

УДК 519.6

В.И. Верёвкин, О.М. Исмагилова, Т.А. Атавин

## Автоматизированное составление расписания учебных занятий вуза с учётом трудности дисциплин и утомляемости студентов

Работа посвящена составлению расписания занятий с учетом трудности дисциплин и утомляемости студентов.

**Ключевые слова:** расписание занятий, утомляемость студентов, трудность дисциплин, ограничения, критерии, окна в расписании занятий.

Вопросы учета трудности дисциплин и утомляемости студентов при составлении расписания учебных занятий активно обсуждаются в отечественной педагогической среде, начиная с появления в 1975 году так называемой шкалы трудности предметов [1, 4]. В настоящее время к важной характеристике расписания можно отнести и оценку утомляемости обучающихся. Составление расписания учебных занятий с учётом трудности дисциплин в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами позволяет правильно перераспределять нагрузку на студентов в течение дня, недели и всего семестра.

В результате составления расписания занятия располагаются в определённой последовательности. С учётом сдвоенности часов занятий в вузах, планируемые дисциплины по видам занятий (лекционным, лабораторным, практическим) будем выражать в условных единицах – парах занятий. Учебные занятия планируются по предварительно собранной информации об условиях составления расписания – ресурсах, которые необходимы для успешного проведения этих занятий, и ограничениях. В числе ресурсов: списки групп, преподавателей и аудиторий. Ограничения делятся на несколько классов: 1) задаваемые нормами проведения занятий (условиями разделения групп на подгруппы, физической вместимостью аудиторий, допустимой продолжительностью занятий), 2) обусловленные графиком проведения занятий (числом задействованных дней недели, рациональной последовательностью планирования различных дисциплин и видов занятий), 3) задаваемые логическими условиями (закреплением каждой аудитории за предметами и преподавателями, предназначением аудиторий для проведения определённых видов занятий, занятостью преподавателей согласно картам поручений преподавателей, доступностью аудиторий, пожеланиями преподавателей согласно сведениям к составлению расписания).

Санитарно-гигиенические нормы отражаются в следующих условиях: допустимой продолжительности занятий, числе задействованных дней недели, рациональной последовательности планирования различных дисциплин и видов занятий в течение суток, недели и семестра. Дисциплины и их отдельные темы имеют различную трудность, влияющую на утомляемость студентов. В свою очередь, утомляемость отрицательно сказывается на усвоении учебного материала. Поэтому рациональная последовательность дисциплин и видов занятий в течение семестра должна учитывать изменения среднеинтегрального ранга трудности занятий от одной дисциплины к другой.

Разные дисциплины могут быть взаимосвязаны по самому учебному материалу (иметь междисциплинарные связи). Например, физика использует математический аппарат, а математические понятия имеют физический смысл.

В компьютерной программе для автоматизированного составления расписания междисциплинарные связи могут быть описаны с помощью графа перекрестных ссылок между различными темами. Трудность может быть представлена «коэффициентом трудности» для каждого кортежа в отношении «преподаватель – тема». Причём трудность усвоения материала каждого данного занятия зависит от его логической взаимосвязи с материалом предыдущих занятий. Например, если вскоре после лекции следует практическое или лабораторное занятие на ту же тему, то это снижает трудность усвоения материала занятия и способствует его закреплению.

Задача составления расписания учебных занятий относится к классу комбинаторных и предъявляет повышенные требования к машинным ресурсам. Решение задачи путём полного перебора и сопоставления всех возможных вариантов расписания практически не представляется возможным.

В рамках составления расписания занятий мы выделяем задачу формирования допустимого (не обязательно оптимального) расписания вновь, удовлетворяющего при этом всем наложенным ограничениям, и задачу улучшения имеющегося расписания. Обе задачи много проще задачи составления оптимального расписания, а их решение требует меньшего расхода памяти и числа операций.

В ходе составления расписания учебных занятий последовательность наложения ограничений может быть различной: можно начинать от ограничений, связанных с преподавателями, либо с подгруппами, либо с дисциплинами, либо с аудиториями. Однако мы предлагаем решать задачу, основываясь на одновременном учёте нескольких ограничений, связанных между собой ранее подготовленным объектом – композитной сущностью, уже описывающей связь преподавателей, дисциплин и подгрупп студентов. В качестве такой композитной сущности предлагается использовать строку карты поручений расчета часов по дисциплине для конкретного преподавателя.

Полный массив таких строк по всем задействованным преподавателям мы предлагаем сортировать с учетом количества ограничений, выявленных для каждого данного преподавателя в сведениях к составлению расписания. Одновременно предлагается сортировка строк по объему  $P_{np}$  учебной нагрузки преподавателя на планируемый семестр и по семестровой учебной нагрузке студентов  $P_{cm}$  данной специальности и курса согласно учебному плану. Чем больше объёмы учебной нагрузки  $P_{cm}$  и  $P_{np}$  и выше число ограничений, содержащихся в сведениях к составлению расписания данного преподавателя, тем выше номер строки в ранжированном списке строк. Сортировка осуществляется по скаляризованному параметру в виде аддитивной взвешенной свёртки с нормированием на диапазоны изменений соответствующих составляющих показателя:

$$k_k = a_{kcm} \frac{P_{cm} - \min(P_{cm})}{\max(P_{cm}) - \min(P_{cm})} + a_{knp} \frac{P_{np} - \min(P_{np})}{\max(P_{np}) - \min(P_{np})} + a_o \frac{N_o - \min(N_o)}{\max(N_o) - \min(N_o)}, \quad (1)$$

где  $k_k$  – скаляризованный параметр сортировки строк карт поручений;  $N_o$  – число ограничений, выявленных для данного преподавателя в сведениях к составлению расписания;  $a_{kcm}$ ,  $a_{knp}$ ,  $a_o$  – веса,  $a_{kcm} + a_{knp} + a_o = 1$ .

Для сокращения суммарной длительности окон планируемого расписания (свободного времени в выписке из расписания между запланированными парами занятий), следует ввести для каждого кортежа  $L$  в отношении «преподаватель – номер пары занятия – подгруппа» переменный коэффициент предпочтения номера пары занятия. Этот коэффициент зависит от интервалов между данным и уже занятыми номерами пар занятий для соответствующих подгрупп и преподавателя. Исключение касается лишь тех кортежей, в которые входят уже занятые номера пар занятий – в них атрибут коэффициента предпочтения не заполняется. Номера пар занятий предварительно сортируются по параметру, пропорциональному коэффициенту предпочтения. Результирующий коэффициент предпочтения вычисляется путём мультипликативной свёртки коэффициентов предпочтения, связанных с двумя кортежами  $K$  и  $M$  соответственно в отношениях «преподаватель – номер пары занятия» и «подгруппа – номер пары занятия»:

$$k = (k_{np})^{a_{np}} \cdot (k_{cm})^{a_{cm}}, \quad (2)$$

где  $k$  – результирующий коэффициент предпочтения,  $k_{np} \in [1, n_{нар} - 1]$  – коэффициент предпочтения для преподавателя,  $k_{cm} \in [1, n_{нар} - 1]$  – коэффициент предпочтения для подгруппы,  $a_{np} \geq 1$ ,  $a_{cm} > 1$  – действительные показатели степеней,  $n_{нар}$  – максимальное число пар занятий в сутках.

Коэффициенты предпочтения  $k_{np}$ ,  $k_{cm}$  определяются по формулам:

$$k_{np} = n_{нар} - N_{unp}, \quad (3)$$

$$k_{cm} = n_{nap} - N_{uct}, \quad (4)$$

где  $N_{unp}$ ,  $N_{uct}$  – суммарная продолжительность окон (в пределах суток) после планирования пары занятий преподавателю или подгруппе.

В кортежи К и М входит тот же номер пары занятия, что и в кортеж L. Примеры задания значений коэффициентов предпочтения приведены в таблицах 1 и 2. Прочерки стоят в строках, соответствующих номерам пар занятий, на которые запланированы занятия.

Таблица 1

**Пример назначения коэффициентов предпочтения без окна**

№ пары занятия	Коэффициенты предпочтения $k_{np}$ , $k_{cm}$
1	1
2	2
3	3
4	–

Таблица 2

**Пример назначения коэффициентов предпочтения с окном**

№ пары занятия	Коэффициенты предпочтения $k_{np}$ , $k_{cm}$
1	–
2	3
3	–
4	2

С целью снижения вероятности возникновения окон у подгрупп в готовом расписании, коэффициенты предпочтения для них входят в свёртку в большей степени, чем для преподавателей. Кроме того, показатель степени  $a_{np}$  коэффициента предпочтения преподавателя  $k_{np}$  зависит от приоритета конкретного преподавателя: чем выше приоритет, тем больше показатель степени. Для практических занятий коэффициенты предпочтения суммируются перед возведением в степень и умножением по всем подгруппам группы, а для лекционных – по всем подгруппам потока.

Для учёта утомляемости студентов на этапе формирования расписания в параметре сортировки номеров пар занятий следует учесть произведение коэффициента трудности на коэффициент утомляемости. Причём коэффициент утомляемости должен зависеть от времени в пределах учебного года, недели, суток и номера пары занятия по порядку за текущие сутки для данной подгруппы. Параметр сортировки номеров пар занятий вычисляется по формуле:

$$k_{nap} = k / (k_m \cdot k_y), \quad (5)$$

где  $k_{nap}$  – параметр сортировки номеров пар занятий,  $k$  – коэффициент предпочтения,  $k_m$  – коэффициент трудности,  $k_y$  – коэффициент утомляемости. Коэффициент  $k_m$  определяется по шкале трудности, первоначально предложенной И.Г. Сивковым и расширенной с учетом вновь введенного перечня учебных дисциплин [4]. Коэффициент  $k_y$  находится по 10-балльной шкале утомляемости, построенной по результатам медико-социологического исследования студентов [1]. В конце семестра проводилось анкетирование обучающихся по вопросам предпочтительного порядка следования предметов в пределах одного учебного дня, по дням недели и в течение всего цикла учебного расписания. Перечню дисциплин анкеты ставились в соответствие фамилии преподавателей с их педагогическими технологиями и присущим им мастерством. Кроме того, при составлении шкалы утомляемости анализировались результаты модульно-рейтинговых оценок текущей успеваемости студентов при различных вариантах следования предметов.

На этапе улучшения полученного расписания сортировка отдельных элементов записей расписания продолжается по общесистемному критерию. Для упрощения вычислений критерий принят в форме аддитивной свертки локальных составляющих. В качестве последних использованы: степень выполнения заявок преподавателей, суммарные размеры окон для преподавателей и отдельно – для студентов, равномерность распределения занятий по дням недели, полнота использования посадочных мест в аудиториях, число переходов групп (подгрупп) между корпусами, для преподавателей – суммарное число дней недели с окнами. Кроме того, в критерий дополнительно включены переменные, характеризующие интегральное значение степени соответствия реального графика изменения утомляемости по дан-

ному дню недели и подгруппе (группе) рекомендуемому графику, составленному согласно гигиеническим требованиям. Реальная утомляемость тесно коррелирует с трудностью соответствующих предметов, а также со среднегрупповыми возможностями студентов и уровнем мастерства педагога [1, 4]. Определенное воздействие на степень утомляемости также оказывают: интенсивность подачи материала, мотивированность студентов и межпредметные связи. Еще одно дополнение критерия содержит интегральную составляющую, отражающую график изменения утомляемости обучающихся по дням недели.

При формировании расписания возможно образование тупиковой ветви решения, то есть такой, при которой дальнейшее продолжение процесса формирования расписания с учётом всех жестких ограничений окажется невозможным. В этом случае запускается операция модификации имеющихся записей с целью преобразования данной ветви и разрешения тупиковой ситуации.

При составлении каждого данного расписания оказываются полезными логические условия, которые были успешно использованы в предыдущих расписаниях учебных занятий. Эти логические условия в форме представленного в удобном для последующего использования макете и выполняют функцию макросов – дополнительных программ, автоматизирующих управление приложением. Их поддержка придает приложению саморасширяемость, обеспечивая алгоритму составления расписания возможность добавления новых функций без внесения изменений в исходный текст программы и ее повторной трансляции. Примером могут служить представляемые графиками макеты утомляемости в пределах суток, недели или учебного года. Используются макеты закрепления аудиторий за дисциплинами и преподавателями (в форме таблиц). Оба эти макета являются программными средствами длительного использования.

Используется реляционная модель данных. Это позволяет при составлении расписания применить удобные СУБД со стандартным программным интерфейсом. Однако в сочетании с предлагаемым алгоритмом составления расписания целесообразнее применение объектной модели данных и соответствующих полиморфичных классов объектов. Причиной этого является необходимость хранения в некоторых объектах вариативных ссылок на объекты изменяемого типа. При явном табличном представлении таких данных разные строки (записи) отдельных таблиц содержат разные наборы атрибутов отношения, что не допускается в реляционной модели данных. Для разрешения этого противоречия информацию о контингенте студентов предлагается хранить в виде иерархического списка подгрупп. Поток делится на группы, а любая группа – на подгруппы. Данная структура не зависит от численности конкретных групп студентов и числа групп в потоках. Каждая вариативная ссылка заменяется ссылкой на вспомогательный линейный список подгрупп, связанный с содержащим ее объектом. При этом каждый такой список формируется в соответствии с требуемым вариантом ссылки на основе общего иерархического списка подгрупп. Формируемая параллельно с получением самого расписания таблица занятости студентов связывает булевый флаг занятости с каждой подгруппой, явно не учитывая иерархию списка подгрупп студентов. Но иерархия указанного списка учитывается в ходе составления расписания при обработке таблицы занятости студентов.

Эта таблица формируется только на основе самого расписания в процессе его составления. Таблицы занятости аудиторий и преподавателей составляются на основе исходных данных, в том числе сведений к составлению расписания, и обновляются на основе данных, получаемых в ходе планирования.

Пример: составление расписания учебных занятий дневной формы обучения технологического факультета Кузбасской государственной педагогической академии.

Используется пятидневная рабочая неделя. Рассматривается цикл занятий – пять недель, начиная с 1 сентября по 5 октября. Занятия ведутся на пяти курсах. На каждом курсе три группы. В перечне предметов цикла – 62 наименования. Реализуются занятия четырех видов: лекции, лабораторные, практические и семинарские. При проведении лабораторных занятий каждая группа делится на две подгруппы. Расписание по четным-нечетным неделям не делится. Часть занятий сопрягается с учебным процессом на шести других факультетах. Общее число задействованных преподавателей – 83.  $k_m \in [7-15]$ .  $k_y \in [5-10]$ . Пожелания пре-

подавателей учитываются в сведениях к составлению расписания. Полученные результаты автоматизированного составления расписания учебных занятий: продолжительность поиска решения – 23 минуты, степень выполнения заявок – 90,0%, «окон» у студентов и преподавателей нет, средняя трудность предметов – 11,3 балла, среднеинтегральная утомляемость студентов – 6,3 балла, полнота использования посадочных мест в аудиториях – 92,8%, относительный показатель числа переходов преподавателей между корпусами – 9,8%, относительный показатель числа переходов студентов между корпусами – 6,5%.

### **Литература**

1. Александрова Н.Э. Трудность школьных учебных предметов как гигиеническая проблема [Текст] / Н.Э. Александрова, А.С. Седова, М.И. Степанова // Народное образование. – 2004. – №7. – С. 119–122.
2. Галузин К.С. Математическая модель оптимального учебного расписания с учётом нечётких предпочтений [Текст] : автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук / К.С. Галузин. – Пермь : ПГТУ, 2004. – 16 с.
3. Маслов М.Г. Разработка моделей и алгоритмов составления расписаний в системах административно-организационного управления [Текст] : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / М.Г. Маслов. – М. : МГУПБ, 2004. – 24 с.
4. Степанова М.И. С позиций сбережения детского здоровья: новые шкалы трудности учебных предметов [Текст] / М.И. Степанова, И.Э. Александрова, А.С. Седова // Директор школы. – 2004. – №4. – С. 87–91.

---

#### **Верёвкин Валерий Иванович**

Доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой автоматизации производственных процессов Кузбасской государственной педагогической академии, г. Новокузнецк  
Тел.: раб. 8-3843-74-46-42 (доп. 1), моб. 8-913-427-6573  
Эл. почта: verevkin-vi@mail.ru

#### **Исмагилова Ольга Михайловна**

Аспирант Кузбасской государственной педагогической академии, г. Новокузнецк  
Тел.: раб. 8-3843-74-46-42 (доп. 1)  
Эл. почта: poryhova\_om@mail.ru

#### **Атавин Тарас Александрович**

Канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов Кузбасской государственной педагогической академии, г. Новокузнецк  
Тел.: раб. 8-3843-74-46-42 (доп. 1)

V.I. Verevkin, O.M. Ismagilova, T.A. Atavin

#### **The automatic creation of the lessons timetable with take into attention of a subjects difficulty and a students fatigue**

Work is devoted to drawing up of the schedule of employment in view of difficulty of disciplines and fatigue of students. The decision of this problem is offered, being based on the simultaneous account of several restrictions. Fatigue of students is considered in parameter of sorting of numbers of pairs educational employment in the form of product of factor of difficulty on factor of fatigue.

**Keywords:** the schedule of employment, fatigue of students, difficulty of disciplines, restrictions, criteria, windows in the schedule of employment.