

АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ

А.А. Сеньковская¹

аспирант, e-mail: anastassiya.senkovskaya@gmail.com

И.И. Фураева²

доцент, к.ф.-м.н., e-mail: furig@mail.ru

¹Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского, Омск, Россия

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Аннотация. Представлены принципы влияния рабочих учебных планов на педагогическую нагрузку в целом и на конечное расписание занятий в итоге, а также необходимость их оптимизации. Показано, что предварительный анализ исходных данных позволяет сократить количество исследуемых переменных. Осуществляется выбор алгоритма для последующего анализа рабочих учебных планов.

Ключевые слова: оптимизация учебных планов, моделирование, уменьшение числа переменных.

Формирование педагогической нагрузки вуза происходит в первую очередь на основе рабочих учебных планов специальностей (РУП), но также немаловажным фактором является имеющийся аудиторный фонд, как специализированный так и общего пользования. Кроме того, распределение учебной нагрузки на кафедрах оказывает влияние на расписание учебных занятий. Причём расписание должно удовлетворять многочисленным требованиям организационного и методического характера, имеющим различные степени обязательности, часто противоречивым или даже взаимоисключаемым.

Для повышения эффективности процесса формирования педагогической нагрузки необходимо проведение предварительного анализа рабочих учебных планов. Более того, в задаче анализа и оптимизации учебных планов целесообразно применение математических методов не только для оценки самого учебного плана по заданным критериям оптимальности, но и оптимизация исходных данных. Все компоненты, такие как рабочие учебные планы, распределение нагрузки на кафедре, количество специализированных аудиторий в конечном счёте оказывают влияние на качество организационных процессов вуза, таких, например, как составление учебного расписания. Если педагогическая нагрузка кафедры распределена равномерно по семестрам, то это существенно облегчает процесс составления расписания. Особенно важно это в том случае, когда речь идёт о сервисной кафедре, использующей учебные аудитории не общего, а специального назначения, такие как компьютерные классы, физические или химические лаборатории. Равномерность использования аудиторий по семестрам на

каждом факультете может быть достигнута с помощью управления процессом формирования рабочего учебного плана (РУП).

Поэтому анализ рабочих учебных планов в первую очередь направлен на их оптимизацию с целью равномерного распределения педагогической нагрузки, а следовательно, с учётом студенческого контингента. Рассмотрим некоторые особенности процесса анализа на примере рабочих учебных планов Казахского университета экономики, финансов и международной торговли. Поскольку основной контингент студентов составляют обучающиеся по программам бакалавриата, основная часть педагогической нагрузки, а также загруженность специализированных аудиторий зависит от оптимизации рабочих учебных планов бакалавриата. Поэтому процесс анализа целесообразно осуществлять именно с учебными планами бакалавриата, хотя обучение ведётся также по программам магистратуры.

В рассматриваемом университете имеется три основных направления подготовки специалистов: искусство, экономика и прикладные науки. По данным трём направлениям ведётся подготовка по 17 специальностям. При этом основные проблемы при формировании педагогической нагрузки возникают с распределением сервисных дисциплин, поскольку именно они ведутся на потоке для всех специальностей и нагрузка по этим дисциплинам может быть распределена таким образом, что задача составления расписания не будет иметь решения. Анализ нагрузки проводится как для каждого потока студентов, так и для общей нагрузки выпускающей кафедры. Такой анализ позволяет на ранних этапах обнаружить такие несоответствия в распределении учебной нагрузки, которые приводят к некорректности постановки задачи расписания учебных занятий.

Рассмотрим, например, распределение нагрузки по сервисным дисциплинам для потоков студентов, обучающихся на первом курсе. В целом анализ рабочих учебных планов с целью оптимизации учебной нагрузки направлен на рассмотрение и работу с учебными планами 1 курса по той причине, что именно для студентов 1 курса осуществляется ведение дисциплин сервисных кафедр, объединённых в потоки по направлениям обучения. В течение учебного года согласно рабочему учебному плану студент должен освоить 36-40 кредитов, что примерно составляет 14-16 дисциплин.

Равномерность распределения учебной нагрузки сервисных кафедр по семестрам — это не просто благопожелание учебной части, а наиважнейшее требование управления учебным процессом. Одному из авторов пришлось не просто узнать о такой ситуации, когда невнимание к этому требованию привело к проблемам неодолимой силы при составлении расписания учебных занятий, но принимать участие в экстренном поиске выхода из создавшегося положения [1].

Рассмотрим математическую модель исследуемого процесса. Имеется N кафедр, которые ведут сервисные дисциплины. РУП по всем специальностям 1 курса, на котором и проводятся занятия по сервисным дисциплинам, уже сформированы. Нагрузка по каждой дисциплине на каждом факультете известна. Нагрузка по каждой кафедре должна быть распределена равномерно по се-

местрам. Чтобы получить не N отдельных целевых функций, а одну, следует выполнить операцию сложения с некоторым весом. В качестве веса можно использовать нагрузку кафедры по рассматриваемым сервисным дисциплинам на каждом факультете, тогда целевая функция примет вид (1):

$$\sum_{j=1}^N (V_j * |\sum_{t=1}^M (RP_{tj}^1 - RP_{tj}^2)|) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где V_j — вес для j -ой кафедры, представляющий собой исходную нагрузку кафедры до начала всех перемещений, RP_{tj}^1, RP_{tj}^2 — нагрузка j -той кафедры по сервисным дисциплинам на t -том факультете за первый и второй семестр соответственно.

Рассмотрим ограничения для задачи, которые связаны с переносом дисциплин в РУП из одного семестра в другой. Наилучшим вариантом, конечно, является такой перенос, при котором не изменяется количество кредитов в семестре. Но для общего случая в формуле (2) указано, что перенос приводит к изменению не более, чем на 1 кредит в каждом семестре.

$$-1 \leq \sum_{k=1}^{K_i^1} \delta_{ijk}^1 * Kr(D_{ijk}^1) + \sum_{k=1}^{K_i^2} \delta_{ijk}^2 * Kr(D_{ijk}^2) \leq 1, \quad (2)$$

где $Kr(D_{ijk})$ — количество кредитов дисциплины D_{ijk} в рабочем учебном плане. Хотя количество таких ограничений пропорционально количеству РУП и количеству вариантов переноса.

Следует отметить, что необходимо учесть ещё ограничение на равномерность использования специализированных аудиторий. Кажется, что это ограничение избыточно, оно уже в основном учтено при анализе нагрузки по таким дисциплинам. Но как это часто бывает при моделировании каких-либо процессов, введение дополнительных ограничений не только не усложняет получение приемлемого или оптимального решения задачи, но и значительно его облегчает. Тогда ограничение потребности в специализированных аудиториях для проведения занятий примет вид (3):

$$S_1 \leq S\Delta_1, S_2 \leq S\Delta_2. \quad (3)$$

Рассмотрим структуру РУП. Как видно из рисунка 1, в учебном плане для студентов 1 курса по направлению «Искусство» предусмотрено освоение 16 дисциплин. Если факультетов 10, тогда придётся рассматривать 16×10 переменных и выбирать для них подходящие семестры по каким-то критериям. В статье рассматривается задача для трёх факультетов конкретного университета, но предложенный алгоритм применим для любого количества факультетов. Прежде чем рассматривать алгоритм решения задачи, попытаемся уменьшить количество независимых переменных. Для этого используем особенности постановки задачи. Так, например, дисциплины «Казахский / русский язык» и «Иностранный язык» преподаются в обоих семестрах учебного года, поэтому не влияют

на равномерность распределения нагрузки для кафедры, осуществляющей преподавание данных дисциплин, и их можно не учитывать. Также исключаются из рассмотрения специализированные дисциплины по каждой специальности, ведение которых закреплено за выпускающей кафедрой. Таким образом, за два семестра в среднем по каждому из направлений осуществляется проведение занятий по 10 сервисным дисциплинам.

Академическая степень: Бакалавр

Наименование модуля	Код дисциплины	Наименование дисциплины	компонент и код	семестр	Кредиты РК	ECTS credits
Общий обязательный модуль ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	Inf 1101	Информатика	ООД (ОК)	2	3	5
	IYa 1102	Иностранный язык	ООД (ОК)	1	3	5
	K(R)Ya 1103	Казахский (Русский) язык	ООД (ОК)	1	3	5
Общий обязательный модуль ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ	Soc 1104	Социология	ООД (ОК)	1	2	3
	EUR 1105	Экология и устойчивое развитие	ООД (ОК)	1	2	3
	OBZh 1106	Основы безопасности жизнедеятельности	ООД (ОК)	2	2	3
Обязательный модуль по специальности ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ	IG 1201	Инженерная графика 1	БД (ОК)	1	2	3
	Cva 1202	Цветоведение	БД (ОК)	2	3	5
Общий обязательный модуль ИСТОРИЧЕСКИЙ	IK 1107	История Казахстана	ООД (ОК)	2	3	5
	Rved 1108	Религиоведение	ООД (КВ)	1	2	3
Общий обязательный модуль ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 2	IYa 1109	Иностранный язык	ООД (ОК)	2	3	5
	K(R)Ya 1110	Казахский (Русский) язык	ООД (ОК)	2	3	5
	OP 1111	Основы права	ООД (ОК)	2	2	3
Общий обязательный модуль МИРОВОЗРЕНЧЕСКИЙ	OET 1112	Основы экономической теории	ООД (ОК)	2	2	3
	Fil 1113	Философия	ООД (ОК)	1	3	5
	Pol 1114	Политология	ООД (ОК)	1	2	3
Итого за 1 семестр:					19	30
Итого за 2 семестр:					21	34
Итого за 1 год обучения:					40	64
Дополнительные виды обучения						
	Fiz	Физическая культура	ДВО (ОК)	1,2	8	12
	UP	Учебная практика (Планёр)	ДВО (ОК)	2	2	1
Итого по ДВО					10	13
Итого по теоретическому обучению:					40	64

Рис. 1. Образец рабочего учебного плана для 1 курса

Особенность преподавания сервисных дисциплин в вузе состоит в том, что для всех специальностей факультета сервисная дисциплина проводится в одном и том же семестре. Это позволяет не рассматривать каждый РУП отдельно, а проводить суммарные оценки по каждой дисциплине на факультете.

На рисунке 2 представлена сформированная последовательность исходных дисциплин, где 1 обозначает проведение дисциплины в первом семестре, 0 — во втором семестре.

Введём обозначение $k = \{0, 1\}$, то есть возможное расположение дисциплины в рабочем учебном плане по семестрам.

Если рассматривать все возможные варианты распределения дисциплин по семестрам, то задача сводится к задаче комбинаторики о размещениях с повторениями. Тогда при длине блока исходных данных $n = 30$ общее число всех возможных вариантов составляет $k^n = 2^{30}$ или 1 073 741 824 варианта.

Исследуем дополнительные способы уменьшения количества переменных для задачи анализа распределения нагрузки. Для этой цели проведём эври-

140939	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	
# направления	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
Кол-во кредитов	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2	3	2	
№ варианта / дисциплина	Информатика	История Казахстана	Основы безопасности жизнедеятельности	Основы экономической теории	Религиоведение	Социология	Философия	Экология и устойчивое развитие	Информатика	История Казахстана	Математика в экономике	Основы безопасности жизнедеятельности	Религиоведение	Социология	Философия	Экология и устойчивое развитие	Информатика	История Казахстана	Основы безопасности жизнедеятельности	Основы экономической теории	Религиоведение	Социология	Философия	Экология и устойчивое развитие
	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	
	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	
	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
	18.04.2019 14:11																							
18.04.2019 14:11																								

Рис. 2. Блок исходных данных с вариантами решения при полном переборе

стический анализ данных. Так, дисциплина «Информатика» требует для проведения практических занятий специализированных аудиторий. Кроме этого, оказалось стратегически важным для исследуемого вуза проводить занятия по этой дисциплине в осеннем семестре, как и по дисциплине «История Казахстана».

Кроме того, преподавание дисциплин «Основы права» и «Политология», находящихся в разных семестрах и составляющих по объёму часов 2 кредита, закреплено за одной кафедрой, поэтому перенос в другие семестры не даст улучшения кафедрального объёма часов. Следовательно, и рассматривать их в общем блоке анализируемых данных не имеет смысла.

Тогда длина блока исследуемых данных сокращается до $n = 18$ (по 6 на каждом направлении), а общее число всех возможных вариантов составит $k^n = 2^{18}$ или 262 144 варианта.

Наиболее простым способом анализа всех возможных вариантов является метод полного перебора, причём будут рассмотрены и исследованы даже все тривиальные решения. Блок-схема алгоритма с использованием метода полного перебора и выявления оптимального значения целевой функции представлена на рисунке 3. Этот метод был реализован с целью получения всех вариантов изменения семестра и получения количества оптимальных решений и их анализа.

В результате было получено 3 оптимальных последовательности при значении целевой функции $F = 140\,939$ (рисунок 2). Кроме того, планировалось определить время работы программы, но для такого небольшого количества переменных оно оказалось незначительным. Ещё одной задачей при проведении полного перебора являлась проверка изменений в РУП на предмет ограничений в виде равенства нулю или неравенства. Оказалось, что все оптимальные решения достигаются при выполнении ограничения (2) в виде равенства нулю:

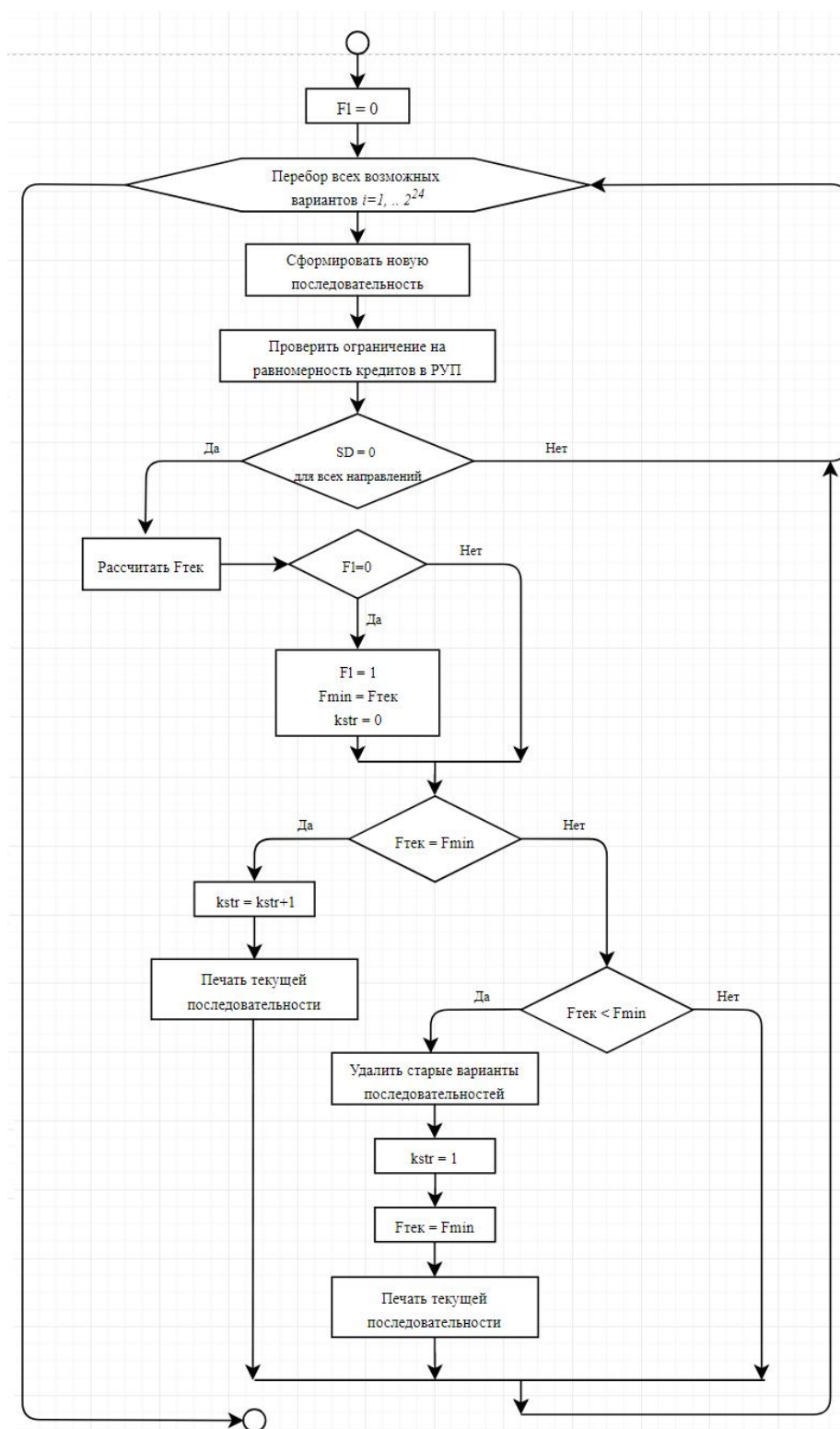


Рис. 3. Блок-схема алгоритма полного перебора вариантов с поиском оптимального значения целевой функции

$$\sum_{k=1}^{K_i^1} \delta_{ijk}^1 * Kr(D_{ijk}^1) + \sum_{k=1}^{K_i^2} \delta_{ijk}^2 * Kr(D_{ijk}^2) = 0. \quad (4)$$

Изменение ограничения позволило применить другой подход к поиску оптимального решения.

Кроме этого, рассматривалась задача с учётом ограничений на аудиторный фонд и без него. Как и ожидалось, учёт этого ограничения приводит к большему значению целевой функции.

Итак, окончательный алгоритм сформировался после анализа полного перебора. И выполняется он следующим образом.

1. Вначале распределяем по семестрам дисциплину «Информатика», для которой задаётся условие на аудиторный фонд.

2. Затем рассматриваются суммарные РУП на каждом направлении для оставшихся дисциплин и производится поиск подходящих переносов дисциплин по семестрам. При этом ограничения на изменение количества кредитов в РУП выполняются автоматически, т. к. изменений нет.

3. Формируются подходящие варианты для каждого направления.

4. Определяется оптимальное решение при сочетании этих вариантов.

Первый шаг фактически сводится к задаче разделения одномерного массива на 2 части с одинаковыми суммами.

После выполнения 1 шага система сильно выведена из состояния равновесия тем, что для одной дисциплины уже точно известно её распределение по семестрам. Это приводит к значительному снижению вариантов при выполнении 2 шага [2].

В данном алгоритме также предусмотрен обмен двух и трёх пар дисциплин с одинаковым количеством кредитов, а также двух дисциплин по 3 кредита в одном семестре на три дисциплины по 2 кредита в другом семестре, что по сумме составляет по 6 кредитов.

Блок-схема алгоритма с использованием сформулированного подхода представлена на рисунке 4.

В результате выполнения представленного алгоритма для каждого из направлений сформулировано следующее количество вариантов: «Искусство» — 1 вариант, «Экономика» — 63 варианта, «Прикладные науки» — 18 вариантов. Один вариант для направления «Искусство» обусловлен строгим закреплением дисциплин «Информатика» и «История Казахстана» в первом семестре. Тогда общее количество всех возможных перемещений в общем случае составит $1 \times 63 \times 18$, что составляет 1 134 варианта, что значительно меньше предполагаемого количества на начальном этапе.

Полученные комбинации последовательности необходимо оценить с точки зрения оптимальности значения целевой функции. Поиск минимального значения целевой функции осуществляется аналогично методу полного перебора. В результате было получено 567 возможных вариантов последовательности при значении целевой функции $F = 99\,781$. Однако в данном случае не было учтено ограничение (3) потребности в специализированных аудиториях.

Если же рассматривать задачу с учётом ограниченности аудиторного фонда, в результате анализа сформированных на данном этапе комбинаций также получается всего 3 варианта при значении целевой функции $F = 140\,939$, что совпадает с вариантами последовательности, полученными с помощью полного перебора, как продемонстрировано на рисунке 2.

Сведение задачи к анализу всего лишь 1134 возможных комбинаций последовательности для формирования оптимального распределения сервисных дисциплин в частном случае для длины блока исходных данных $n = 24$ значительно упрощает процесс анализа.

Анализ рабочих учебных планов является важной составляющей процесса распределения нагрузки, что в конечном итоге является исходными данными для задачи составления расписания занятий. Если анализировать учебные планы всех специальностей по всем направлениям сразу, тогда блок исходных данных будет избыточным с большим количеством повторяющихся переменных. Однако поскольку ведение занятий по сервисным дисциплинам осуществляется в потоке на каждом из факультетов, а не в отдельных группах специальности, имеет смысл определять один основной учебный план для каждого из направлений, данные из которых анализируются, а остальные учебные планы направления ссылаются на основной. Далее непосредственный анализ учебных планов с целью их оптимизации уже осуществляется согласно алгоритму, описанному выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фураева И.И. Анализ исходных данных для задачи составления расписания // *Materialy czwartej miedzynarodowej naukowo-hraktycznej konferencji "Nauka: teoria i praktyka-2007"*. T. 7 pedagogiczne nauki. Przemysl. 2007. S. 47–49.
2. Сеньковская А.А., Фураева И.И. Алгоритмы оптимизации рабочих учебных планов // *Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов IV Международной научной конференции*. Омск : ОмГУ, 2016. С. 91–93.

ANALYSIS OF THE SOURCE DATA IN THE TASK OF CURRICULUM OPTIMIZATION

A.A. Senkovskaya¹

Graduate Student, e-mail: anastassiya.senkovskaya@gmail.com

I.I. Furayeva²

Ph.D. (Phys.-Math.), Associate Professor, e-mail: furir@mail.ru

¹Dostoevsky Omsk State University

²Eurasian National University n.a. L.N. Gumilyov

Abstract. The principles of the influence of working curricula on the teaching load as a whole and on the final schedule of classes in the end, as well as the need to optimize

them are presented. It is shown that a preliminary analysis of the source data reduces the number of variables studied. The selection of the algorithm is carried out for the subsequent analysis of the working curricula.

Keywords: curriculum optimization, modeling, reducing the number of variables.

REFERENCES

1. Furaeva I.I. Analiz iskhodnykh dannykh dlya zadachi sostavleniya raspisaniya. Materialy czwartej miedzynarodowej naukowi–hraktycznej konferencji "Nauka: teoria i praktyka–2007", Tym 7 pedagogiczne nauki, Przemysl, 2007, pp. 47–49. (in Russian) (in Russian)
2. Sen'kovskaya A.A. and Furaeva I.I. Algoritmy optimizatsii rabochikh uchebnykh planov. Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie: sbornik materialov IV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, Omsk, OmGU Publ., 2016, pp. 91–93. (in Russian)

Дата поступления в редакцию: 20.04.2019