

Вестник Сыктывкарского университета.
Серия 1: Математика. Механика. Информатика. 2022.
Выпуск 1 (42)
Bulletin of Syktuykar University.
Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics. 2022; 1 (42)

ИНФОРМАТИКА

Научная статья

УДК 519.854.2

https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ СОСТАВЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ В ВУЗЕ

Дмитрий Андреевич Масляев

Коми республиканская академия государственной службы и управления,
e-mail: dmaslyaev@gmail.com

Аннотация. В статье проводится обзор литературных источников российских и зарубежных исследователей по теме автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе. Перечислены особенности расписания для вуза, а также особенности составления расписания в России. Приведено сравнение различных программных средств для автоматического составления учебных расписаний. Существующего программного обеспечения недостаточно для решения данной задачи. Особенностью рассматриваемой задачи является наличие «блочных» занятий, которые нужно компактно разместить в расписании, большое число потоков и множество внешних совместителей. Рассматриваются различные математические модели и методы решения подобных задач. У существующих эвристических методов есть свои преимущества и недостатки. Формулируется концептуальная постановка задачи в вербальной форме применительно к учебному заведению автора. Выделяются обязательные (жесткие) и желательные (мягкие) ограничения. Нарушение желательных ограничений будет влиять на функцию штрафов – единственную целевую функцию. Задача в такой постановке является уникальной. Автор пришел к выводу, что необходимо разработать теоретико-множественную математическую модель для рассматриваемой

задачи и гибридный эвристический метод решения, который сочетал бы преимущества различных эвристических методов и нивелировал бы их недостатки. Данные для задачи необходимо представить в агрегированном виде.

Ключевые слова: учебные расписания, вуз, комбинаторная оптимизация, автоматизация, методы, эвристические, обзор литературы, алгоритм, концептуальная модель

Для цитирования: Масляев Д. А. Современное состояние задачи автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе // *Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 1: Математика. Механика. Информатика*. 2022. Вып. 1 (42). С. 23–40. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

Informatics

Original article

Current state of the higher school timetabling problem

Denis A. Maslyayev

Komi republican academy of public service and administration, e-mail: dmaslyayev@gmail.com

Abstract. The article contains a review of Russian and foreign literature sources of solving the high school timetabling problem. The distinctive features of the schedule for the university are listed, as well as the peculiarities of scheduling in Russia. The comparison of various software tools for automatic scheduling is given. The existing software is not enough to solve this problem. A feature of the task is the presence of "block" classes that need to be compactly placed in the schedule, a large number of training streams, and a lot of external part-timers. Methods and algorithms for solving similar problems are considered. The existing heuristic methods have their advantages and disadvantages. A conceptual statement of the problem is formulated in a verbal form in relation to a specific educational institution. Hard and soft restrictions are formulated. Violation of soft restrictions will affect the penalty function – the only target function. The author came to the conclusion that it is necessary to develop a set-theoretic mathematical model for the problem under consideration and a hybrid heuristic solution method that would combine the advantages of various heuristic methods and offset their disadvantages. The data for the problem must be presented in an aggregated form.

Keywords: timetabling problem, high school, combinatorial optimization, automatization, methods, heuristic, literature review, algorithm, conceptual model

For citation: Maslyaev D. A. Current state of the higher school timetabling problem. *Bulletin of Syktyvkar University, Series 1: Mathematics. Mechanics. Informatics*, 2022, No. 1 (42), pp. 23–40. https://doi.org/10.34130/1992-2752_2022_1_23

Введение

Целью данной работы является анализ доступных российских и зарубежных источников по теме автоматизации составления оптимального учебного расписания в вузе для получения точной формулировки задачи (концептуальная модель) с учетом специфики вуза автора статьи, определения общего типа ее математической модели и метода решения задачи. Необходимость исследования связана с недостаточными возможностями имеющихся программных средств и уникальными особенностями рассматриваемой задачи.

Гипотезой является то, что в качестве метода решения задачи необходимо рассматривать эвристический метод и строить теоретико-множественную математическую модель для нее.

Расписание занятий играет важную роль в организации учебного процесса вуза. От удачно составленного расписания зависит трудовой ритм и полнота творческой отдачи преподавателей, успешность обучения студентов. Расписание можно рассматривать как возможность оптимизировать использование имеющихся трудовых ресурсов – преподавателей и материальной базы вуза. Методы составления учебного расписания следует рассматривать как мероприятие по оптимизации управления учебным заведением.

Мы не будем рассматривать задачу нахождения учебной нагрузки кафедр на определенный учебный год, а также задачу распределения нагрузки между преподавателями и будем считать, что данные нагрузки уже распределены, возможно, с использованием информационных систем с учетом пожеланий преподавателей (более подробно см. [1, с. 35]). Распределение указанных нагрузок – это этап, который предшествует непосредственному составлению учебного расписания.

Существует множество работ, посвященных рассматриваемой задаче в России и за рубежом, и интерес исследователей к этой задаче не ослабевает.

Стоит отметить, что есть разница между формированием учебных программ в России и за рубежом. За рубежом (например, в США и Европе) студент часто сам выбирает себе значительную часть курсов, которые он будет посещать в течение семестра, другая часть является обязательной профессиональной (см., например, [2]). Каждый студент при таком подходе в Европе рассматривается индивидуально, но возможна ситуация, при которой студент не сможет посетить все выбранные им курсы в построенном допустимом расписании [3, с. 8805].

В России у каждой группы занятия ставятся в соответствии с учебным планом групп (которые формирует деканат), однако некоторые дисциплины также могут быть по выбору. Кроме того, за рубежом вид одной дисциплины, например лекции, могут вести разные преподаватели в течение семестра, что у нас не принято. Эти различия стоит учитывать при анализе математических моделей, представленных в иностранных научных статьях перед их применением в вузах России. Далее мы будем рассматривать задачу составления учебного расписания только для российских вузов.

У расписания для вузов есть свои уникальные особенности, которые отличают его от расписания для школ и средних специальных учебных заведений: присутствуют потоковые занятия, группы для некоторых занятий или их видов делятся на подгруппы, продолжительность одного занятия – два академических часа, лабораторные работы необходимо проводить в специально оборудованных аудиториях, лекции и практические занятия часто ведут разные преподаватели и т. д.

В настоящее время учебное расписание часто составляется сотрудниками учебного отдела полностью вручную с использованием компьютерных программ и при этом полученное расписание по тем или иным критериям устраивает учебное заведение – это говорит о том, что данная задача решаема, хотя и занимает достаточно много времени и требует квалифицированных специалистов.

На рынке присутствуют различные программные продукты, которые имеют возможность составлять расписание занятий в вузе, см. табл. 1, 2. Пояснения к табл. 1: А – Работа с потоками, В – Работа с подгруппами, С – Пожелания и возможности преподавателей, групп и помещений, D – равномерность расписания, E – произвольный пери-

Таблица 1

Сравнение ПО для составления учебного расписания

Название программы	A	B	C	D	E
1С: Автоматизированное составление расписания. Университет	+	+	+	-	+
БИТ. ВУЗ. Расписание	+	+	+	-	-
Галактика РУЗ	+	+	+	-	-
ТАНДЕМ. Университет	+	+	+	-	-
Экспресс-расписание ВУЗ	+	+	+	+	-
AVTOR	+	+	+	+	-

од расписания. Все представленные в таблицах программы учитывают особенности аудиторий, их вместимость и время перехода между корпусами.

Рассмотренные программы имеют свои сильные стороны и могут существенно облегчить работу диспетчера учебного отдела. Однако каждый вуз имеет свои особенности, которые влияют на составление расписания, уникальные требования, не все из которых могут учитываться данными программами, что мешает составлению расписания исключительно в автоматическом режиме. И ни одна из этих программ не является универсальной. В нашем учебном заведении часть занятий по желанию преподавателей ставятся в расписание «поблочно» – т. е. вначале идут занятия одной дисциплины (лекции, практики), потом они заканчиваются и начинается блок занятий, относящийся к другой дисциплине. Также на усмотрение преподавателя принято, что в начале каждого курса идет определенное число лекций и только после этого ставится практика. В качестве особенностей отдельных вузов можно привести равномерное для преподавателей распределение занятий в течение недели, проведение лекций в первой половине дня, равномерное по времени распределение занятий в течение периода планирования и др. Приведенные условия и ограничения на расписание не учитываются рассмотренными в табл. 1 программами.

По описанию на сайте и в силу коммерческой закрытости сложно сравнивать данные программные продукты по тем критериям оптимизации, которые в них заложены, а тем более по такому критерию, как степень удовлетворения пожеланий преподавателей/групп/учебного заведения.

Из проведенного анализа видно, что во главу угла при автоматическом составлении расписания ставится минимизация числа окон у групп (и иногда преподавателей), что является, конечно, важным критерием,

Таблица 2

Особенности программ составления учебного расписания

Название программы	Особенности
1С: Автоматизированное составление расписания. Университет	Оптимизация числа используемых помещений. Учитывается максимальное количество занятий для группы или преподавателя. Минимизирует число окон для групп
БИТ. ВУЗ. Расписание	Контроль максимального количества занятий в день у преподавателя/обучающегося. Минимизирует число окон для групп и преподавателей
Галактика РУЗ	Поддерживает разные формы обучения
ТАНДЕМ. Университет	-
Экспресс-расписание ВУЗ	Составляется расписание как очного, так и заочного отделений
AVTOR	Оптимизирует трудоемкость расписания. Составляет расписание на неделю, две или семестр. Минимизирует число окон для групп и преподавателей

но не достаточным в случае большого числа внешних преподавателей и их уникальных требований к расписанию, большого числа потоков и нехватки аудиторного фонда (как в случае нашего учебного заведения). К тому же ни в одной из программ нет возможности составлять расписание дисциплин по блокам. Все это позволяет говорить о том, что существующего ПО недостаточно для автоматического составления расписания в современных условиях.

Актуальность задачи автоматизации составления учебных расписаний определяется тем, что растут требования к качеству учебного процесса, планированию работы студентов и преподавателей в условиях дефицита аудиторного фонда. От качества составленного расписания, т. е. от удобства для студентов, преподавателей и от рационального использования аудиторного фонда зависит качество учебного процесса. А. Ю. Абухания в своей работе [4, с. 3] отмечает, что актуальность поиска эффективных методов решения рассматриваемой задачи также подтверждается тем, что с 2002 г. и по настоящее время проводятся международные соревнования в этой области (International Timetabling Competition).

Объектом исследования настоящей научной работы являются задачи составления оптимального учебного расписания в вузе. Рассматриваемая задача относится к задачам целочисленного программирования [5, с. 116] и является NP-трудной в сильном смысле [3, с. 8804]. Требования к расписанию, которые реально встречаются на практике, достаточно трудно формализовать. Также в такой задаче присутствует значительный объем исходной информации.

Предметом настоящего исследования являются методы и алгоритмы составления оптимального учебного расписания в вузе.

Исходные данные задачи включают информацию о количестве учебных дней в неделе, максимальном количестве занятий в день и периоде планирования, информацию обо всех преподавателях вуза, о тех дисциплинах, которые они читают, о всех учебных группах, учебных корпусах и их аудиториях, учебных планах групп, нагрузке преподавателей, об ограничениях (для групп, преподавателей и аудиторий).

Материалы и методы

В обзор литературных источников включены многочисленные работы российских и зарубежных исследователей по рассматриваемой задаче. Существует множество методов решения рассматриваемой задачи, которое можно разделить на следующие классы: методы, предназначенные для нахождения оптимального решения (точные методы); методы для нахождения приближенного решения; методы, позволяющие найти приближенное решение с гарантированной точностью (с допустимым гарантированным отклонением от оптимального решения). Перебор так или иначе включает в себя все точные методы, предназначенные для решения общих задач. Перебор чаще всего неприемлем, поскольку размер исходных данных для подобных задач просто огромен (большой объем пространства поиска решений). И с ростом объема исходной информации происходит резкий (экспоненциальный) рост временных затрат на поиск решения. Если же попытаться упростить задачу (снизить размерность), то это может привести к искажению настоящей картины процесса составления учебного расписания.

Формализация задачи может привести к построению модели в виде задачи линейного или квадратического программирования (конкретный вид модели зависит от конечного списка ограничений).

Точные методы часто используют графовую модель расписания. Учебный план и другие исходные данные представляются в виде гра-

фа, мультиграфа или набора графов [6, с. 23]. Вершины графов представляют преподавателей, группы, дисциплины и аудитории, ребра – занятия. Необходимо сопоставить ребрам графа периоды времени, и это сопоставление должно быть реберной раскраской графа, поскольку накладки в расписании недопустимы. Задача может быть сведена к задаче раскраски графа [5, с. 118]. В этом случае вершине графа соответствует запланированное учебным планом занятие. Ребром соединяются вершины, если между занятиями возможны конфликты, например два занятия проводятся в одной аудитории. Задача при этом может быть сформулирована как задача минимизации числа цветов, необходимых для раскраски графа, где каждый цвет соответствует одному временному интервалу. Поскольку в дальнейшем исследовании не предполагается использование алгоритмов и методов на графах, то графовые модели автором не рассматриваются.

Метод ветвей и границ позволяет не рассматривать те решения, которые заранее оцениваются как «неперспективные» и за счет этого значительно уменьшить перебираемое множество возможных решений. Реализация метода ветвей и границ для задачи составления расписания представлена в [6].

Эвристические методы в своей основе имеют алгоритмы, использующие некие интуитивные предположения, которые не подкрепляются соответствующим математическим обоснованием. Такие алгоритмы позволяют ускорить поиск «наилучшего» расписания, но эти расписания чаще всего являются лишь приближенным решением. После нахождения такого расписания возникает проблема оценки того, насколько это решение близко к оптимальному. Данную проблему можно решить путем сравнения результатов, полученных эвристическим методом, с тем, которое получено методом перебора для близкой задачи малой размерности [7, с. 121].

Во многих научных работах встречаются реализации генетического алгоритма применительно к задаче составления учебного расписания, например, [6; 8; 9]. Однако в статье [7, с. 122] отмечены недостатки, присущие данному методу при его применении к рассматриваемой задаче: хромосомы в популяции должны быть достаточно разнообразными, чтобы работа алгоритма не завершилась досрочно и не получилось бы «некорректное» расписание; необходимо учитывать специфику задачи при разработке такого алгоритма; исходные данные должны быть достаточно систематизированы.

В автореферате Г. Ф. Низамовой [9] представлен агрегативный генетический алгоритм, в котором используется укрупненный информационный объект – «блок занятий», который объединяет в себе объекты «преподаватели», «группы», «дисциплины». Такое объединение позволяет существенно уменьшить количество варьируемых параметров при организации процедуры генетической оптимизации [9, с. 3]. В статье Е. Р. Гафарова [3, с. 8805] вводится понятие «занятие» как совокупность трех элементов: предмет, преподаватель, группа студентов. В статье Н. Н. Клеванского [1, с. 36] используется понятие «учебное поручение», выступающее в роли заявок. В учебных поручениях указывается студенческий контингент, преподаватели, дисциплины, вид занятия и требуемые или желаемые аудитории с набором признаков. Все это примеры агрегирования информации.

С. Скиена в своей книге [11, с. 287] советует использовать метод имитации отжига для экспериментов с эвристическим поиском. Там же [11, с. 276] С. Скиена говорит о том, что метод имитации отжига работает превосходно для задачи коммивояжера, не требуя специальной настройки, хотя другие эвристические алгоритмы при умелом обращении могут выдавать чуть более удачное решение, однако для этого необходима специальная настройка.

Более подробно метод имитации отжига применительно к задаче составления учебного расписания в вузе рассмотрен в работе [12] (без результатов численного эксперимента), где в качестве целевой функции используется штрафная функция. В статье [13, с. 133] А. С. Лопатин отмечает, что преимуществом метода отжига является то, что он позволяет «проскочить» локальный минимум оптимизируемой функции и продолжить искать глобальный минимум. При нехватке вычислительных ресурсов для нахождения оптимального решения метод отжига выдает приемлемое решение (один из локальных минимумов). В статье [14] представлен алгоритм локального поиска, основанный на методе имитации отжига.

В рассматриваемой задаче в качестве энергии (как один из вариантов) может выступать штрафная функция. При нарушении того или иного мягкого ограничения штрафная функция будет увеличиваться. В качестве низкоэнергетического состояния будет выступать корректное (хотя и неизвестное) расписание.

В исследовании [4, с. 4], А. Ю. Абухания отмечает, что продуктивной может быть идея «гибридизации», т. е. совместного использования раз-

личных методов и алгоритмов для решения рассматриваемой задачи. Автор говорит о том, что в качестве таких алгоритмов могут выступать эвристические алгоритмы локальной оптимизации, а также специально модифицированный генетический алгоритм. В его работе представлен подобный гибридный алгоритм: внешний контур основан на генетическом алгоритме, а внутренний представляет из себя жадный алгоритм (последовательная локальная оптимизация) [4, с. 4].

Идея гибридизации эвристических методов состоит в том, чтобы комбинировать методы так, что недостатки одного из них нивелировались бы преимуществами другого. При этом методы могут быть связаны между собой слабо или сильно. В первом случае говорят об высокоуровневой гибридизации, в во втором – о низкоуровневой.

В исследовании Г. Ф. Низамовой [9] используется аддитивный критерий потерь качества расписания в роли единственной целевой функции. В работе А. Ю. Абухания [4] также используется единственный критерий качества расписания, который представляет собой аддитивную свертку 8 частных критериев. Математические модели в работах [4] и [9] являются теоретико-множественными. В то же время задачу составления учебных расписаний можно рассматривать как задачу многокритериальной оптимизации. В этом случае в задаче будет несколько целевых функций, значения которых нужно максимизировать или минимизировать. Достаточно подробно задачи такого типа проанализированы в [15] и [16]. Многие метаэвристики, которые впервые были применены для задачи с одной целевой функцией, впоследствии были расширены для многоцелевых случаев [16, с. 2]. В данной статье такой подход рассматриваться не будет.

Результаты

Сформулируем концептуальную постановку задачи в вербальной форме. Для упрощения описания метода составления расписания необходимо использовать исходную информацию в агрегированном виде. Занятием будем называть совокупность из нескольких элементов – дисциплина, вид занятия, преподаватель, который ее ведет, и группа (поток или подгруппа) студентов, у которой в учебном плане присутствует данная дисциплина, а также количество часов данного вида дисциплины для планирования.

Временной интервал определяется номером недели в семестре, номером дня в рабочей неделе и номером пары в учебный день.

Допустим, что для каждой из учебных групп составлен учебный план, который включает определенное количество дисциплин за семестр; для каждого преподавателя составлена нагрузка на семестр; у отдельной дисциплины могут быть лекционные, практические, лабораторные занятия; по каждому виду занятия известно количество часов за семестр; каждый вид занятия могут вести разные преподаватели; некоторые виды занятий (например, лекционные или физическая культура) могут быть в потоке; для других видов занятий или дисциплин (например, лабораторные работы или иностранный язык) группы могут делиться на подгруппы; занятия для подгрупп могут проводиться разными преподавателями в разных аудиториях и в разное время. Известно число учебных дней в неделе, максимальное число занятий в день, а также число недель, на которое нужно составить расписание. Есть информация о параметрах аудиторий и их оборудованию; известны требования со стороны преподавателей к оборудованию аудиторий для своих занятий.

Сформулируем жесткие и мягкие ограничения. Все жесткие ограничения обязательно должны быть выполнены в итоговом расписании. Мягкие ограничения – необязательные, но степень их выполнения будет влиять на качество расписания. Ограничения формулировались так, чтобы они точно соответствовали ограничениям на расписание учебного заведения, в котором работает автор статьи. Жесткие ограничения:

- 1) все занятия из учебных программ групп должны быть поставлены в расписание;
- 2) не должно быть такого, что в одно и то же время, в одной и той же аудитории проходило бы два различных занятия;
- 3) у преподавателя в один временной интервал не может быть двух разных занятий;
- 4) у группы/подгруппы/потока студентов не может быть в один временной интервал двух разных занятий; занятия для потоков, групп и подгрупп (в которые входит группа целиком или ее часть) не должны пересекаться (у подгрупп одной группы могут быть занятия в одно время или в разное);
- 5) аудитория, в которой проводится занятие, должна вмещать всех студентов группы, подгруппы или потока;
- 6) для некоторых занятий жестко установлены аудитории для их проведения (например, занятия по физкультуре проводятся в спортивном зале); аудитория должна соответствовать типу заня-

тия (лаборатории для лабораторных работ, компьютерный класс и т. д.);

- 7) затраты времени, связанные с подготовкой учебного помещения к проведению очередного занятия, отсутствуют;
- 8) преподаватели, группы и аудитории могут быть заняты в определенные временные интервалы, и занятия в них устанавливать нельзя (например, в аудитории могут проводиться конференции, занятия института дополнительного образования или заседания кафедры).
- 9) часть дисциплин из учебного плана той или иной учебной группы по желанию преподавателя необходимо ставить в расписание «блочно» (обычно эту дисциплину читает внешний совместитель), т. е. за несколько недель преподаватель должен провести все занятия блока.
- 10) по желанию преподавателя в начале каждого блока дисциплин идут лекции и только потом практические занятия;
- 11) расписание должно учитывать необходимое время на переход между корпусами.

В данном списке нет запретов на проведение, например, практических занятий, в компьютерной или лекционной аудитории. Но спортивный зал подойдет только для занятий физической культурой.

Мягкие ограничения, относящиеся к учебным группам:

- 1) количество «окон» в расписании групп должно быть минимальным;
- 2) нагрузка на группы по дням должна быть равномерной в течение всего цикла планирования.

Мягкие ограничения, относящиеся к преподавателям:

- 1) количество «окон» в расписании преподавателей должно быть минимальным;
- 2) должно быть удовлетворено как можно большее число требований преподавателя к аудиториям (например, наличие проектора и др.).

Мягкие ограничения, относящиеся к учебному заведению:

- 1) количество незанятых мест в аудиториях, в которых проводятся занятия, должно быть минимальным;
- 2) в случае наличия нескольких корпусов в учебном заведении (в нашем вузе только один корпус) расписание должно учитывать необходимое время на переход между корпусами; количество таких переходов должно быть минимальным.

В статье [17] проведена классификация возможных ограничений.

За нарушение каждого из мягких ограничений будет начисляться штраф. Таким образом, мы получим штрафную функцию, и задача сведется к поиску расписания, для которого значение данной функции будет минимальным.

Необходимо составить учебное расписание для всех групп на две недели с «числителем» и «знаменателем» для одной части занятий (расписание для них будет повторяться на следующие недели) и без них для «блочных» занятий (расписание для них не будет повторяться далее), которое бы удовлетворяло всем жестким ограничениям и минимизировало бы целевую функцию (функцию штрафов), введенную на расписании и зависящую от нарушений мягких ограничений в условиях нехватки аудиторий, большого числа потоков и большого количества внешних совместителей. Внешние совместители часто проводят занятия по субботам (либо у них определенные требования на временные интервалы в течение недели), также их занятия чаще всего идут блоками. Концептуальная модель составлена на основе анализа литературных источников, а также соответствует требованиям, которые предъявляются к расписанию в учебном заведении автора.

Для данной задачи необходимо разработать теоретико-множественную математическую модель. Составленный список обязательных и желательных требований к расписанию будет использоваться в качестве основы для построения формальной математической модели. Задача в такой постановке является уникальной и не встречается в литературе.

Исходную информацию для метода составления расписания необходимо представить в агрегированном виде. Для решения задачи перспективным является применение методов имитации отжига или генетического, а также создание некоего гибридного метода, который сочетал бы достоинства существующих методов.

Обсуждение

Таким образом, нами была сформулирована концептуальная модель в вербальной форме для рассматриваемой задачи оптимизации учебного расписания. Она необходима в дальнейшем для построения теоретико-множественной математической модели. Модель будет строиться исходя из того, что для решения задачи необходимо использовать эвристический метод. Выводы, полученные в статье, полностью соответствуют выводам других исследователей, упоминание которых можно найти выше.

Дальнейшие исследования в области построения оптимальных учебных расписаний являются актуальными, поскольку на данный момент не выработано общепринятых и неоспоримых моделей, методов и алгоритмов в этой области комбинаторной оптимизации.

В рамках исследования автор статьи ставит перед собой цель разработать такой метод оптимизации, который одновременно учитывал бы интересы трех сторон: студентов, преподавателей и учебного заведения.

Задача, сформулированная в статье, связана с приложениями в области компьютерных технологий и дискретной оптимизации.

Список источников

1. **Клеванский Н. Н.** Формирование расписания занятий высших учебных заведений // *Образовательные ресурсы и технологии*. 2015. № 1(9). С. 34–44.
2. **Chavez-Bosquez O., Hernandez-Torruco J., Hernandez-Ocana B., Canul-Reich J.** Modeling and Solving a Latin American University Course Timetabling Problem Instance // *Mathematics* 2020, v. 8(10), 1833.
3. **Гафаров Е. Р.** Программный продукт для составления учебных расписаний вузе // *XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 (16-19 июля, г. Москва)*. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезников РАН, 2014. С. 8804–8809.
4. **Абухания Амер Ю.А.** Модели, алгоритмы и программные средства обработки информации и принятия решений при составлении расписания занятий на основе эволюционных методов : автореф. дис. ... канд. тех. наук. Новочеркасск, 2016. 20 с.
5. **Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворякин А. М.** Методы автоматизации составления расписания занятий. Ч. 1. Классические методы //

- Известия Волгоградского государственного технического университета.* 2009. № 12(60). С. 116–120.
6. **Маслов М. Г.** Разработка моделей и алгоритмов составления расписаний в системах административно-организационного управления : автореф. дис. . . . канд. тех. наук. М., 2004. 25 с.
 7. **Сидорин А. Б., Ликучева Л. В., Дворякин А. М.** Методы автоматизации составления расписания занятий. Ч. 2. Эвристические методы оптимизации // *Известия Волгоградского государственного технического университета.* 2009. № 12 (60). С. 120–123.
 8. **Асвад Фирас М.** Модели составления расписания занятий на основе генетического алгоритма на примере вуза Ирака : автореф. дис. . . . канд. тех. наук. Воронеж, 2013. 16 с.
 9. **Кабальнов Ю. С., Шехтман Л. И., Низамова Г. Ф., Земченкова Н. А.** Композиционный генетический алгоритм составления расписаний учебных занятий // *Вестник Уфимского государственного авиационного университета.* 2006. № 2. Т. 7. С. 99–109.
 10. **Низамова Г.Ф.** Математическое и программное обеспечение составления расписания учебных занятий на основе агрегативных генетических алгоритмов : автореф. дис. . . . канд. тех. наук. Уфа, 2006. 18 с.
 11. **Скиена С.** Алгоритмы. Руководство по разработке. 2-е. изд. : пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 720 с.
 12. **Матвеев А.И.** Алгоритм оптимизации планирования ресурсов (на примере метода отжига) // *Перспективные информационные технологии (ПИТ 2018) : труды международной научно-практической конференции / под ред. С. А. Прохорова.* 2018. С. 1046–1059.
 13. **Лопатин А. С.** Метод отжига // *Стохастическая оптимизация в информатике.* 2005. Т. 1. С. 133–149.
 14. **Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M.** An iterated search algorithm for the University Course Timetabling Problem // *Applied Soft Computing*, v. 68 (2018), pp. 597–608.
 15. **Подиновский В. В.** Идеи и методы теории важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений. М.: Наука, 2019. 103 с.
 16. **Silva J.D.L., Burke E.K., Petrovic S.** An Introduction to Multiobjective Metaheuristics for Scheduling and Timetabling // *Metaheuristics for*

multiobjective optimisation. Lecture notes in economics and mathematical systems, vol. 535, pp. 91–129.

17. **Aziz N. L. A., Aizam N. A. H.** A Brief Review on the Features of University Course Timetabling Problem // *AIP Conference Proceedings 2016*, 020001 (2018).

References

1. **Klevanskij N. N.** Formation of the schedule of classes of higher educational institutions. *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational resources and technologies]. 2015. No 1(9). Pp. 34–44.
2. **Chavez-Bosquez O., Hernandez-Torruco J., Hernandez-Ocana B., Canul-Reich J.** Modeling and Solving a Latin American University Course Timetabling Problem Instance. *Mathematics*. 2020, Vol. 8(10), 1833 p.
3. **Gafarov E. R.** Software product for drawing up educational schedules of higher education institutions. *XII Vserossijskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014 (16-19 iyulya, g. Moskva)* [XII All-Russian Meeting on Management Problems VSPU-2014 (July 16-19, Moscow)]. M.: Institut problem upravleniya im. V. A. Trapeznikov RAN, 2014. Pp. 8804–8809.
4. **Abuhaniya Amer Y. A.** *Modeli, algoritmy i programmnye sredstva obrabotki informacii i prinyatiya reshenij pri sostavlenii raspisaniya zanyatij na osnove evolyucionnyh metodov* [Models, algorithms and software tools for information processing and decision-making when drawing up a class schedule based on evolutionary methods] Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Novocherkassk, 2016. 20 p.
5. **Sidorin A. B., Likucheva L. V., Dvoryakin A. M.** Methods of automation of scheduling classes Part 1. Classical methods). *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University]. 2009. No 12 (60). Pp. 116–120.
6. **Maslov M. G.** *Razrabotka modelej i algoritmov sostavleniya raspisaniy v sistemah administrativno-organizacionnogo upravleniya* [Development of models and algorithms for scheduling in administrative and organizational management systems] Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. M., 2004. 25 p.
7. **Sidorin A. B., Likucheva L. V., Dvoryakin A. M.** Methods of automation of scheduling classes Part 2. Heuristic methods of

- optimization. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University] 2009. No 12 (60). Pp. 120–123.
8. **Asvad Firas M.** *Modeli sostavleniya raspisaniya zanyatij na osnove geneticheskogo algoritma na primere vuza Iraka* [Models of scheduling classes based on a genetic algorithm on the example of a university in Iraq]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Voronezh, 2013. 16 p.
 9. **Kabal'nov Y. S., SHekhtman L. I., Nizamova G. F., Zemchenko-va N.A.** Compositional genetic algorithm for scheduling training sessions. *Vestnik Ufmskogo Gosudarstvennogo Aviacionnogo Universiteta* [Bulletin of the Ufa State Aviation University]. 2006. No 2. Vol. 7. Pp. 99–109.
 10. **Nizamova G. F.** *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sostavleniya raspisaniya uchebnyh zanyatij na osnove agregativnyh geneticheskikh algoritmov* [Mathematical and software for scheduling training sessions based on aggregate genetic algorithms]. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ufa, 2006. 18 p.
 11. **Skiena S.** *Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke* [Algorithms. Development guide] BHV-Peterburg, 2014. 720 p.
 12. **Matveev A. I.** Algorithm for optimizing resource planning (on the example of the annealing method) *Perspektivnye informacionnye tekhnologii (PIT 2018). Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Pod redakciej S.A. Prohorova* [Perspective Information Technologies (PIT 2018) : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference / ed. by S. A. Prokhorov.] 2018. Pp. 1046–1059.
 13. **Lopatin A. S.** Method of annealing. *Stokhasticheskaya optimizacii v informatike* [Stochastic Optimization in Computer Science]. 2005. Vol. 1. Pp. 133–149.
 14. **Song T., Liu S., Tang X., Peng X., Chen M.** An iterated search algorithm for the University Course Timetabling Problem. *Applied Soft Computing*, Vol. 68 (2018). Pp. 597–608.
 15. **Podinovskij V. V.** *Idei i metody teorii vazhnosti kriteriev v mnogokriterial'nyh zadachah prinyatiya reshenij* [Ideas and methods of the theory of criteria importance in multicriterial decision-making problems]. M.: Nauka, 2019. 103 p.

16. **Silva J. D. L., Burke E. K., Petrovic S.** An Introduction to Multiobjective Metaheuristics for Scheduling and Timetabling. Metaheuristics for multiobjective optimisation. *Lecture notes in economics and mathematical systems*, vol. 535, Pp. 91–129.
17. **Aziz N. L. A., Aizam N. A. H.** A Brief Review on the Features of University Course Timetabling Problem. *AIP Conference Proceedings*, 2016. 020001 (2018).

Сведения об авторе / Information about author

Дмитрий Андреевич Масляев / Denis A. Maslyayev

старший преподаватель кафедры экономики и менеджмента / senior lecturer of the Department of Economics and management

Коми республиканская академия государственной службы и управления / Komi republican academy of public service and administration

167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, дом 11 / 167982, Russia, Syktyvkar, Kommunisticheskaya St., 11

Статья поступила в редакцию / The article was submitted 16.02.2022

Одобрено после рецензирования / Approved after reviewing 03.03.2022

Принято к публикации / Accepted for publication 15.03.2022