



*На правах рукописи*

**СЕНЬКОВСКАЯ АНАСТАСИЯ АЛЕКСАНДРОВНА**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ  
УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА ВУЗА (НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧ ФОРМИРОВАНИЯ  
РАБОЧИХ УЧЕБНЫХ ПЛАНОВ)**

Специальность 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и  
комплексы программ

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Омск– 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского»

Научный руководитель: **Гуц Александр Константинович**  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского»

Официальные оппоненты: **Филимонов Вячеслав Аркадьевич**  
доктор технических наук, профессор, Омский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт математики им. С.Л. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук», старший научный сотрудник лаборатории методов преобразования и представления информации, г. Омск

**Шапцев Валерий Алексеевич**  
доктор технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», профессор кафедры «Информационные системы», г. Тюмень

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)», г.Омск

Защита состоится «30» марта 2021 г. в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 212.178.15, созданного на базе Омского государственного технического университета по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, Главный корпус, П-202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Омского государственного технического университета и на официальном сайте <http://www.omgtu.ru>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, диссертационный совет Д 212.178.15. Тел.: (3812) 65-24-79, e-mail: [dissov\\_omgtu@omgtu.ru](mailto:dissov_omgtu@omgtu.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.178.15,  
доктор технических наук, доцент



Л. Г. Варепо

## ОБЩАЯ ХАРЕКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Эффективное функционирование образовательной системы во многом определяется используемыми методами и средствами планирования и управления их информационными и организационными ресурсами. Важным компонентом является рабочий учебный план (РУП), задачей которого является, с одной стороны, качественная подготовка специалистов, а с другой соблюдение заданных ограничений на затраты образовательного учреждения, связанных с организацией процесса обучения. Существующие на сегодняшний день автоматизированные системы управления учебным процессом в основном используют готовые учебные планы без их текущего анализа и оптимизации.

Анализ и оптимизация совокупности рабочих учебных планов – сложная задача информатизации учебного процесса. Она характеризуется значительной трудоемкостью и большим объемом данных (см. Шапцев В.А. Вестник ТюмГУ, 2010, №6), а ее успешная реализация возможна только при условии, что учтены все направления учебного заведения. Эффект от решения такой задачи наибольший, если существует интегрированная информационная система поддержки управления учебным процессом. Однако, большинство известных систем автоматизированного управления учебным процессом состоят из автономных компонентов и требуют ввода больших объемов данных, как правило, дублирующих друг друга.

В диссертации для решения задачи анализа и последующей рационализации учебных планов предлагается новый метод моделирования учебного процесса. Моделирование в данном случае позволяет сводить к минимуму затраты усилий по нахождению вариантов рациональной структуры процесса обучения, исходя из сформулированной на первоначальном этапе цели.

**Степень разработанности темы исследования.** Как показывает анализ публикаций, к настоящему времени накоплен большой опыт в области исследований методов оптимизации учебного процесса вуза.

Первые работы в области автоматизации управленческих процессов вуза относятся к производственным системам и появились в 50-60-е гг. XX века в связи с внедрением автоматизированных систем управления производством. Большое разнообразие задач, связанных с принятием решений, нацеленных на оптимизацию использования ресурсов вуза, сопровождается к тому же их большой размерностью. Решение управленческих задач в рамках сформулированных теорий в конечном итоге сводится к использованию математического аппарата целочисленного программирования, что отражено в работах Конвея Р.В., Максвелла В.Л., Миллера Л.В., Танаева В.С., Сотского Ю.Н., Струевича В.А., Портного Г.П.

На рубеже XX и XXI веков становится актуальным создание систем автоматизированного управления учебным процессом в образовательных системах массового обучения. Разработка данного направления связана с усилением требований к качеству обучения, развитием форм дистанционного обучения, внедрением кредитной технологии обучения, необходимостью повышения экономической эффективности обучения и др. Все известные работы таких авторов как Davis L., Goldberg D., Бабкин Э.А., Ретинский И.М., Левин М.Ш., Каширина И.Л., Костенко В.А., Винокуров А.В., Маслов М.Г., Гусев В.В., Краснер Н.Я., Лагош Б.А., Петропавловская А.В., Пантелеев Е.Р., посвященные автоматизации

управленческих процессов вуза, можно условно разделить на две группы. К первой относятся работы, использующие классические методы решения задач целочисленного программирования: методы полного перебора, ветвей и границ, перебора в глубину, метод Гомори и др. Вторая группа работ основана на современных методах решения задач целочисленного программирования, использующих интеллектуальные алгоритмы решения данных задач.

Разнообразные аспекты моделирования задач автоматизации в сфере управления образовательного процесса вуза рассмотрены в работах Гусакова В.П., Шпака А.В., Шевчука Е.В., Белкина А.Р., Правосудова В.В., Смолянова А.Г.

Несмотря на широкий круг решенных задач моделирования и оптимизации управленческих процессов вуза, практически отсутствуют исследования и разработки в области анализа и рационализации рабочих учебных планов с целью объединения академических потоков и оптимизации педагогической нагрузки.

**Целью** диссертационной работы является разработка нового метода математического моделирования и методов оптимизации учебного процесса вуза в сфере задач формирования рабочих учебных планов, а также рационализации педагогической нагрузки.

К основным **задачам** работы, обеспечивающим достижение указанной цели, отнесены:

- разработка нового метода математического моделирования и методов оптимизации учебного процесса, позволяющих решать задачи формирования рабочих учебных планов и рационализации педагогической нагрузки;
- разработка вычислительных (численных) алгоритмов, посредством которых формируются данные для компьютерного представления (цифровизации) конкретных рабочих учебных планов и педагогической нагрузки, определяющих ход учебного процесса, с их последующей машинной обработкой;
- разработка комплекса программ поддержки учебного процесса обучения, реализующего разработанные в диссертации методы и включающего задачи формирования рабочих учебных планов, а также рационализации педагогической нагрузки;
- экспериментальное исследование эффективности разработанных методов и алгоритмов.

**Объект исследования:** учебный процесс в вузе.

**Предмет исследования:** учебные планы и их оптимизация с учетом аудиторного фонда и педагогическая нагрузка преподавателей.

В качестве **методологической и теоретической основы исследования** в диссертационной работе использован математический аппарат теории множеств, исследования операций и методов оптимизации, целочисленного линейного программирования, а также теории жадных и генетических алгоритмов. В работе использованы методы теории графов, системного анализа, статистики, исследования операций, вычислительных (численных) методов, программирования.

**Научная новизна исследования** состоит в следующем:

- разработан математический метод моделирования процесса рационализации рабочих учебных планов с учетом аудиторного фонда вуза;

- предложен метод решения задачи, осуществляющей первичный анализ данных на основе рабочих учебных планов, отличающийся от известных решений многокритериальностью выборки ресурсов;
- реализован вычислительный (численный) алгоритм анализа рабочих учебных планов с целью оптимизации педагогической нагрузки вуза;
- разработан комплекс программ, с помощью которого рассчитывается процесс обучения, включающий создание учебных планов и расчет педагогической нагрузки кафедр и преподавателей вуза.

**Основные положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие основные результаты и положения, обеспечивающие эффективное решение задач моделирования и оптимизации учебного процесса вуза:

1. предложен математический метод моделирования учебного процесса с целью анализа и рационализации учебных планов с учетом аудиторного фонда вуза;
2. вычислительный (численный) алгоритм, вычислительная процедура, позволяющая представить предложенный метод моделирования учебного процесса как машинную программу на ЭВМ;
3. программный комплекс, реализующий метод моделирования учебного процесса и его оптимизацию на примере некоторого вуза.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» по следующим пунктам: п. 1 – Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений; п. 3 – Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий; п. 4 – Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

**Степень достоверности полученных результатов.** Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций, полученных в диссертации, подтверждается корректным обоснованием постановок задач, точной формулировкой критериев, а также обеспечивается применением математических методов теории множеств, численных методов и методов программирования.

**Практическая значимость работы** заключается в том, что предложенный метод моделирования и вычислительные алгоритмы используются при разработке и практической реализации информационных систем управления учебным процессом вуза. Практическая ценность и новизна подтверждаются также тем, что на основе изложенных методов разработан программный комплекс, предназначенный для анализа рабочих учебных планов, нацеленный на оптимизацию учебного процесса вуза.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах: I Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050» (Астана, 2013); Международной научно-практической конференции «Наука, техника и высшее образование» (Канада, 2014); III Международной научной

конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (Омск, 2015); IV Международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (Омск, 2016); V Международной научной конференции «Математическое и компьютерное моделирование» (Омск, 2017); IV Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты» (Новосибирск, 2018); XXIX Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании» (Москва – Троицк, 2018); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки» (Тюмень, 2018).

Предложенные в диссертации методы и алгоритмы были использованы при разработке и практической реализации информационных систем управления учебным процессом вуза. Система прошла внедрение в Казахском университете экономики, финансов и международной торговли (Нур-Султан, Казахстан), в Омском государственном университете им. Ф.М.Достоевского, а также в строительной компании ТОО «Алькор – НС», что подтверждается соответствующими актами внедрения.

**Публикации.** Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 13 работах, в числе которых 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей в материалах конференций, 4 наименования тезисов в сборниках тезисов конференций различного уровня, а также 2 зарегистрированные программы.

**Личный вклад автора.** Решение задач диссертации, разработанные алгоритмы и их программная реализация, экспериментальные и теоретические результаты, представленные в диссертации и выносимые на защиту, принадлежат лично автору.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав с выводами, заключения; изложена на 154 страницах машинописного текста, включает 50 рисунков, 2 приложения и содержит список литературы из 63 наименований.

**В приложении** приведены акты о внедрении результатов диссертационной работы.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы основные цели и задачи диссертационного исследования, определена научная новизна и практическая значимость результатов работы.

**В первой главе** излагается метод моделирования организации учебного процесса. Проведен анализ существующих информационных систем, реализующих функции автоматизации управления учебным процессом. Рассмотрены основные подходы к решению задач, связанных с анализом и рационализацией учебных планов вуза. Представлены общие вопросы построения рабочих учебных планов подготовки специалистов в вузе. Рассмотрено влияние, оказываемое рабочими учебными планами на эффективное распределение педагогической нагрузки как

одного из основных организационных процессов вуза в условиях кредитной технологии обучения.

На каждом этапе – формировании рабочих учебных планов, распределении учебной нагрузки на кафедре – можно выполнить работу таким образом, что задача составления расписания, являющаяся в конечном итоге основной целью организации учебного процесса, будет затруднена или вообще невозможна. В связи с этим предварительный анализ учебных планов с целью оптимизации педагогической нагрузки, а именно поиск возможностей объединения потоков для проведения учебных занятий, необходим, что особенно актуально при ограниченном аудиторном фонде.

Первый класс задач – объединение учебных потоков для оптимизации нагрузки. Здесь рассматриваются все дисциплины, имеющие общее наименование, которые можно объединить, перенося их на другой семестр. Второй класс задач – разъединение потоков для одной дисциплины. Данный процесс в целом характерен для работы с дисциплинами цикла общеобразовательных дисциплин, которые ведутся сервисными кафедрами для потоков всех специальностей.

Еще одним фактором, оказывающим влияние на оптимизацию учебных потоков, является аудиторный фонд университета. Поэтому особое внимание следует уделять дисциплинам, которые требуют проведения занятий в специализированных аудиториях, поскольку именно с ними и возникают проблемы при формировании учебной нагрузки преподавателей и последующего составления расписания. В данном случае при формировании предложений по оптимизации учебных потоков следует учитывать равномерность с позиции дисциплин. Причем данная задача актуальна для вуза любого масштаба. После проработки таких дисциплин можно приступать к непосредственному анализу и формированию предложений по рационализации учебных планов вуза.

Рассмотрим детально предлагаемый метод моделирования исследуемого процесса. Имеется  $N$  кафедр, которые ведут сервисные дисциплины. Рабочие учебные планы по всем специальностям 1 курса, на котором и проводятся занятия по сервисным дисциплинам, уже сформированы. Нагрузка по каждой дисциплине на каждом из  $M$  факультетов известна. Нагрузка по каждой кафедре должна быть распределена равномерно по семестрам. Чтобы получить не  $N$  отдельных целевых функций, а одну, следует выполнить операцию сложения с некоторым весом. В качестве веса можно использовать нагрузку кафедры, рассчитываемую по формуле

$$V_j = R_j^1 + R_j^2, \quad (1)$$

где  $R_j^1, R_j^2$  – исходная нагрузка кафедры в первом и втором семестрах, а также рассчитывать долю нагрузки по рассматриваемым сервисным дисциплинам на каждом факультете, тогда задача минимизации целевой функции примет вид:

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

где  $RP_{tj}^1, RP_{tj}^2$  – 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 ограничении указано, что перенос приводит к изменению не более, чем на 1 кредит в каждом семестре:

$$-1 \leq \sum_{k=1}^{K_i^1} \delta_{ijk}^1 * Kr(D_{ijk}^1) + \sum_{k=1}^{K_i^2} \delta_{ijk}^2 * Kr(D_{ijk}^2) \leq 1, \quad (3)$$

где  $D_{ijk}^1, D_{ijk}^2$  – перемещенные дисциплины 1 и 2 семестра соответственно для 1 курса  $i$ -ой специальности, которые ведет  $j$ -ая кафедра. На каждой специальности сформирован свой набор таких дисциплин  $k \in [1, K_i]$ ;

$Kr(D_{ijk}^1), Kr(D_{ijk}^2)$  – количество кредитов дисциплины в рабочем учебном плане в 1 и 2 семестрах соответственно;

$\delta_{ijk}^1, \delta_{ijk}^2$  – принимают значения (0, 1), причем значение 1 – когда дисциплина  $D_{ijk}$  перемещается в другой семестр, и 0 – когда не перемещается.

Хотя количество таких ограничений (3) пропорционально количеству рабочих учебных планов и количеству вариантов переноса.

Следует отметить, что необходимо учесть еще ограничение на равномерность использования специализированных аудиторий

$$S_1 = \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{k=1}^{K_i^1} (1 - \delta_{ijk}^1) A(D_{ijk}^1) + \sum_{k=1}^{K_i^2} \delta_{ijk}^2 A(D_{ijk}^2) \right],$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{k=1}^{K_i^2} (1 - \delta_{ijk}^2) A(D_{ijk}^2) + \sum_{k=1}^{K_i^1} \delta_{ijk}^1 A(D_{ijk}^1) \right], \quad (4)$$

где  $A(D_{ijk}^1), A(D_{ijk}^2)$  – недельная потребность в специализированных аудиториях, измеряемая в часах, в 1 и 2 семестрах соответственно.

Тогда для всех специальностей должны выполняться обязательные условия:

$$\begin{aligned} S_1 &\leq S\Delta_1, \\ S_2 &\leq S\Delta_2, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $S\Delta_1, S\Delta_2$  – существующий специализированный аудиторный фонд учебного заведения для 1 и 2 семестра соответственно.

Еще одной задачей при проведении полного перебора возможных вариантов решения являлась проверка изменений в РУП на предмет ограничений в виде равенства нулю или неравенства. Оказалось, что все оптимальные решения достигаются при выполнении ограничения (3) на изменение количества кредитов в семестре в виде равенства нулю:

$$\sum_{k=1}^{K_i^1} \delta_{ijk}^1 * Kr(D_{ijk}^1) + \sum_{k=1}^{K_i^2} \delta_{ijk}^2 * Kr(D_{ijk}^2) = 0. \quad (6)$$

Изменение ограничения (6) позволило применить другой подход в поиску оптимального решения. Кроме этого, рассматривалась задача с учетом ограничений на аудиторный фонд и без него. Как и ожидалось, учет 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 задается 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 две части с одинаковыми суммами. В данном алгоритме также предусмотрен обмен двух и трех 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.

Схема алгоритма с использованием сформулированного подхода представлена на рисунке 1. Далее непосредственный анализ учебных планов с целью их рационализации уже осуществляется согласно алгоритму, описанному выше.

Возможности моделирования индивидуального учебного плана в виде графа посвящен §1.3. Однако, в разработанный комплекс программ это не вошло, поскольку на практике при эксплуатации программы важнее было сосредоточиться на проблеме работы и рационализации учебного плана с позиции объединения учебных потоков, а следовательно, оптимизации педагогической нагрузки.

**Во второй главе** излагаются вычислительные (численные) алгоритмы, посредством которых описанные в предыдущей главе модели учебного процесса представляются в форме данных, обрабатываемых на компьютере с целью получения конкретных предложений для рационализации учебных планов, формирования общей и индивидуальной педагогической нагрузки и пр., пригодных для реализации процесса обучения.

После того как осуществлен анализ учебных планов для первого курса, фактически выполнен анализ поточности сервисных дисциплин с целью оптимизации педагогической нагрузки, можно перейти к рационализации учебных планов старших курсов. Причем учебные планы для выпускного курса не анализируются, поскольку на последнем курсе предусмотрено теоретическое обучение только в зимнем семестре, дисциплин для перемещения по семестрам нет.

Поэтому анализ предусматривает работу с учебными планами второго и третьего курсов. Причем задачи оптимизации для разных курсов отличаются друг от друга.

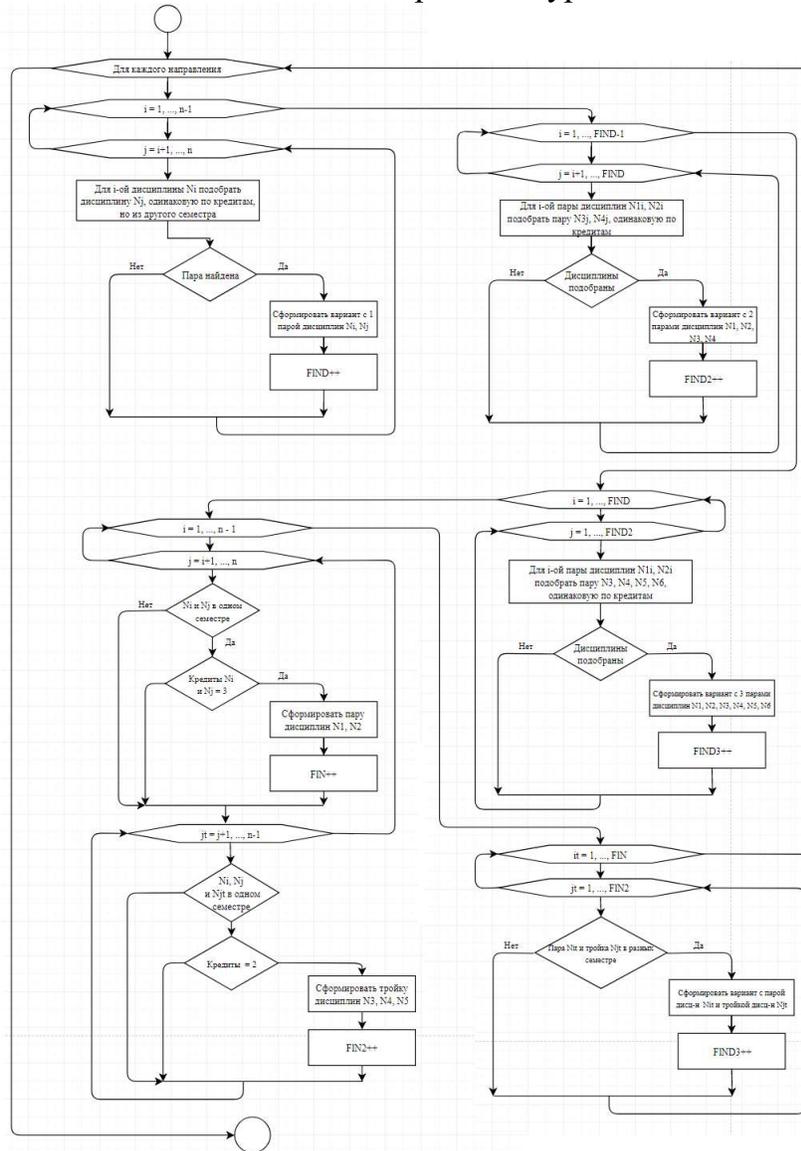


Рисунок 1 – Схема алгоритма подбора дисциплин

Математическая модель формирования рабочих учебных планов для 3 курса, исключая наличие малокомплектных групп, формализуется следующим образом: необходимо распределить дисциплины  $D_i$  по семестрам  $Sd_i$  каждого учебного плана для конкретной кафедры таким образом, чтобы минимизировать количество малокомплектных групп по специальностям кафедры ( $j = \overline{1,4}$ , поскольку на одной кафедре предполагается, что обучение осуществляется не более, чем по 4 учебным планам).

На первоначальном этапе известно общее количество кредитов  $KQ_j$  для каждого из четырех рабочих учебных планов кафедры, выделяемых на теоретическое обучение, следовательно на каждый семестр планируется половина от общего объема кредитов. Тогда для каждого учебного плана 3 курса после некоторого перемещения дисциплин для обоих семестров должны выполняться неравенства

$$\left| \sum_{i=1}^n SKr_i^1 - \frac{KQ_j}{2} \right| \leq 1, \quad \left| \sum_{i=1}^n SKr_i^2 - \frac{KQ_j}{2} \right| \leq 1, \quad (7)$$

где  $SKr_i^1, SKr_i^2$  – сумма кредитов по данной дисциплине во всех учебных планах в первом и втором семестрах соответственно;

$KQ_j$  – общее количество кредитов по каждому из учебных планов.

Таким образом, целью рационализации учебных планов 3 курса обучения является свести количество малокомплектных потоков по одинаковым дисциплинам к минимуму, причем количество перемещений дисциплин также должно быть наименьшим.

На основании исходных данных из анализируемых учебных планов формируется рабочая таблица дисциплин (рисунок 2), которая содержит варианты «идеального» распределения каждой дисциплины по семестрам для всех учебных планов (то есть предполагается, что дисциплина стоит во всех учебных планах либо в первом, либо во втором семестре).

Дисциплина	Гены	1 семестр				SKr1+SKr2	MKr
		R1	R2	R3	R4		
D1	0	2	3	2	2	9	3
	1	0	0	0	0	9	6
D2	0	0	0	0	0	9	9
	1	3	3	3	0	9	0
D3	0	3	3	3	3	12	6
	1	0	0	0	0	12	6
D4	0	2	2	2	2	8	4
	1	0	0	0	0	8	4
D5	0	2	2	2	0	6	0
	1	0	0	0	0	6	6
...	0						
	1						
Dn	0	2	0	2	0	4	2
	1	0	0	0	0	4	2

Рисунок 2 – Таблица для формирования начальной популяции

В таблице «идеальных» вариантов вводятся 2 дополнительных параметра:

- параметр  $\Delta SKr_i = SKr_i^1 + SKr_i^2$ , характеризующий сумму кредитов по данной дисциплине во всех учебных планах;
- параметр  $MKr_i$  определяет количество перемещенных в другой семестр кредитов дисциплины для формирования «идеального» варианта.

Причем при построении таблицы достаточно учитывать только первый семестр, поскольку для дисциплины  $D_i$  комбинация с геном 0 соответствует закреплению дисциплины в первом семестре, с геном 1 – в противоположном втором семестре. Эта таблица является исходной таблицей для формирования начальной популяции хромосом, которые формируются путем случайного выбора  $i$ -го гена одной из комбинаций дисциплины  $D_i$ .

Поскольку при формировании начальной популяции в качестве генов выбирается «идеальная» комбинация распределения дисциплины по семестрам, то минимизация малокомплектных групп решается еще на первоначальном этапе. Однако выбор «идеальных» комбинаций еще не является оптимальным решением с позиции равномерности распределения кредитов по семестрам учебного плана. Поэтому в качестве целевой функции может быть использована минимизация по количеству перемещаемых кредитов в учебных планах. Тогда модель рационализации учебных планов 3 курса обучения формулируется следующим

образом: для оптимизации учебных потоков 3 курса необходимо минимизировать количество перемещаемых в учебных планах кредитов согласно целевой функции

$$\sum_{j=1}^n MKr_j \rightarrow \min, \quad (8)$$

при условии выполнения ограничений (7) по каждому из учебных планов 3 курса для каждой из рассматриваемых кафедр.

Причем, следует отметить, что оптимальным значением ограничений (7) для каждого из учебных планов в условиях рассматриваемой задачи является нулевое.

Схема алгоритма, реализующего оптимизацию учебных планов 3 курса, представлена на рисунке 3.

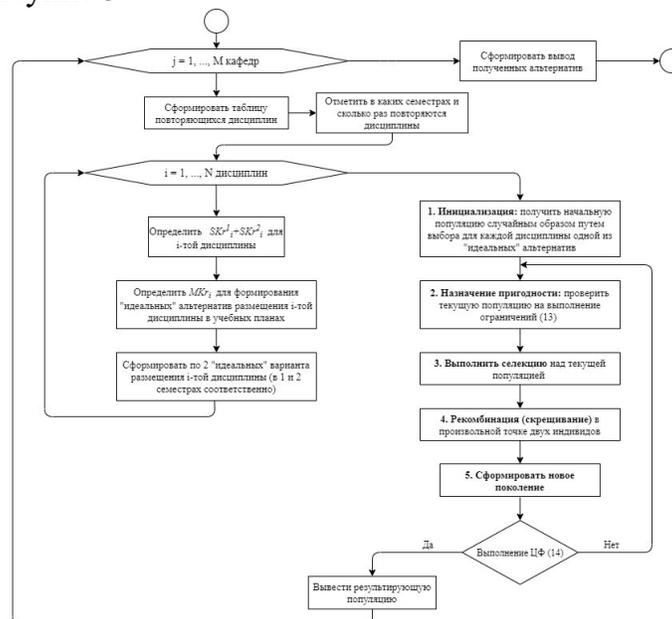


Рисунок 3 – Алгоритм формирования альтернатив для учебных планов 3 курса

Анализ учебных планов 2 курса обучения представляет собой некоторый симбиоз алгоритмов анализа учебных планов для первого и третьего курса. Поскольку на втором курсе предусмотрено изучение общеобразовательных дисциплин (закрепленных за сервисными кафедрами) и профильных дисциплин (ведутся выпускающими кафедрами), анализ учебных планов второго курса содержит три подзадачи:

- выявление сервисных дисциплин на общеуниверситетском уровне;
- выявление сервисных дисциплин на общефакультетском уровне и объединение потоков по факультетам;
- выявление профильных дисциплин, закрепленных за выпускающими кафедрами, следовательно, минимизация учебных потоков по каждой специальности.

Тем не менее, в отличие от задачи анализа учебных планов первого курса обучения, когда количество обучающихся планируется и считается предварительным, в задаче оптимизации учебных планов второго курса контингент студентов задан. Тогда путем редактирования учебных планов, т.е. переноса дисциплин, не связанных пререквизитами, на другой семестр с сохранением общего

количества кредитов в каждом семестре во всех учебных планах достигается решение проблемы минимизации учебной нагрузки за счет формирования лекционных потоков, максимально приближенных к утвержденным верхним значениям диапазона наполненности потока, а также оптимизирующих нагрузку каждой кафедры.

Задача оптимизации потоков для дисциплин общевузовского компонента имеет особенность, заключающуюся в том, что глобальный минимум известен, но он может быть не достижим. Рассмотрим более подробно алгоритм поиска оптимального формирования потоков для одной дисциплины.

1. Определить общее количество студентов по каждому отделению.
2. Определить минимальное целое количество потоков для каждого отделения за год.
3. Определить минимальное количество потоков на каждый семестр по текущему состоянию учебных планов.
4. Если это число целое, то решение считается приемлемым, иначе применяется генетический алгоритм, позволяющий определить такое наименьшее изменение в учебных планах, которое приведет к целочисленным результатам.

Если процедура применения генетического алгоритма является стандартной, и хромосома рассматривается только для осеннего семестра, и количество элементов равно количеству факультетов, то задача оценки хромосомы является более сложной (причем значительно), чем на других уровнях. Более того, важно учитывать, что оценку необходимо проводить не только для осеннего, но и для весеннего семестра.

1. Выбрать факультет с наибольшим количеством студентов.
2. Подобрать для него следующие факультеты, позволяющие получить суммарное количество студентов для формирования потока.

Жадный алгоритм для этой задачи может дать верхнюю границу оценки. Сумма таких границ для обоих семестров даст оценку хромосомы. Для формирования конкретных потоков описанный алгоритм применяется к каждой группе факультетов, и рассматриваются отдельные специальности.

После формирования наименьшего количества поточных лекций, система учебных планов будет выведена в общем случае из состояния равновесия. Можно попытаться компенсировать его с помощью второй дисциплины, а можно решить этот вопрос на более низком уровне, приняв полученное распределение, как начальное приближение. После одного прохода алгоритма итерации повторяются до достижения необходимого уровня точности.

Таким образом, не разрешая коллизии на каждом уровне, а перенося их решение на более низкий уровень, и проводя итерации по уровням, получим решение задачи оптимизации потоков для всего вуза.

Для исследуемой задачи было предложено последовательное применение серии генетических алгоритмов, которые можно назвать методом гребня (рисунок 4). Верхняя часть так называемого гребня охватывает и соединяет все дисциплины общеобразовательного компонента, представленные на общеуниверситетском уровне, средняя часть – общие дисциплины для каждого факультета (если такие есть), а нижняя часть как отдельные зубчики – профилирующие дисциплины кафедры.



Рисунок 4 – Схематичное представление метода гребня

Предложенный метод отличается тем, что позволяет осуществлять поиск решения, спускаясь последовательно от верхнего уровня (общеобразовательных дисциплин) к факультетскому и далее к кафедральному уровням. Таким образом, поиск оптимального решения (т.е. минимизации учебных потоков) может быть выполнен локально сначала в рамках одного факультета, а затем с учетом предыдущего этапа оптимизации, осуществляется анализ следующего факультета.

В третьей главе представлен разработанный комплекс программ, с помощью которого рассчитывается процесс обучения, включающий анализ и рационализацию учебных планов, формирование сводной педагогической нагрузки кафедр, распределение педагогической нагрузки кафедры по преподавателям и формирование индивидуальной нагрузки преподавателей кафедры.

На этапе предварительного анализа (рисунок 5) осуществляется проверка рабочих учебных планов на всевозможные ошибки технического характера, которые могут повлиять на корректную работу с учебными планами в дальнейшем.

**Нагрузка предварительная на основании МОР**

Список МОР: [Поиск] [Выход]

Всего: 188  
Учебный год: 2013-2014

Анализ МОР: [Анализ МОР] [Печать]

Результат: РПБ с не определенными параметрами

№ строк	кол стр.	не учтен
66	184	2
67	185	2
67	185	2
72	187	2
188	3	7

Анализ МОР: Дублирование МОР/РПБ

Не установленные специальности и траектории

№ п/п	Шифр спец.	Специальность	Траектория	№ зан.
1	04051200	Статистика	Общая статистика	66
2	04050800	Учет и аудит	Бухгалтерский учет, анализ и аудит реального сектора экономики в соответствии с МСФО	67
3	04050900	Учет и аудит	Бухгалтерский учет, анализ и аудит государственного сектора в соответствии с МСФО	67
4	04051300	Статистика	Общая статистика	72

Сводные данные о потоках и траекториях из МОР и БД

№ п/п	Форма обуч.	Срок обуч.	Шифр спец.	Специальность	Траектория	Курс	Пото-кол	С др. траект.	№ зан.
338	а/о	4	5B050800	Учет и аудит	Учет и аудит в общественном секторе экономики	1	0	0	185
339	а/о	4	5B050800	Учет и аудит	Учет и аудит в реальном секторе экономики	1	2	0	185
310	а/о	4	5B050900	Финансы	Налоги и налогообложение	1	0	0	186
311	а/о	4	5B050900	Финансы	Финансовый менеджмент	1	2	0	186
312	а/о	4	5B070400	Вычислительная техника и программирование	Вычислительная техника в экономике	1	2	0	187
313	а/о	4	5B070400	Вычислительная техника и программирование	Программное обеспечение вычислительной техники	1	0	0	187
314	а/о	4	5B070200	Информационные системы	Информационные системы в экономике	1	0	0	189

Рисунок 5 – Основное окно предварительного анализа учебных планов

К таким ошибкам относятся такие как: дублирование учебных планов; рабочие учебные планы с неопределенными параметрами; неустановленные специальности и траектории специальностей; файлы с рабочими учебными планами, содержащими несколько листов, в том числе и скрытых; потоки, оставшиеся без рабочих учебных планов на текущий учебный год.

После того как завершен предварительный анализ рабочих учебных планов и устранены обнаруженные ошибки, можно осуществить анализ учебных планов с целью выявления вариантов их оптимизации.

На следующем этапе формируются исходные данные, представляющие список сервисных дисциплин для первого курса по всем специальностям, исключая те дисциплины, которые ведутся в обоих семестрах учебного года (рисунок 6).

№	Специальность	Дисциплина	Семестр	Лек.	Пр.	ЛР	Всего часов	Потоков	Групп	Подгр.	Кол-во кредитов	Нагрузка	Часы спец. курс.	Кафедра	Семестр по РУП
1	58090800 - Оценка	История Казахстана	1	2	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	1
2	58090800 - Оценка	Религиоведение	0	1	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	2
3	58090800 - Оценка	Информатика	1	1	1	1	11	0	2	2	3	4	4	Информатики и прикладной экономики	1
4	58090800 - Оценка	Социология	1	1	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	1
5	58090800 - Оценка	Экология и устойчивое развитие	0	1	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	2
6	58090800 - Оценка	Основы безопасности жизнедеятельности	0	1	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	2
7	58090800 - Оценка	Философия	0	2	1	0	11	0	2	2	3	2	0	Социальной работы	2
8	58090800 - Оценка	Математика	1	2	1	0	11	0	2	2	3	2	0	Информатики и прикладной экономики	1
9	58090800 - Оценка	Основы экономической теории	1	1	1	0	11	0	2	2	2	2	0	Экономики	1
10	58090500 - Социальная работа	История Казахстана	0	2	1	0	14	0	2	2	3	2	0	Социальной работы	2
11	58090500 -	Радиовещание	1	1	1	0	14	0	2	2	2	2	0	Социальной работы	1

Рисунок 6 – Окно «Анализ РУП 1 курса», вкладка «Анализ РУП»

При этом из учебных планов специальностей отбираются только те дисциплины, которые отмечены как сервисные на вкладке «Сервисные дисциплины». После этого осуществляется предварительный расчет исходной нагрузки по кафедрам (исходя из данных рабочих учебных планов с учетом контингента обучающихся), который далее используется в качестве весов для целевой функции оптимизации (2).

После заполнения таблицы исходными данными на вкладке «Анализ РУП» становится доступна кнопка «Анализ», а также вкладка «Сводные данные». На вкладке «Сводные данные» отображаются расчетные показатели ограничений, вычисляемых по формулам (5) и (6).

После проведения анализа учебных планов и поиска оптимального решения по распределению дисциплин для минимизации академических потоков, варианты оптимальных размещений дисциплин в учебных планах выгружаются в шаблон MS Excel. В конечном итоге решение о переносе дисциплин для проведения в другом семестре принимается сотрудниками учебной части после согласования с соответствующими кафедрами.

На следующем этапе после внесения изменений в учебные планы с целью оптимизации педагогической нагрузки и исправления всех технических ошибок, выявленных на этапе предварительного анализа учебных планов, в системе предусмотрена автоматическая выгрузка сводных данных по педагогической нагрузке определенной кафедры в заранее подготовленный шаблон в формате MS Excel. Автоматизированное заполнение шаблона для распределения педагогической нагрузки исключает возможность технических ошибок при переносе данных из учебных планов в сводный файл нагрузки кафедры, а также потерю дисциплин и, соответственно, аудиторной нагрузки кафедры.

Таким образом, сформировав общий объем часов, можно переходить к непосредственному распределению педагогической нагрузки. При этом в

алгоритме необходимо выделить следующие этапы. На первоначальном этапе, прежде чем начать распределение педагогической нагрузки по преподавателям с помощью автоматизированной системы, нужно сформировать некоторые данные вручную, такие как основные сведения о профессорско-преподавательском составе, диапазоны по допустимому количеству руководства дипломными работами. Следующий этап представляет собой непосредственное распределение педагогической нагрузки по всем формам обучения, предусмотренным в вузе, по преподавателям кафедры. И на последнем этапе уже формируются индивидуальные выписки преподавателей, разделение полученной нагрузки каждого преподавателя на основную и дополнительную части, а также создание отдельных файлов для каждого преподавателя.

В целях эффективного распределения нагрузки на основную и дополнительную с использованием автоматизированной системы был выбран жадный алгоритм. Жадный алгоритм предполагает на каждом этапе выбор одной строки для добавления в дополнительную нагрузку, при этом возврат и изменение выбора не предусмотрено.

Анализ разработанного алгоритма показал, что предложенный метод дает хорошие результаты на задачах для 45-50 преподавателей кафедры. Применяемый жадный алгоритм позволял разделять учебную нагрузку, содержащую до 25 строк в каждом семестре, что соответствовало фактическим потребностям вуза. Применение алгоритма в течение ряда лет в 2 вузах Республики Казахстан, не вызывало никаких ошибок или значительных погрешностей. На практике выявлено, что данное решение приемлемо, поскольку доли основной и дополнительной нагрузки преподавателя условны, определяются лишь необходимым количеством кредит/часов. Поэтому, собственно, строгая точность и не требуется.

По результатам разработки автоматизированной системы был проведен вычислительный эксперимент по оценке эффективности предложенных алгоритмов. На начальной стадии работа разработанных алгоритмов исследовалась на тестовом задании для различного контингента по факультетам с разными долями языков обучения. Как показал предварительный анализ исходных данных, соотношение контингента по языкам обучения не превышает 4:1 в пользу основного языка обучения.

В результате применения алгоритмов анализа учебных планов в качестве выходных данных определяется оптимальное формирование академических потоков (Таблица 1). Данный критерий выделен в качестве определяющего и основного критерия оптимизации поскольку именно он является наиболее важным с точки зрения сокращения потоков обучения, что ведет к оптимизации учебной нагрузки.

На рисунке 7 представлены сравнительные графики данных по академическим потокам обучения с учетом изменения процентной доли по языкам обучения до и после применения алгоритмов рационализации.

На основе анализа и обработки полученных данных можно сделать вывод, что разработанные в диссертации алгоритмы устойчивы при изменении входных данных и позволяют найти оптимальное решение, заключающееся в минимизации потоков по языкам обучения.

Таблица 1 – Наполняемость академических потоков до и после оптимизации учебных планов.

Исходные данные по потокам				
	5	10	15	20
<b>3000</b>	25	26	25	25
<b>3100</b>	26	26	26	26
<b>3200</b>	26	27	27	26
<b>3300</b>	27	28	27	28
<b>3400</b>	28	29	28	29
<b>3500</b>	29	29	29	29
<b>3600</b>	31	30	31	30
<b>3700</b>	31	31	31	31
<b>3800</b>	32	32	32	31
<b>3900</b>	33	32	33	33
<b>4000</b>	34	33	33	34

После применения алгоритмов				
	5	10	15	20
<b>3000</b>	25	23	19	21
<b>3100</b>	25	26	24	20
<b>3200</b>	18	27	27	20
<b>3300</b>	19	27	27	26
<b>3400</b>	19	27	28	28
<b>3500</b>	20	21	28	29
<b>3600</b>	20	21	28	30
<b>3700</b>	18	21	23	30
<b>3800</b>	17	21	23	30
<b>3900</b>	14	19	23	31
<b>4000</b>	26	15	23	31

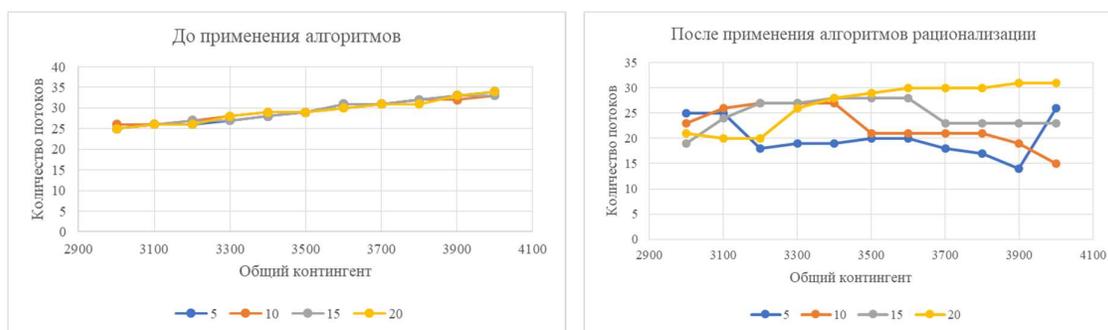


Рисунок 7 – Графики данных по академическим потокам

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении диссертационной работы были получены следующие результаты:

1. Проведен анализ существующих решений автоматизации учебного процесса вуза, а также задач, решаемых с помощью использования данных приложений. Показана необходимость совершенствования методов оптимизации учебного процесса вуза в вопросах формирования рабочих учебных планов.

2. Выявлены основные факторы, оказывающие влияние на рационализацию организации учебного процесса, в частности составление расписания учебных занятий и использование специализированного аудиторного фонда. В соответствии со сделанными выводами разработан метод математического моделирования рационализации учебного процесса вуза на основе анализа рабочих учебных планов.

3. На основе предложенного метода моделирования и оптимизации разработаны вычислительные (численные) алгоритмы анализа и рационализации учебных планов вуза.

4. Реализован комплекс программ для анализа и рационализации учебных планов вуза.

5. Разработан вычислительный (численный) алгоритм и программное приложение по формированию индивидуальной нагрузки преподавателей.

6. Проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие достоверность результатов и эффективность разработанных методов моделирования и алгоритмов анализа и оптимизации учебных планов вуза, демонстрирующие преимущества разработанного метода в сравнении с существующими аналогами.

Созданный комплекс программ может быть рекомендован к использованию в вузах России и Казахстана. На данный момент разработанные в диссертации алгоритмы внедрены в информационные системы управления учебным процессом Омского государственного университета им. Ф.М.Достоевского (г. Омск), Казахского университета экономики финансов и международной торговли (г. Нур-Султан), а также использованы при проектировании системы учета рабочего времени сотрудников строительной компании (г. Нур-Султан).

В качестве дальнейшей перспективы разрабатываемой темы можно указать учет территориальной рассредоточенности корпусов вуза.

## **ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ***

1. Сеньковская, А.А. Моделирование и оптимизация процесса распределения человеческих ресурсов и аудиторного фонда ВУЗа на основе анализа учебных планов / А.А. Сеньковская, И.И. Фураева // Математические структуры и моделирование. – Омск: 2017. – №2 (42). – С.78-85.

2. Сеньковская, А.А. Моделирование процесса распределения учебной нагрузки кафедры с использованием жадного алгоритма / А.А. Сеньковская, И.И. Фураева // Математические структуры и моделирование. – Омск: 2017. – №4 (44). – С.101-109.

3. Сеньковская, А.А. Анализ исходных данных в задаче оптимизации рабочих учебных планов / А.А.Сеньковская, И.И.Фураева // Математические структуры и моделирование. – Омск: 2019. – №2 (50). – С.-77-86.

4. Сеньковская, А.А. Моделирование сроков обучения на основе анализа рабочих учебных планов / А.А.Сеньковская // Математические структуры и моделирование. – Омск: 2019. – № 3(51). – С.131-138.

### ***Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ***

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018662771 Рос. Федерация. Автоматизированная система анализа и оптимизации учебных планов для расчета педагогической нагрузки ВУЗа: № 2018619485; заявл. 06.09.2018; зарег. 15.09.2018 / А.А.Сеньковская, И.И.Фураева; заявители и патентообладатели А.А.Сеньковская, И.И.Фураева. – 1с.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661947 Рос. Федерация. Формирование сводных данных для распределения педагогической нагрузки кафедры по видам работ: № 2018619501; заявл. 06.09.2018; зарег. 24.09.2018 / А.А.Сеньковская, И.И.Фураева; заявители и патентообладатели А.А.Сеньковская, И.И.Фураева. – 1с.

### *Публикации в других изданиях*

7. Сеньковская, А.А. Формирование учебной нагрузки для профессорско-преподавательского состава кафедры в условиях кредитной технологии обучения / А.А. Сеньковская, И.И. Фураева // Интеллектуальные информационные и коммуникационные технологии – средство осуществления третьей индустриальной революции в свете стратегии «Казахстан - 2050»: сборник материалов I Международной научно-практической конференции 7-8 июня 2013г. Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева. – Астана, 2013. – С. 237-240.
8. Senkovskaya, A. Automated system for forming of teaching load of the department / A.Senkovskaya, I.Furayeva // Международная научно-практическая конференция «Наука, техника и высшее образование» (Science, Technology and Higher Education). – WestWood, Canada, 2014. – С. 418-427.
9. Сеньковская, А.А. Анализ учебных планов как предварительный этап расчета педагогической нагрузки / А.А. Сеньковская // Математическое и компьютерное моделирование: материалы III Международной научной конференции, Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского. – Омск, 2015. – с. 132-134.
10. Сеньковская, А.А. Построение математической модели оптимизации рабочих учебных планов для автоматизации расчетов педагогической нагрузки / А.А. Сеньковская // Математическое и компьютерное моделирование: материалы III Международной научной конференции, Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского. – Омск, 2015. – С.30-32.
11. Сеньковская, А.А. Алгоритмы оптимизации рабочих учебных планов / А.А.Сеньковская, И.И.Фураева // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов IV Международной научной конференции, Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского. – Омск, 2016. – с.91-93.
12. Сеньковская, А.А. Описание модели распределения педагогической нагрузки на кафедре с использованием жадного алгоритма / А.А. Сеньковская, И.И. Фураева // Математическое и компьютерное моделирование: сборник материалов V Международной научной конференции, Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского. – Омск, 2017. – с. 52-54.
13. Сеньковская, А.А. Управление процессом расчета педагогической нагрузки кафедры в часах-кредитах с использованием программного приложения / А.А. Сеньковская, И.И. Фураева // Фундаментальные и прикладные исследования: гипотезы, проблемы, результаты: сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – Новосибирск, 2018. – с.297-307.
14. Сеньковская, А.А. Алгоритм формирования педагогической нагрузки на основе анализа и оптимизации рабочих учебных планов / А.А. Сеньковская // Материалы XXIX Международной конференции «Современные информационные технологии в образовании». – Москва-Троицк, 26 июня 2018. – с.39-41.
15. Сеньковская, А.А. Разработка программного приложения с использованием жадного алгоритма для реализации задач по распределению педагогической нагрузки кафедры / А.А. Сеньковская // Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции (26 декабря 2018 г, г. Тюмень) / в 5 ч. Ч.3. – Уфа: Омега Сайнс, 2018. – с.193-196.

Печатается в авторской редакции  
Подписано в печать 08.01.2021. Формат 60x84/16.  
Усл.печ.л.1,16  
Тираж 100 экз. Заказ № 0010

---

Центр оперативной полиграфии КопиАрт  
010000 г. Нур-Султан  
ул. Ханов Керей и Жанибека, 12/1, оф.11