

Ячменев Е.Ф.

УДК 378.009.12

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ В ВУЗЕ

Аннотация. По результатам проведенного анализа существующих математических методик сформирована единая концепция составления расписания в учебных заведениях. Используя методы сравнения и аналогий, выявлены достоинства и недостатки существующих приемов составления расписания. В основе каждой методики лежит теория планирования. Анализ показал, что на данный момент не существует единой общепринятой модели, удовлетворяющей всем требованиям, предъявляемым к расписанию занятий в полном объеме. Определены группы ограничений к составлению расписания (строгие, нестрогие и необязательные). Рекомендуется использовать модель Попова Г.А. в качестве базовой модели для составления расписания занятий вуза.

Ключевые слова: математическая модель, теория расписаний, теория планирования, учебный процесс, оптимизация.

Анотация. За результатами проведенного аналізу існуючих математичних методик сформована єдина концепція складання розкладу в навчальних закладах. Використовуючи методи порівняння і аналогії, виявлені існуючі переваги і недоліки існуючих прийомів складання розкладу. В основі кожної методики лежить теорія планування. Аналіз показав, що на даний момент не існує єдиної загальноприйнятої моделі, що задовольняє всім вимогам, що пред'являються до розкладу занять в повному обсязі. Визначено групи обмежень до складання розкладу (строгі, несурові і необов'язкові). Рекомендують використовувати модель Попова Г.А. в якості базової моделі для складання розкладу занять вузу.

Ключові слова: математична модель, теорія розкладів, теорія планування, навчальний процес, оптимізація.

Summary. Based on the analysis of existing mathematical techniques formed a unified concept of scheduling in schools. Using the methods of comparison and analogy, identified strengths and weaknesses of the existing techniques for scheduling. At the heart of each technique based on the theory of planning. The analysis showed that at the moment there is no single generally accepted model that satisfies all the requirements of the class schedule in full. The groups of constraints to the scheduling of (strict, lax, and optional). Features are as strict limitations: one session - one audience; one stream - one audience; one teacher - one lesson - one audience; capacity audience corresponds to the number of students in a group or in a stream; technical equipment must comply with the audience held in her classes; number of classes per week corresponds to a semester schedule. Lax - to schedule the flow should not be windows; the stream per day should be no less than two pairs. Not mandatory - minimize transitions between buildings and groups of transitions need to be on a long break; consider securing audiences for departments. It is recommended to use the model Popov GA as a basic model for scheduling classes of high school.

Keywords: mathematical model, scheduling theory, the theory of planning, learning process optimization.

Актуальность. Проблема составления расписания занятий вуза является предметом исследования в работах многих авторов. В современных условиях развития высшего образования становится очевидной необходимость использования автоматизированных средств планирования и составления расписания учебных занятий. Процесс составления расписания основан на анализе значительного количества информации и требует значительных трудозатрат. Эффективное управление ресурсами является сложной и одной из первоочередных задач, стоящих перед вузами в процессе предоставления образовательных услуг. Вместе с тем, эффективное управление деятельностью организации в современной динамичной внешней и внутренней среде невозможно без информационной поддержки.

Исследования в области теории расписания проводились такими учеными М. Юнгингер [17], Д. де Верра Линг [17], Фарион и Доллански, Э. Бурке [21, 17], А.Н. Безгинов и С.Ю. Трегубов [3, 5], Г.А. Попов [17], В.А. Атрощенко., И.С. Семенюта [2], А.М. Донецков [7], Бурк Э. и Петровик С. [17], но до сегодняшнего дня эта проблема не разрешена полностью как в теории, так и на практике.

Целью исследования существующих теорий, комплекса моделей и методов оптимизации расписания занятий в высшем учебном заведении является формирование единой концепции составления расписания в учебных заведениях с учетом выявленных их достоинств и недостатков.

Задачи составления расписаний являются предметом научных исследований с середины прошлого века [9]. Задача планирования расписания учебных занятий вуза является задачей на составление расписания комбинаторного типа, характерной особенностью которой является очень большая размерность и наличие большого числа ограничений сложной формы [1].

Расписание занятий – документ, регламентирующий датавременное осуществление процесса обучения в вузе.

Совершенствование учебного процесса вуза на практике чаще всего осуществляется на основе планирования занятий. Такие исследователи как А.А. Лазарев, Е.Р. Гафаров [9], А.Н. Безгинов и С.Ю. Трегубов [6], Бурк Э. и Петровик С. [17], в своих работах доказывают, что принципы, комплекс моделей и методов, а так же логика оптимизации расписания занятий в высшем учебном заведении, могут претендовать на научный базис теории расписания.

Первые исследования данной проблемы были представлены в 60-х годах двадцатого века [16, 17, 22]. С 1963 г. начиная с работ К. Готлиба проводились попытки определить и систематизировать задачи составления расписания, а также определить подходы к их автоматизации [21]. Так, исследователями Шмидтом и Стрехлейном в 1979 было собрано около 200 трудов по проблеме автоматизации составления расписаний [21]. В 1986 г. доктор М. Юнгингер провел исследование проблемы составления расписания в университетах Германии. Было описано программное обеспечение, реализующее функции составления расписания, а также предложен подход к решению задачи, основываясь на методе прямой эвристики [17].

В 1985 г. профессор Д. де Верра опубликовал в Парижском университете труд, в котором представил

формализацию проблемы составления расписания, формулировку задачи, а также определил наиболее важные на тот момент подходы к решению задачи [16]. С развитием общей теории расписаний менялись и подходы к формализации и решению задачи составления расписания занятий в высших учебных заведениях.

Для формулирования задачи составления расписания применялись методы линейного программирования (1970-1980 гг.) [16, 18], сетевые модели (1980-е) [22], логическое программирование в ограничениях (1990-е) [18, 20]. В последние десятилетия получило развитие направление поиска эффективных эвристических методов решения задачи составления расписания занятий вуза. Представлены труды зарубежных авторов (Линг (1992 г.), Фарини и Доллански (1994 г.), Бурке (2004 г.)) [21, 13].

Также существует много российских исследований, среди них такие работы, как:

- А.Н. Безгинов и С.Ю. Трегубов, СПФ МГИУ, по использованию генетических алгоритмов (2011 г.) [3, 5];
- Попов Г.А., Астраханский государственный технический университет – применение методов линейного программирования (2005 г.) [11];
- Атрощенко В.А., Семенюта И.С., Кубанский государственный технологический университет – эвристический алгоритм решения задачи составления расписания занятий вуза (2011 г.) [2].

Разработки автоматизированных средств для составления расписания занятий вуза проводились во многих учебных заведениях, таких как:

- МГТУ им. Н.Э.Баумана – А.М. Донецков [7];
- Томский государственный университет, АИС «Расписание ТГУ»;
- Винницкий национальный технический университет [10].

Также кроме разработок учебных заведений, на сегодняшний момент существуют коммерческие средства автоматизации процесса составления расписания занятий. Среди них разработки компаний 1С, «Галактика», «Ректор», что свидетельствует об актуальности решения проблемы автоматизации процесса составления расписания, и заинтересованности коммерческих организаций в данной сфере.

В настоящее время проблема автоматизации составления расписания занятий вуза остается открытой. Актуальность задачи определяется ростом требований к качеству обучения, планированию работы студентов, рациональному использованию аудиторного фонда, а также учетом дополнительных параметров оптимизации. Задача составления расписания вуза относится к общей теории расписаний. Ее можно классифицировать по типу искомого решения как задачу упорядочивания, по типу целевой функции – как задачу многокритериальную оптимизации [35]. Раздел теории расписаний, к которому относится задача составления расписания вуза называется “Составление временных таблиц” [9, 15].

Задачу составления временных таблиц можно охарактеризовать как проблему размещения определенных ресурсов, с учетом детерминированных ограничений, в ограниченные временные интервалы и места с целью удовлетворить целому ряду поставленных критериев оптимальности в максимальной степени [22]. В случае задачи составления расписания занятий во временные интервалы необходимо разместить занятия учебных студенческих групп. В наиболее общей формулировке задача составления расписания состоит в следующем. С помощью некоторого множества ресурсов или обслуживающих устройств должна быть выполнена некоторая фиксированная система заданий. Цель заключается в том, чтобы при заданных свойствах заданий и ресурсов и наложенных на них ограничениях найти эффективный алгоритм упорядочивания заданий, оптимизирующий или стремящийся оптимизировать требуемую меру эффективности [9].

Общая теория расписаний предполагает, что все обслуживающие устройства (или процессоры) не могут выполнять в данный момент времени более одного задания, что для расписания учебных занятий не является достаточным, если в качестве процессора при распределении заданий принять учебную аудиторию. Так в некоторых случаях в одной аудитории могут проводиться занятия с более чем одной группой одновременно, например общие лекции для нескольких потоков.

Поэтому при переносе общей теории расписаний на расписание учебных занятий были сделаны следующие допущения:

- в качестве множества заданий для распределения выступают учебные занятия преподавателя с учебными группами;
- модель времени в системе является дискретной; все распределение предполагается периодически повторяющимся на протяжении некоторого временного интервала;
- все задания выполняются за одинаковое время, которое принимается за единицу дискретизации временного интервала;
- задания имеют принадлежность к объектам, в качестве которых выступают учебные группы и преподаватели [8].

Задача составления расписания может быть сформулирована в терминах линейного целочисленного программирования. Описывается система из работ, состоящих из операций, и машин, выполняющих конкретные операции. В виде неравенств представлена система ограничений. Также вводятся дополнительные целочисленные переменные для описания ограничений типа «или-или», которые нельзя описать в рамках обычного линейного программирования. Далее записывается сама система и формируется целевая функция. Целевые функции могут быть различными. Конкретный вид целевой функции зависит от того, что нам необходимо минимизировать [6].

В задаче составления расписания выделяют ограничения строгие и нестрогие [3, 6, 11, 12, 15]. Большинство авторов к строгим требованиям относят требования, нарушение которых в расписании приводит к невозможности организации на его основе полноценного учебного процесса (например, требование «в одно и то же время один преподаватель может проводить только одно занятие»).

Остальные требования относят к нестрогим, им сопоставлены приоритеты, меньшие по сравнению со строгими требованиями. Кроме того, при определенных условиях допускается их полное или частичное невыполнение. В частности, в реальных задачах из-за противоречий между требованиями нередко не существует расписания, удовлетворяющего всем наложенным на него нестрогим требованиям [11, 19, 20].

Анализируя работы по описанию задачи составления расписания, можно выделить следующие группы ограничений:

Строгие ограничения. Имеют абсолютный приоритет, учитываются всегда и не могут быть нарушены. К ним относятся:

- занятия не могут проводиться одновременно в двух разных аудиториях;
- у потока может быть только одно занятие в момент времени;
- преподавателю может быть назначено только одно занятие в одной аудитории в момент времени;
- вместимость аудитории должна быть не меньше количества студентов в потоке;
- техническая оснащённость аудитории должна соответствовать требованиям проводимого в ней занятия;
- количество занятий в неделю должно быть равным количеству занятий в неделю в семестровом графике.

Предъявляемые нестрогие ограничения:

- в расписании потока не должно быть окон;
- у потока в день должно быть не меньше двух пар;

Предъявляемые необязательные ограничения. Могут быть нарушены, но их ограничения нежелательно. Нарушение этих ограничений можно оценить, используя систему штрафов за нарушение: необходимо минимизировать переходы групп между корпусами и переходы должны быть на большой перемене; учитывать закрепление аудиторий за кафедрами.

Учебный процесс вуза формируется на базе блочного обучения с двухнедельным циклом чередования недель. Исходя из этого, можно добавить такие нестрогие ограничения: желательно, чтобы занятия по дисциплине проходили в одной аудитории и в одно время на протяжении всего периода изучения.

Для оценки расписания, как правило, применяется скалярная функция, основанная на взвешенной системе штрафов, сопоставленных требованиям за их полное или частичное невыполнение [6].

Весовые коэффициенты, сопоставленные отдельным требованиям, как правило, задаются экспертом таким образом, чтобы требованиям более высокого приоритета соответствовали большие значения весовых коэффициентов.

Если учебные планы составлены таким образом, что дисциплины могут читаться только один раз в неделю или через неделю и противоречивость требований устранена, то задача составления оптимального расписания может быть поставлена как задача линейного целочисленного программирования. При таком подходе интересы субъектов учебного процесса учитываются в виде ограничений или редуцированных критериев оптимальности. Целевой функцией задачи является минимизация суммы штрафов за нарушение нестрогих ограничений, накладываемых на расписание. Система ограничений состоит из формализованных строгих ограничений, которые должны быть выполнены обязательно. Изучив существующие реализации математических моделей задачи составления расписания, был проведен их сравнительный анализ [1, 3, 4, 11, 14, 18].

Рассмотрим математические модели задачи составления расписания занятий вуза, предлагаемые зарубежными и российскими исследователями.

Модель авторов Бурк Э. и Петровик С., разработана в Ноттингемском университете, Англия. Модель построена в терминах линейного целочисленного программирования, формулируется расписание учебных занятий на одну неделю. В модули учитываются строгие ограничения на отсутствие накладок в расписании аудиторий, преподавателей и студентов, требования к технической оснащённости аудиторий, минимизируется количество окон в расписании, учитывается ограничения максимальной и минимальной дневной нагрузки группы [14]. Модель не реализует ограничения, связанные с возможными недельными циклами в расписании, географическое распределение корпусов.

Модель авторов Лак Д. и Любек М., разработана в Берлинском техническом университете, Германия. Формулируется в терминах целочисленного линейного программирования. Учитывает строгие ограничения на отсутствие накладок, технической оснащённости аудиторий, отсутствие окон и ограничение минимальной и максимальной нагрузки группы. Также в модели формализована возможность учета пожеланий преподавателей к расписанию [18]. Модель не реализует учет ограничений, связанных с недельными циклами в обучении

Модель Попова Г.А., разработана в Астраханском государственном техническом университете, РФ. Модель построена в терминах квадратичного программирования, реализует строгие ограничения на отсутствие накладок в расписании, техническую оснащённость аудитории, учет географической удаленности корпусов вуза, отсутствие окон, пожеланий преподавателей. Модель не реализует ограничения, связанные с чередованием недель в расписании [11].

Модель авторов Семенюты И.С. и Атрошенко В.А. разработана в Кубанском государственном университете, РФ. Модель сформулирована в терминах линейного программирования. В модели реализованы строгие требования на отсутствие накладок в расписании, отсутствие окон. В модели не

реализованы ограничения на минимальное и максимальное количество занятий, и учет недельного чередования расписания [2].

Модель авторов Безгинова А.Н. и Трегубова С.Ю., разработана в филиале Московского государственного индустриального университета, г. Сергеев Посад, РФ. Модель построена в терминах линейного программирования, реализует строгие требования на отсутствие накладок, требования к оснащенности аудиторий, ограничения на минимальное и максимальное количество занятий и отсутствие окон в расписании групп [3, 4].

В модели не реализован учет географической распределенности корпусов, а также, требования, связанные с чередованием недель в расписании.

Сравнительная таблица математических моделей задачи составления расписания занятий вуза представлен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный анализ моделей задачи составления расписания занятий вуза

| Параметры модели | Бурк Э., Петровик С., Ноттингемский университет, Англия | Лак Д., Любек М., Берлинский технический университет, Германия | Попов Г.А., Астраханский государственный технический университет, РФ | Атрощенко В.А., Семенюта И.С., Кубанский государственный технологический университет, РФ | Безгинов А.Н., Трегубов С.Ю., филиал Московского государственного индустриального университета, г. Сергеев Посад, РФ |
|---|---|--|--|---|--|
| Учет строгих требований на отсутствие накладок в расписании | Да | Да | Да | Да | Да |
| Учет требований к технической оснащенности аудиторий | Да | Да | Да | Да | Да |
| Учет требований, связанных с окнами в расписании | Да | Да | Да | Да | Да |
| Учет ограничений на минимальную и максимальную дневную нагрузку | Да | Да | Да | Нет | Да |
| Учет предпочтений преподавателей | Нет | Нет | Да | Да | Да |
| Учет географической отдаленности корпусов | Нет | Нет | Да | Нет | Нет |
| Учет закрепления аудиторий за подразделениями | Нет | Нет | Нет | Нет | Нет |
| Постоянство аудитории для проведения занятий курса | Да | Нет | Нет | Нет | Нет |
| Постоянство времени проведения занятий при чередовании недель | Нет | Нет | Нет | Нет | Нет |
| Способ представления модели | Линейное целочисленное программирование | Линейное целочисленное программирование | Квадратичное программирование | Линейное программирование | Линейное программирование |
| Возможность расширения модели | Да | Да | Да | Да | Да |

Выводы. Анализ существующих математических моделей показал, что на данный момент не существует модели, удовлетворяющей всем требованиям, предъявляемые к расписанию занятий в полной мере.

Наиболее полной моделью, реализующей большое количество ограничений является модель Попова Г.А., поэтому целесообразно использовать ее в качестве базовой модели для расширения и удовлетворения потребностей автоматизации процесса составления расписания занятий вуза.

Источники и литература:

1. Андреев А. М. Выбор СУБД для построения информационных систем корпоративного уровня на основе объектной парадигмы / А. М. Андреев, Д. В. Березкин, Ю. А. Кантонистов // Системы управления базами данных, №04–05, 1998.
2. Атрощенко В. А. Разработка математической модели автоматизированной системы составления расписания / В. А. Атрощенко, И. С. Семенюта / Под ред. канд. техн. наук, д-ра экон. наук, проф.

- А. В. Бабкина, д-ра техн. наук, проф. В. А. Кежаева : Труды междунар. конф. – СПб. : СПбГАСУ, 2011. – С. 193–201.
3. Безгинов А. Н. Комплекс алгоритмов построения расписания вуза. Ч. 1 : Система оценки качества расписания на основе нечетких множеств, алгоритм поиска оптимального расписания / А. Н. Безгинов, С. Ю. Трегубов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2011. – Вып. 5. – С. 127–135.
 4. Безгинов А. Н. Комплекс алгоритмов построения расписания вуза. Ч. 2 : Структура представления данных и алгоритм опорного решения / А. Н. Безгинов, С. Ю. Трегубов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта, 2011. – Вып. 10., С. 93 – 102.
 5. Безгинов А. Н. Многокритериальный подход к оценке расписания занятий на основе нечеткой логики / А. Н. Безгинов, С. Ю. Трегубов // Проблемы управления, 2011. Вып. 2., С. 52 – 59.
 6. Безгинов А. Н. Обзор существующих методов составления расписаний / А. Н. Безгинов, С. Ю. Трегубов // Информационные технологии и программирование : Межвуз. сб. статей. М., 2005. – Вып. 2, № 14.
 7. Донецков А. М. Автоматизация составления расписания учебных занятий в вузе / А. М. Донецков – Материалы Всероссийской научно-технической конференции «Научно-технические технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в ВУЗе». – Т.2. – М., Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 98 с.
 8. Лагоша Б. А. Комплекс моделей и методов оптимизации расписания занятий в вузе / Б. А. Лагоша, А. В. Петропавловская. – М. : Экономика и математические методы. – 1993 г. – 410 с.
 9. Лазарев А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А. А. Лазарев, Е. Р. Гафаров. – М. : Физический факультет МГУ, 2011.
 10. Мокін В. Б. Розробка та впровадження систем документообігу і менеджменту навчального процесу магістерської підготовки / В. Б. Мокін, С. В. Бевз, С. М. Бурбело // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006.– № 2. – С. 5–12.
 11. Попов Г. А. Формализация задачи составления расписания в высшем учебном заведении / Г.А. Попов – Вестник АЕТУ. – 2006. – № 1.
 12. Яндыбаева Н. В. Генетический алгоритм в задаче оптимизации учебного расписания вуза / Н. В. Яндыбаева. // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 11. С. 97–98.
 13. Burke E., Kingston J., de Werra D. (2004). Applications to timetabling. In: J. Gross and J. Yellen (eds.) The Handbook of Graph Theory, Chapman Hall/CRC Press, 2004, 445–474.
 14. Burke, E., Kingston, J., Jackson, K., and Weare, R., Automated University Timetabling : The State of the Art, The Computer Journal 40(9) 1997, P. 565–571.
 15. Burke E.K., Petrovic S., Educational Timetabling, in Joseph Leung (Ed.) Handbook of Scheduling : Algorithms, Models, and Performance Analysis, Chapman & Hall / CRC Press, 2004, P. 45–1 – P. 45–23.
 16. de Werra, D., An introduction to timetabling / European Journal of Operational Research, 19 : P. 151 – 162, 1985.
 17. Junginger W., Timetabling in Germany – a survey [Электронный ресурс] / In Interfaces, Vol. 16, No. 4, 1986, P. 66–74.
 18. Lach G., Lübbecke M.E. : Curriculum based course timetabling : new solutions to Udine benchmark instances. Annals OR 194(1) : P. 255–272 (2012)
 19. Petrovic S., Burke E. University timetabling / Handbook of Scheduling: Algorithms, Models, and Performance Analysis. – Chapman Hall : CRC Press, 2004. – Part VI. – Chapter 45. – P. 1–14.
 20. Rudova H., Vlk M. Multi-criteria soft constraints in timetabling // Proc. MISTA. – 2005. – P. 11–15.
 21. Shraerf A. A survey of automated timetabling / Journal Artificial Intelligence Review archive Volume 13 Issue 2, April 1999.
 22. Wren A. Scheduling, timetabling and rostering – a special relationship? In E. Burke and P. Ross (editors), Practice and Theory of Automated Timetabling, Springer-Verlag LNCS 1153, P. 46–75, 1996.