

defects. These factors differ in the degree of impact on the technical condition of the digital channel, their characteristics are given in the article. To identify these factors, a testing procedure with access to one of two states is proposed. Based on the testing algorithm, a matrix of the state of the digital channel is proposed, taking into account the accepted international recommendations for the indicators of errors, anomalies and defects.

*Key words:* digital channel, types of technical condition, state of readiness, state of unavailability, criteria for transition to the state of readiness (unavailability), anomalies, defects, digital channel state matrix.

*Lyubimov Vladimir Alekseevich, candidate of military sciences, docent, employee, [lyubimov@mail.ru](mailto:lyubimov@mail.ru), Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation,*

*Lazarev Sergey Nikolaevich, docent, employee, [serg.orel@mail.ru](mailto:serg.orel@mail.ru), Russia, Orel, Academy of the Federal Security Service of the Russian Federation*

УДК 004.421.2

DOI: 10.24412/2071-6168-2022-9-109-113

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ

И.А. Устинов, И.Н. Набродова

*Рассмотрено и проанализировано применение алгоритмов для составления расписания в высших учебных заведениях, такие как: алгоритм, основанный на оценке свободы расположения, генетический алгоритм, логическое программирование в ограничениях, алгоритм раскраски графов. Рассмотренные алгоритмы не гарантируют получения за разумное время эффективных планов, однако многие способны находить достаточно хорошие решения.*

*Ключевые слова:* составление расписания занятий, алгоритмы составления расписания, генетический алгоритм, алгоритм раскраски графов, логическое программирование в ограничениях, оценка свободы расположения.

Учебный процесс в высшем учебном заведении достаточно сложен, и его эффективная организация требует значительных усилий. Один из ключевых факторов организации учебного процесса – составление расписания занятий, которое призвано обеспечивать равномерную нагрузку как для студентов, так и преподавателей, равномерно использовать аудиторный фонд с учетом специфики различных помещений (лаборатории для проведения занятий по конкретным предметам, поточные аудитории, аудитории со специальным технологическим оборудованием и другие варианты специфики аудиторий), сократить затраты времени на переходы между аудиториями, учесть пожелания преподавателей и т. д. Особая задача при составлении расписания – его модификация, например в связи с заменой преподавателя (что важно в условиях высокой текучести кадров, вызванной, в том числе, изменениями в сфере высшего образования), когда к описанным выше требованиям добавляется требование минимизации изменений в ранее составленном расписании. Из этого следует более общая задача составления устойчивого расписания, т.е. такого расписания, которое может быть легко скорректировано в связи с появлением новых требований и/или заменой преподавателей [1].

Автоматизация составления расписания – важная проблема. Сложность решения данной задачи определяется ее большой размерностью и большим количеством ограничений. Существуют разные методы решения этой задачи, все из них имеют свои достоинства и недостатки. Многие из этих методов допускают неточности и ошибки при составлении расписания.

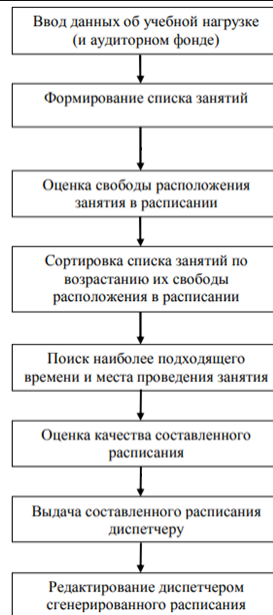
Рассмотрим некоторые алгоритмы решения задач составления расписания в высших учебных заведениях.

**1. Алгоритм, основанный на оценке свободы расположения.** В основе предлагаемого алгоритма составления расписания была положена идея оценки свободы расположения отдельного занятия в полученном расписании [1].

Данный алгоритм предусматривает следующие действия:

- 1) оценка свободы расположения занятий;
- 2) сортировка списка занятий по их оценкам свободы расположения;
- 3) оценка качества всех возможных расположения занятий;
- 4) выбор наиболее лучшего варианта расположения занятия;
- 5) оценка качества составленного расписания.

На рисунке представлена схема алгоритма, основанного на оценке свободы расположения.



**Схема алгоритма**

В данном алгоритме необходимо оценить свободу расположения занятия в расписании используя следующую формулу:

$$S_i = \frac{a_i}{g_i * p_i},$$

где  $S_i$  – оценка свободы расположения  $i$ -го занятия в расписании;  $a_i$  – количество аудиторий, подходящих для проведения занятия;  $g_i$  – количество занятий в неделю, проводимые для группы;  $p_i$  – количество занятий в неделю, проводимые преподавателем.

После оценивания свободы расположения занятий в расписании, производится сортировка списка занятий по возрастанию их оценок:

$$S_i < S_{i+1}, i = 1..n,$$

где  $n$  – количество занятий.

После сортировки, в расписание добавляются в первую очередь занятия, которые находятся в начале списка, т.е. занятия, которые имеют наименьшую оценку свободы расположения. При добавлении занятия, выбирается наиболее выгодная аудитория и время для ее проведения.

Для получения оценки качества расположения занятия в расписании используется формула:

$$R_{il} = \sum_{j=1}^m w_j k_{jl},$$

где  $R_{il}$  – качество расположения  $i$ -го занятия на  $l$ -й позиции в расписании;  $m$  – количество критериев оценки качества (например, возможные появления или исчезновения окон в расписании, избыточность количества мест в аудитории, необходимость перемещения между корпусами и т.д.);  $w_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го критерия оценки качества;  $k_{jl}$  – значение, полученное по  $j$ -му критерию оценки качества расположения занятия на  $l$ -й позиции в расписании.

После оценки качества всех вариантов расположения занятия в расписании, выбирается вариант, при котором достигается максимальное значение оценки качества расположения:

$$R_i = \max(R_{il}), l = 1..h,$$

где  $R_i$  – оценка качества расположения  $i$ -го занятия в расписании;  $l$  – возможная позиция  $i$ -го занятия в расписании;  $h$  – количество возможных вариантов расположения занятия.

После того, как было составлено расписание, необходимо оценить качество составленного расписания с помощью формулы:

$$R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где  $R$  – качество составленного расписания;  $n$  – количество занятий.

Этот алгоритм является простым и эффективным способом составления расписания, но при этом алгоритм не может учитывать дополнительные условия (например, расстояние между учебными корпусами, предпочтения преподавателей и студентов, минимизация контакта между учебными группами в условиях эпидемии и т.д.). Алгоритм позволяет быстро и легко составить теоретическое расписание, но для приближения расписания к реальным условиям, этот алгоритм должен быть усовершенствован.

**2. Генетический алгоритм.** Для повышения качества полученного расписания занятий, основной алгоритм составления расписания может быть усовершенствован. Ввиду наличия набора настроечных коэффициентов алгоритма, а также критериев оценки качества полученного расписания, возможно использовать генетический алгоритм [1,2].

Предлагается использовать в качестве генов настроечные коэффициенты  $w_j$  алгоритма составления расписания. В результате мутаций будут получены новые наборы настроечных коэффициентов и как следствие – результаты работы алгоритма будут различны. При этом оценку качества составленного расписания следует проводить с использованием значений  $w_j$  заданных диспетчером. Таким образом, учитывается возможность генерации расписания, наиболее удовлетворяющего оценкам качества с точки зрения диспетчера, при использовании несколько измененных оценок качества в процессе его генерации.

Хромосома такого генетического алгоритма будет представлять собой набор действительных чисел:

$$\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_m\},$$

где  $w_1 \dots w_m$  – гены хромосомы, настроечные коэффициенты алгоритма составления расписания;  $m$  – количество настроечных коэффициентов алгоритма.

Целью работы генетического алгоритма является достижение максимума функционала:

$$R_{il} = \sum_{j=1}^m w_j k_{jl}, \quad R_i = \max(R_{il}), \quad l = 1..h, \quad R = \sum_{i=1}^n R_i \rightarrow \max,$$

где  $R_{il}$  – качество расположения  $i$ -го занятия на  $l$ -й позиции в расписании;  $k_{il}$  – значение, полученное по  $j$ -му критерию оценки качества расположения занятия на  $l$ -й позиции в расписании;  $w_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го критерия оценки качества;  $m$  – количество критериев оценки качества;  $l$  – возможная позиция  $i$ -го занятия в расписании;  $R_i$  – качество расположения  $i$ -го занятия в расписании;  $h$  – количество возможных вариантов расположения занятия в расписании;  $R$  – качество составленного расписания.

Улучшение предыдущего алгоритма путем введения надстроечных коэффициентов позволяет учитывать условия, которые не были учтены ранее, при оценке качества составленного расписания.

**3. Логическое программирование в ограничениях.** Составление расписания можно рассматривать как задачу удовлетворения ограничений, для решения которых задач разработано множество алгоритмов. Возникло целое направление в программировании – программирование в ограничениях [3,4].

Программирование в ограничениях тесно связано с традиционным логическим программированием, в рамках которого оно и сформировалось.

Большинство систем программирования в ограничениях представляют собой обычный интерпретатор Пролога со встроенным механизмом для решения определённого класса задач удовлетворения ограничениям. Программирование в таких системах называют логическим программированием в ограничениях.

Основная идея решения задач такова: программист определяет некоторое множество переменных  $x_1, \dots, x_n$  и области их значений  $X_1, \dots, X_n$ , описывает дополнительные ограничения, которым должны удовлетворять переменные, а система находит подходящие значения переменных, удовлетворяющие одновременно всем заданным ограничениям.

Для иллюстрации приведем небольшой пример, относящийся к исследуемой предметной области. Рассмотрим вуз, в котором работает  $M$  преподавателей, в учебном плане зафиксировано  $N$  предметов, аудиторный фонд состоит из  $L$  аудиторий. Определим множество  $P = 1, 2, \dots, D$ , элементами которого является все периоды обучения (учебные пары) в вузе в течение недели, а  $D$  число всех периодов обучения в течение недели.

Обозначим  $y_{ij}$  – период обучения –  $i$ -тый преподаватель ведёт предмет  $j$ ,  $y_{ij} \in P$ . Тогда ограничение «каждый преподаватель в каждый момент времени может вести не более одного занятия» примет вид:

$$y_{ij} \neq y_{ij'}, 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N, 1 \leq j' \leq N, j \neq j'.$$

Пусть  $z_i$  – аудитория, где проводит занятие  $i$ -тый преподаватель,  $1 \leq z_i \leq L$ . Тогда ограничение «в каждой аудитории в каждый момент времени может проводиться не более одного занятия» примет вид:

$$z_i \neq z_{i'}, 1 \leq i \leq M, 1 \leq i' \leq M, i \neq i'.$$

Аналогично составляются и другие ограничения.

В результате работы алгоритма будет получено множество значений каждой переменной, удовлетворяющих заданным ограничениям. При этом область определения переменных, участвующих в строгих ограничениях, может существенно сократиться или даже содержать единственное значение.

Основное преимущество данного алгоритма – это сокращение пространства поиска, достигаемое не путём оценки каждого варианта расписания, а за счёт того, что система сама исключает из рассмотрения «дороги, заведомо ведущие в тупик».

Данный метод является не самым простым в реализации, также в большинстве случаях, не будет являться самым эффективным способом составления расписания.

**4. Алгоритм раскраски графов.** Задачу составления расписания можно рассматривать как задачу раскраски графа. Задачей раскраски графа называют поиск минимального числа цветов (хроматического числа графа), необходимых для раскраски вершин некоторого графа так, чтобы каждая пара сосед-

них вершин была окрашена в разные цвета. Сама задача поиска хроматического числа представляет собой NP-полную задачу, для решения которой в большинстве случаев используются различные жадные алгоритмы [5].

Для постановки задачи составления расписания как задачи раскраски графа строится граф. Каждая вершина графа – это запланированное учебным планом занятие. Если между какими-то двумя вершинами возможны конфликты, например, оба занятия проводятся в одной аудитории или с одним преподавателем, то они соединяются ребром, что эквивалентно запрету одновременного проведения этих занятий. Задача составления расписания может быть сформулирована как задача минимизации числа цветов, необходимых для раскраски графа. Каждый цвет соответствует одному периоду расписания.

Задача раскраски графа как самостоятельная мало эффективна при составлении расписаний, но может оказаться полезной в случае её комбинации с другими алгоритмами.

В результате анализа приведенных алгоритмов можно выделить два алгоритма – алгоритм, основанный на оценке свободы расположения и его улучшенную версию (генетический алгоритм). Эти алгоритмы обладают большим потенциалом, но при этом нуждаются в некоторых модификациях, чтобы стать более оптимальными способами решения задачи.

### Список литературы

1. Береговых Ю.В. Алгоритм составления расписания занятий // Конференция «Искусственный интеллект». Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, г. Донецк, 2009.
2. Безгинов А.Н., Трегубов С.Ю. Комплекс алгоритмов построения расписания вуза. Ч. 1: Система оценки качества расписания на основе нечетких множеств, алгоритм поиска оптимального расписания // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2011. Вып. 5. С. 127-135.
3. Безгинов А.Н., Трегубов С.Ю. Обзор существующих методов составления расписаний // Информационные технологии и программирование: Межвуз. сб. статей. М., 2005. Вып. 2. № 14.
4. Lach G., Lübbecke M.E.: Curriculum based course timetabling: new solutions to Udine benchmark instances. *Annals OR*, 2012. 194(1). P. 255–272.
5. Зимин С.Н. составление учебного расписания, используя теорию графов // Современные наукоемкие технологии. 2007. № 11. С. 89-90.

*Устинов Илья Александрович, студент, [ustin\\_1999@mail.ru](mailto:ustin_1999@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Набродова Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент, [ira1978@tsu.tula.ru](mailto:ira1978@tsu.tula.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

### ANALYSIS OF EXISTING ALGORITHMS FOR SCHEDULING CLASSES

*I.A. Ustinov, I.N. Nabrodova*

*The application of algorithms for scheduling in higher educational institutions is considered and analyzed, such as: an algorithm based on the evaluation of the freedom of location, a genetic algorithm, logical programming in constraints, a graph coloring algorithm. The algorithms considered do not guarantee obtaining effective plans in a reasonable time, but many are able to find good enough solutions.*

*Key words: scheduling of classes, scheduling algorithms, genetic algorithm, graph coloring algorithm, logical programming in constraints, evaluation of location freedom.*

*Ustinov Ilya Alexandrovich, student, [ustin\\_1999@mail.ru](mailto:ustin_1999@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Nabrodova Irina Nikolaevna, candidate of technical sciences, docent, [ira1978@tsu.tula.ru](mailto:ira1978@tsu.tula.ru), Russia, Tula, Tula State University*