поступил в редакцию 15 июня 2018 года