005015652

си

Истомин Андрей Леонидович

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В ВУЗЕ

Специальность: 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

1 МАР 2012

Астрахань – 2012

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Ангарская государственная техническая академия»

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Балакирев Валентин Сергеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Дворецкий Станислав Иванович

доктор технических наук, профессор
Подвальный Семен Леонидович

доктор технических наук, профессор
Захаров Александр Александрович

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Защита состоится «30» марта 2012 г. в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 307.001.06 при ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет» по адресу: 414025, г.Астрахань, ул. Татищева. 16, главный корпус, ауд. 313.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по адресу: 414025, г.Астрахань, ул. Татищева. 16. АГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 307.001.06.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Астраханского государственного технического университета.

Автореферат разослан "14" февраля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета А.А. Ханова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Высшие учебные заведения стали полноправными субъектами рыночной экономики, получив право самостоятельно определять направления своего развития, цели и методы их достижения. Повысились требования общества к качеству образования, кардинально обновляются технологии обучения, быстро меняются организационные и экономические условия деятельности вузов, обостряется конкурентная борьба на рынке образовательных услуг, постоянно меняется позиция государства по отношению к высшей школе. Возникли разные группы заказчиков и потребителей образовательных услуг со своими финансовыми возможностями, запросами и интересами. Появились и успешно развиваются негосударственные вузы.

Складывающиеся рыночные условия диктуют достаточно жесткие условия для работы вузов. Сложившаяся десятилетиями система управления вузами, не содержащая элементов, даже отдаленно напоминающих экономические, в полном объеме финансируемая государством, оказалась не в состоянии обеспечить надлежащее качество управления современным вузом. В условиях, когда государство отказалось от роли главного и единственного финансиста высшего образования, одной из главных проблем вузов становится проблема экономической выживаемости. Вузы вынуждены не только самостоятельно изыскивать средства для поддержания своего основного вида деятельности, но и эффективно использовать имеющиеся ресурсы. Таким образом, развитие новых организационно-экономических механизмов управления вузом, пригодных для новых экономических условий, становится серьезной проблемой, решение которой невозможно без глубокого научного анализа.

В вузе одновременно протекает большое число процессов, различающихся как по своему назначению, так и по основным показателям. В то же время, характер управленческих решений, принимаемых в вузе, масштаб последствий от принятия решений позволяет выделить в качестве основного учебный процесс. Именно учебный процесс обеспечивает выполнение уставных задач вуза; на учебный процесс направляются основные ресурсы; от организации учебного процесса зависят основные показатели функционирования вуза, его эффективность и качество подготовки обучающихся.

В настоящее время в большинстве вузов планирование учебного процесса, в том числе и распределение ресурсов, осуществляется «вручную», отсутствует возможность многовариантного анализа способов реализации учебного процесса. Результаты планирования учебного процесса значительно ухудшаются по мере укрупнения вуза и увеличения объема информации. Процесс поиска оптимального или просто приемлемого, в каком-либо смысле, управленческого решения в этих условиях носит интуитивный характер и осуществляется методом «проб и ошибок», что часто приводит не только к значительным материальным потерям, но и потере качества подготовки обучающихся. Кроме того, при выработке управленческих решений в расчет по существу не принимаются экономические показатели эффективности учебного процесса.

Широкое внедрение ЭВМ в практику управления вузом позволило значительно улучшить качество планирования учебного процесса, в том числе с помощью решения оптимизационных задач на базе математических моделей. Проблемы оптимизации и информатизации учебного процесса в вузе исследовались в работах Б.А. Аграновича, В.Н. Васильева, Ю.С. Васильева, В.В. Гусева, А.П. Ефремова, Г.И. Лазарева, Д.А. Новикова, А.Я. Савельева, А.Н. Тихонова, В.З. Ямпольского и др. Вместе с тем надо признать, что существующие формализованные методы планирования учебного процесса имеют разрозненный характер, отсутствует общесистемная проработка целей планиро-

4

вания учебного процесса, не существует системы моделей, взаимоувязанных между собой и описывающих разные аспекты учебного процесса, принятие решений осуществляется без учета экономических факторов.

В современной научной литературе вопросам эффективности планирования отводится значительное место. Как правило, данная проблема освещается преимущественно в экономическом аспекте и по отношению к управлению промышленными или коммерческими предприятиями. Тем не менее, научные основы эффективного планирования, полученные в экономике, могут быть широко использованы и послужить основой для разработки методологических основ управления вузом и в частности планирования учебного процесса. Действительно, учебный процесс в вузе можно рассматривать как некоторую совокупность технологических процессов (набор абитуриентов, обучение и выпуск специалистов), обеспечивающих выполнение соответствующих «производственных» (образовательных) программ. Как и на промышленном предприятии, для осуществления учебного процесса в вузе требуются основные фонды (здания и сооружения), трудовые ресурсы (профессорско-преподавательский состав (ППС), администрация и сотрудники), материалы и инструменты (учебно-методическое обеспечение, технические средства обучения, программы для ЭВМ). Как и на предприятии, в управлении учебным процессом необходимо планирование, контроль, оперативное управление ресурсами, количественная оценка и обоснование принимаемых решений.

Вот почему на нынешнем этапе развития работ по совершенствованию управления в высшей школе особую важность приобретают работы, посвященные формализованному планированию и организации учебного процесса в вузе на основе экономических критериев, современных методов теории управления и оптимизации. Пока теоретические основы такого рода задач в управлении учебным процессом в вузе разработаны недостаточно.

Целью диссертационной работы является совершенствование механизмов планирования учебного процесса в вузе на основе формализации, оптимизации и автоматизации процедур принятия решений при планировании учебного процесса, обеспечивающих его экономическую эффективность.

Соответствующая указанной цели научная проблема может быть сформулирована следующим образом – создание методологии оптимального планирования учебного процесса в вузе пригодной для новых экономических условий.

Основные задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующий комплекс задач:

– с позиций системного подхода исследовать процедуры принятия решений при планировании и организации учебного процесса в вузе, сформулировать проблему и задачи исследования;

– разработать концепцию оптимального планирования учебного процесса в вузе, обеспечивающую его экономическую эффективность;

– разработать модели и методы оптимального планирования учебного процесса в вузе, воплощающие эту концепцию;

– реализовать модели и методы в виде алгоритмического и программного обеспечения системы оптимального планирования учебного процесса;

– провести апробацию разработанных методов и алгоритмов, внедрить разработанные методы и алгоритмы в практику планирования и организации учебного процесса в вузе.

Объект исследования. Объектом исследования является организация и планирование учебного процесса в вузе.

Предмет исследования. Предметом исследования являются методы, модели и алгоритмы формализации, оптимизации и автоматизации процедур принятия решений при планировании учебного процесса в вузе.

Методы исследований. Для исследования проблемы и решения задач формализованного планирования учебного процесса в вузе использовались методы системного анализа, математического программирования, исследования операций, теорий расписаний и иерархических многоуровневых систем.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложена новая методология оптимального планирования учебного процесса в вузе с позиций его экономической эффективности, основанная на формализации и оптимизации процедур принятия решений и комплексном решении задач, возникающих при планировании и организации учебного процесса.

2. Разработаны новые математические модели задач, формализующие процедуры принятия решений в задачах планирования учебного процесса в вузе, методы и алгоритмы их решения, которые включают:

- математическую модель и точный алгоритм решения задачи нахождения оптимального плана приема студентов в вуз при случайных значениях спроса на образовательные программы;
- математическую модель и точный алгоритм решения задачи автоматизированного проектирования учебного плана образовательной программы, учитывающей выполнение логической последовательности изучения дисциплин, требования, задаваемые Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) и вузом;
- математическую модель и точный алгоритм решения задачи нахождения оптимальной численности ППС и его рационального распределения среди образовательных программ, обеспечивающей минимизацию затрат вуза на использование профессорско-преподавательского состава;
- математическую модель и точный алгоритм решения задачи нахождения оптимальной структуры ППС и его рационального распределения среди образовательных программ, обеспечивающей равномерность и максимизацию доли лиц с учеными степенями и учеными званиями среди образовательных программ;
- математическую модель и эвристический алгоритм решения задачи нахождения оптимальной структуры учебных помещений, обеспечивающей выполнение всех обязательных требований к расписанию занятий и минимизирующей затраты на использование учебных помещений.

3. Предложена вычислительная схема поэтапного синтеза расписания занятий, заключающаяся в декомпозиции исходной задачи на совокупность оптимизационных задач распределения занятий в одно учебное помещение, решаемых с помощью стандартной задачи линейного программирования о назначении.

4. Разработана комплексная модель задачи оптимизации учебного процесса в вузе и алгоритм ее решения, реализованные в двухуровневой системе принятия решений, позволяющие найти вариант организации учебного процесса с наибольшей экономической эффективностью.

Практическая значимость. Разработанные в диссертации модели и алгоритмы нахождения оптимальных планов приема студентов в вуз, учебных планов образовательных программ, оптимального штатного расписания ППС и фонда учебных помещений, расписания учебных занятий, а также комплексной оптимизации учебного процесса в вузе могут быть рекомендованы к использованию при проектировании, синтезе и эксплуатации автоматизированной системы управления вузом, автоматизированной информационной систе-

мы вуза и т.п. Отдельные результаты работы опубликованы в монографии «Исследование операций в управлении вузом», рекомендованной ФГУ «Федеральный институт развития образования» в качестве учебного пособия для руководителей вузов, преподавателей, аспирантов и студентов.

Достоверность и обоснованность. Достоверность и обоснованность научных результатов диссертационной работы подтверждается использованием известных методов математического программирования, исследования операций, теорий расписаний, непротиворечивых математических моделей задач.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационной работы используются в планировании учебного процесса и преподавании ряда дисциплин в Ангарской государственной технической академии (АГТА), Иркутском государственном университете, Иркутском государственном университете путей сообщения, Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления. Ряд разработок зарегистрированы в отраслевом фонде алгоритмов и программ ФГНУ «Государственный координационный центр информационных технологий» Министерства образования и науки РФ.

Апробация работы. Основные результаты и научные положения диссертации обсуждались и докладывались на XIV-XV, XVII-XXI и XXIII Международных научных конференциях «Математические методы в технике и технологиях» (Смоленск, 2001; Тамбов, 2002; Кострома, 2004; Казань, 2005; Воронеж, 2006; Ярославль, 2007; Саратов, 2008; Смоленск, 2010), VII- IX Всероссийских научно-технических конференциях «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий» (Улан-Удэ, 2006-2008), V Международной научно-практической конференции «Организационные, экономические и социальные проблемы управления высшим учебным заведением», Пенза, 2007, XV Международной научной конференции «Современные проблемы информатизации» (СПИ-2010), Воронеж, 2010, на ежегодных научно-практических конференциях АГТА.

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 50 публикациях, из них 13 статей в журналах, входящих в перечень ВАК и одна монография. Получено 3 свидетельства об отраслевой регистрации разработки.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, заключения и 3 приложений, содержит 313 страниц машинописного текста, в том числе 42 рисунка и 33 таблицы, список литературы из 295 наименований.

СТРУКТУРА РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, кратко изложены основные результаты диссертации и содержание глав.

В первой главе излагается роль современных методов управления вузом на основе формализованного описания процессов, протекающих в вузе. Отмечается, что главным потребителем ресурсов в вузе является учебный процесс. Поэтому планирование и организация учебного процесса имеет решающее значение, так как от них зависят качество и эффективность учебного процесса. Проведен анализ учебного процесса как объекта планирования. Показано, что основные задачи, которые необходимо решить при планировании учебного процесса в вузе являются задачи по формированию контингента студентов, в том числе планирование приема студентов на первый курс, построение учебных планов образовательных программ, формирование штата ППС и распределение учебных поручений в вузе, формирование фонда учебных помещений и составление

расписания занятий. Показано, что перечисленные задачи не могут решаться изолировано друг от друга, поскольку они взаимно влияют друг на друга.

Проведен обзор литературы, посвященной формализованным методам планирования учебного процесса. Отмечено, что системный подход при планировании учебного процесса в вузе используется недостаточно, отсутствуют работы, посвященные комплексному планированию учебного процесса на базе формализованных методов, современных методов теории управления и оптимизации, остаются и проблемы формализации и оптимизации отдельных подзадач в планировании учебного процесса.

Сформулирована цель работы, соответствующая ей научная проблема, определены задачи, решение которых необходимо для достижения указанной цели.

Во второй главе разработана концепция оптимального планирования учебного процесса в вузе, обеспечивающая его экономическую эффективность, построенная на следующих принципах:

– принцип *формальности*, определяющий задачу планирования учебного процесса в вузе как математическую, при которой связи и управленческие решения обязательно должны быть выражены в виде математических зависимостей с учетом как детерминированных, так и стохастических изменений;

– принцип *оптимальности*, подразумевающий необходимость выбора наилучшего варианта на всех стадиях планирования из множества возможных альтернатив;

– принцип *комплексности*, связывающий рассмотрение возникающих задач во взаимосвязи друг с другом, и позволяющий учитывать изменение как отдельных переменных и параметров задач, так и конечных результатов в целом по учебному процессу;

– принцип *глобальной оптимизации*, использующий глобальную целевую функцию эффективности учебного процесса в рассматриваемой подсистеме задач;

– принцип *экономичности*, означающий сопоставление различных вариантов реализации учебного процесса, его результатов и понесенных затрат;

– принцип *декомпозиции*, заключающийся в возможности расчленения общей задачи планирования учебного процесса на отдельные подзадачи и в формировании для них собственных целей, функций из условия обеспечения достижения глобальной цели системы;

– принцип *активного участия лиц, принимающих решение* (ЛПР), в планировании учебного процесса, являющийся непременным условием функционирования системы оптимального планирования учебного процесса.

Для реализации принципа глобальной оптимизации были исследованы различные показатели эффективности учебного процесса. Показано, что прибыль вуза, или другими словами, сумма, реинвестируемая в учебный процесс, наиболее полно отражает эффективность учебного процесса, объем и качество предоставляемых образовательных услуг, состояние производительности труда, уровень себестоимости, четко отражает сопоставимость и соизмеримость его результатов с затратами ресурсов. Выражение прибыли вуза P, связанной с подготовкой обучающихся, представлено выражением:

$$P = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\overline{Ц}_{ij}^{p}\overline{C}_{ij}^{p} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}Ц_{ij}^{p}C_{ij}^{p} - \\ -\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r=1}^{\grave{r}}З_{r}H'_{пр}\left(1+\lambda_{универс}\overline{З}_{уни}\right)\right]\cdot(1+H_{нсп}/100) - \sum_{q=1}^{h}Э_{q}y_{q}. \qquad (1)$$

где $\overline{C}_{ij}^{p}$ и C_{ij}^{p} – количество бюджетных и коммерческих студентов соответственно на i-й образовательной программе ($i=\overline{1,n}$) j-й формы обучения ($j=\overline{1,m}$) p-го года обучения

($p=\overline{1,k}$): $\overline{Ц}_{ij}^{p}$ – государственное финансирование за подготовку бюджетного студента, а $Ц_{ij}^{p}$ – оплата за обучение на коммерческой основе студента p-го года обучения на i-й образовательной программе по j-й форме обучения; H_{ijp}^{r} – количество ставок, занятых преподавателями r-й категории должностей ($r=\overline{1,s}$), обеспечивающих подготовку студентов p-го года обучения по i-й образовательной программе и по j-й форме обучения; $З_r$ – затраты, связанные с использованием преподавателя r-й категории должностей; $\lambda_{УВП/ПС}$ – коэффициент, учитывающий соотношение численности ставок учебно-вспомогательного персонала (УВП) и ППС; $\overline{З}_{УВП}$ – средняя заработная плата УВП; $H_{НСН}$ – норматив начислений на заработную плату (ставка единого социального налога); y_q – количество учебных помещений q-й группы ($q=\overline{1,h}$); $Э_q$ – затраты на содержание учебных помещений q-й группы (эксплуатационные расходы, текущие ремонты, аренда, охрана и т.д.).

Очевидно, что задача оптимизации учебного процесса с глобальной целевой функцией (1) характеризуется большой размерностью переменных и параметров, ее решение может оказаться затруднительным также из-за большого количества ограничений, налагаемых на учебный процесс. Поэтому при планировании учебного процесса как большой системой, имеющей иерархическую структуру, представляется рациональным применить двухуровневую систему принятия решений, в которой на нижнем уровне решаются локальные задачи, имеющие место при планировании учебного процесса, без обмена информацией с верхним уровнем и другими локальными задачами, а на верхнем уровне решается одна глобальная задача оптимизации учебного процесса.

Локальной назовем задачу, решаемую с учетом своего локального критерия оптимальности, ограничений вытекающих из сущности самой локальной задачи и ограничений, задаваемых глобальной задачей. К локальным задачам отнесем:

– задачу нахождения плана приема студентов в вуз (доходная составляющая прибыли);

– задачу нахождения оптимальной структуры ППС и его распределение по образовательным программам (расходы на оплату труда преподавателей и учебно-вспомогательного персонала);

– задачу нахождения оптимальной структуры учебных помещений, обеспечивающей выполнение всех обязательных требований к расписанию занятий (эксплуатационные расходы на содержание учебных помещений).

Кроме того, необходимо построить учебные планы образовательных программ, без которых нельзя решить локальные задачи (штат ППС и требуемый фонд учебных помещений зависят от суммарной учебной нагрузки и учебной нагрузки отдельных образовательных программ, задаваемых учебными планами).

В каждой i-й локальной задаче находится вектор оптимальных решений $\mathbf{x}_i^*$ принадлежащий $\overline{D}_i$ такой, что соответствующий локальный критерий $f_i(\mathbf{x}_i)$ достигает на нем экстремума, например, максимума, т.е.

$$\max_{\mathbf{x}_i} f_i(\mathbf{x}_i)=f(\mathbf{x}_i^*),\ \mathbf{x}_i\in\overline{D}_i,\ \overline{D}_i=D_i\cap U_i \qquad (2)$$

где D_i – множество допустимых решений локальной задачи, U_i – множество допустимых решений, заданных глобальной задачей.

В глобальной задаче находится управляющее воздействие (множество $U = \bigcup_i U_i$) по соответствующему вектору $\mathbf{x}^* = \{\mathbf{x}_1^*, ..., \mathbf{x}_n^*\}$, характеризующему найденные в локальных задачах оптимальные решения. При этом требуется, чтобы выполнялись все ограничения, и достигал максимума глобальный критерий оптимальности $F(\mathbf{x}^*)$. Эту задачу можно представить в следующем виде:

$$\max_{U} F(\mathbf{x}^*), \ \mathbf{x}^* \in D, \tag{3}$$

$$\mathbf{x}^* = (\mathbf{x}^* : \mathbf{x}_i^* = Arg\max f_i(\mathbf{x}_i), \mathbf{x}_i^* \in \overline{D}_i, i = \overline{1, n}), \tag{4}$$

где D – множество ограничений глобальной задачи, которые характеризуют взаимосвязь между отдельными локальными задачами как по входным и выходным переменным, так и по используемым ресурсам.

Решение вышеуказанных задач представлено в следующих главах работы.

Третья глава посвящена разработке моделей, методов и алгоритмов оптимального планирования приема студентов в вуз.

Зачастую при формировании плана приема вузы используют наиболее простой принцип управления «от достигнутого уровня», когда план устанавливается на основе плана предшествующего периода с некоторой корректировкой по всем или отдельным образовательным программам. Основные недостатки принципа планирования от достигнутого уровня достаточно очевидны: новый план, с одной стороны, повторяет возможно несовершенную структуру прошлого плана, а с другой, может оказаться неосуществимым как в силу внутренних обстоятельств, например, из-за недостатка ресурсов, так и в силу внешних, например, отсутствие спроса на ту или иную образовательную программу. Следовательно, необходим научный подход к формированию плана приема студентов на первый курс.

Обзор литературы, посвященный формализованному планированию приема студентов в вуз, показал, что в большинстве работ для нахождения оптимального плана используются детерминированные линейные модели. Между тем в задаче формирования приема студентов его планирование происходит в условиях неопределенности, когда неизвестен спрос на образовательные программы, или спрос представляет собой случайную величину.

В настоящей работе предложена принципиально новая модель задачи оптимизации плана приема студентов в вуз, в которой реализована вероятностная оценка эффективности плана, где модель задачи основывается только на располагаемой априорной информации, а решение задачи оптимизации состоит в максимизации математического ожидания целевой функции.

В качестве целевой функции используется математическое ожидание прибыли вуза от проведения приема. Ожидаемая прибыль от приема студентов в вуз равна ожидаемому доходу минус затраты на учебный процесс, минус ожидаемые потери.

Действительно, вуз получит доход

$$\begin{aligned} &\overline{S}_{ij} w_{ij}, \quad \text{если } w_{ij} \le x_{ij} \\ &\overline{S}_{ij} x_{ij} + S_{ij}(w_{ij} - x_{ij}), \quad \text{если } x_{ij} \le w_{ij} \le (x_{ij} + y_{ij}). \\ &\overline{S}_{ij} x_{ij} + S_{ij} y_{ij}, \quad \text{если } w_{ij} \ge (x_{ij} + y_{ij}), \end{aligned} \tag{5}$$

где $\overline{S}_{ij}$ – бюджетные средства, выделяемые на одного студента, обучающегося на i-й образовательной программе ($i = \overline{1, n}$) j-й формы обучения ($j = \overline{1, m}$); S_{ij} – цена i-й образо-

вательной программы j-й формы обучения, устанавливаемая вузом для обучающихся на платной основе; x_{ij} – количество бюджетных мест, а y_{ij} – количество коммерческих мест на i-й образовательной программе j-й формы обучения; w_{ij} – спрос на i-ю образовательную программу j-й формы обучения, который представляет собой случайную переменную, подчиненную закону нормального распределения с плотностью $f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})$, математическим ожиданием μ_{ij} и стандартным отклонением σ_{ij}.

Предполагается, что нет зависимости между спросом на разные образовательные программы, т.е. абитуриент не станет поступать на другую программу, если мест на интересующей его программе нет. Тогда, в связи с принятыми допущениями, переменные w_{ij} являются независимыми случайными величинами. При решении задачи все переменные считаются непрерывными.

Тогда ожидаемый доход вуза от приема студентов на i-ю образовательную программу j-й формы обучения составит

$$\begin{gathered}\bar{S}_{ij}\int_0^{x_{ij}} w_{ij} f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + \bar{S}_{ij}x_{ij}\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}} f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + \\ + S_{ij}\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}}(w_{ij}-x_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij},\sigma_{ij})dw_{ij} + \bar{S}_{ij}x_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty} f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + \\ + S_{ij}y_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty} f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}.\end{gathered} \tag{6}$$

При формировании приема на i-ю образовательную программу j-й формы обучения возможны потери

$$\begin{aligned}&(\bar{S}_{ij}+p_{ij})(x_{ij}-w_{ij})+(S_{ij}+p_{ij})y_{ij}, \quad \text{если} \quad w_{ij}\le x_{ij},\\ &(S_{ij}+p_{ij})(x_{ij}+y_{ij}-w_{ij}). \quad \text{если} \quad x_{ij}\le w_{ij}\le (x_{ij}+y_{ij}),\\ &S_{ij}(w_{ij}-x_{ij}-y_{ij}), \quad \text{если} \quad w_{ij}\ge (x_{ij}+y_{ij}).\end{aligned} \tag{7}$$

где p_{ij} – постоянные затраты на организацию учебного процесса на i-й образовательной программе j-й формы обучения, приведенные на одного обучаемого.

При этом были сделаны следующие допущения: если в вузе не окажется достаточного количества мест на желаемую абитуриентом образовательную программу, вуз несет убытки в размере недополученного дохода за обучение. Если же количество выделенных мест превысит спрос, вуз несет потери, которые складываются из уже понесенных постоянных затрат на организацию учебного процесса по той или иной образовательной программе.

Тогда ожидаемые потери вуза от приема студентов на i-ю образовательную программу j-й формы обучения составят

$$\begin{gathered}(\bar{S}_{ij}+p_{ij})\int_0^{x_{ij}}(x_{ij}-w_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + (S_{ij}+p_{ij})y_{ij}\int_0^{x_{ij}} f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + \\ + (S_{ij}+p_{ij})\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}}(x_{ij}+y_{ij}-w_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij} + S_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty}(w_{ij}-x_{ij}-y_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}.\end{gathered} \tag{8}$$

Ожидаемая прибыль вуза от приема студентов на все программы и формы обучения составит

$$F=\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{S}_{ij}\int_{0}^{x_{ij}}w_{ij}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{S}_{ij}x_{ij}\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(S_{ij}\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}}(w_{ij}-x_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij},\sigma_{ij})dw_{ij}\right)+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\bar{S}_{ij}x_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)+$$

$$+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(S_{ij}y_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left((\bar{S}_{ij}+p_{ij})\int_{0}^{x_{ij}}(x_{ij}-w_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left((S_{ij}+p_{ij})y_{ij}\int_{0}^{x_{ij}}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left((S_{ij}+p_{ij})\int_{x_{ij}}^{x_{ij}+y_{ij}}(x_{ij}+y_{ij}-w_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(S_{ij}\int_{x_{ij}+y_{ij}}^{\infty}(w_{ij}-x_{ij}-y_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-C_{ij}(x_{ij}+y_{ij}), \qquad (9)$$

где C_{ij} – переменные затраты на подготовку одного студента по i-й программе j-й формы обучения.

Тогда задача оптимизации плана приема студентов в вуз сводится к определению количества бюджетных x_{ij} и коммерческих y_{ij} ($i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$) мест на каждой образовательной программе всех форм обучения, которые обеспечивают максимальную ожидаемую прибыль (9) при условиях

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\alpha_j(x_{ij}+y_{ij})\le Q\ , \qquad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}a_{rij}(x_{ij}+y_{ij})\{\le,=,\ge\}\,b_r\,,\ r=\overline{1,s}, \qquad (11)$$

$$x_{ij}\ge 0,\ y_{ij}\ge 0,\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}, \qquad (12)$$

где Q - предельно допустимое количество мест приема на первый курс (определяется исходя из лицензионного норматива «приведенный контингент студентов»); α_j – коэффициент приведения численности обучающихся по j-й форме обучения к численности студентов очной формы обучения; a_{rij} – норма расхода r-го ресурса на подготовку одного студента по i-й образовательной программе на j-й форме обучения; b_r – объем r-го вида ресурсов ($r=\overline{1,s}$).

В ограничения задачи можно ввести условия, устанавливающие как нижние, так и верхние пороговые значения приема, когда в интересах вуза дополнительный прием нецелесообразен, или фиксированные значения мест приема на те или иные образовательные программы. Наконец, можно добавить условия, учитывающие заданные соотношения между набором на те или иные образовательные программы или формы обучения, например, между количеством мест приема на очную и заочную формы обучения.

Особенностью задачи (9) – (12) является то, что она содержит нелинейную целевую функцию (9), что относит ее к классу задач нелинейного программирования. Но, по-

скольку целевая функция (9) является сепарабельной, ее можно заменить кусочно-линейной функцией на интервалах изменения переменных с помощью метода кусочно-линейной аппроксимации, а исходную задачу нелинейного программирования приближенной задачей линейного программирования. Очевидно, что при кусочно-линейной аппроксимации размерность задачи возрастает, но поскольку в качестве метода решения используется симплексный метод задачи линейного программирования, данный алгоритм имеет высокую практическую ценность и легко реализуется на ЭВМ.

Приведены примеры нахождения оптимального плана приема студентов в вуз.

В четвертой главе разрабатываются модели, методы и алгоритмы автоматизированного составления учебного плана образовательной программы в вузе.

Составление учебных планов в большинстве вузов осуществляется вручную, требует значительных трудозатрат и зачастую производится под влиянием субъективных предпочтений. Следовательно, процесс составления учебных планов в вузе, основанный на опыте и интуиции работников высшей школы, нуждается в серьезном совершенствовании и научном обосновании принимаемых решений.

Обзор работ, посвященных формализованному составлению учебных планов, показал, что автоматизированное составление учебного плана представляет собой сложную комбинаторную задачу. Зачастую при решении задачи автоматизированного формирования учебного плана используются эвристические алгоритмы, а в случаях, когда применяются точные методы, имеющиеся модели не учитывают целый ряд существенных требований, в частности, условие непрерывности изучения дисциплин в разных семестрах, логической последовательности изучения дисциплин и др.

В работе предложена модель задачи и точный алгоритм нахождения учебного плана, обеспечивающего выполнение ФГОС и требований вуза, логическую последовательность дисциплин и оптимально распределяющий аудиторную и самостоятельную работу студента.

При формализации задачи составления учебного плана образовательной программы в вузе исходными данными являются:

1) требования ФГОС, которые включают перечень обязательных дисциплин; количество зачетных единиц или часов на изучение обязательных дисциплин; максимальный объем учебной нагрузки студента в неделю; предельный объем аудиторных занятий студента в неделю;

2) требования, задаваемые вузом, которые включают перечень дисциплин базовой и вариативной части и по выбору студента: количество зачетных единиц или часов на изучение дисциплин базовой и вариативной части и дисциплин по выбору; доля аудиторной нагрузки студента в общем объеме теоретического обучения; график учебного процесса, устанавливающий количество семестров теоретического обучения студента, количество недель в каждом семестре;

3) логическая последовательность изучения дисциплин.

Схема математической модели учебного плана показана на рис.1.

В схеме x_{ij} – количество часов аудиторных занятий, отводимых в неделю на изучение i-й дисциплины в j-м семестре; a_j – количество недель теоретического обучения в j-м семестре; b_i – общее количество часов на изучение i-й дисциплины; d – максимальное количество аудиторных часов в неделю в j-м семестре; n – количество дисциплин в учебном плане; m – количество семестров в учебном плане.

Одновременно могут вестись несколько дисциплин, однако, прежде чем может быть начата дисциплина i, некоторая часть дисциплин $n(i)$ должна быть завершена.

Дисциплина	Объем дисциплины	Объем аудиторных часов	СРС	Количество аудиторных часов в неделю					
				1-й сем.	2-й сем.	…	j-й сем.	…	m-й сем.
				a_1	a_2	…	a_j	…	a_m
1	b_1	$\sum_{j=1}^{m} a_j x_{1j}$	$b_1 - \sum_{j=1}^{m} a_j x_{1j}$	x_{11}	x_{12}	…	x_{1j}	…	x_{1m}
2	b_2	$\sum_{j=1}^{m} a_j x_{2j}$	$b_2 - \sum_{j=1}^{m} a_j x_{2j}$	x_{21}	x_{22}	…	x_{2j}	…	x_{2m}
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
n	b_n	$\sum_{j=1}^{m} a_j x_{nj}$	$b_n - \sum_{j=1}^{m} a_j x_{nj}$	x_{n1}	x_{n2}	…	x_{nj}	…	x_{nm}
				$\le d$	$\le d$	…	$\le d$	…	$\le d$

Рис.1. Схема математической модели учебного плана

Если изучение дисциплины начато или продолжено в текущем семестре и не завершено к его окончанию, ее изучение должно быть продолжено в следующем по порядку семестре (условие отсутствия окон в изучении дисциплины).

Для всех или некоторых дисциплин может быть установлено минимально допустимое значение аудиторных часов в неделю, если они изучаются в данном семестре.

Количество часов, отводимых на изучение i-й дисциплины, должно быть не больше заданного ФГОС или вузом значения, т.е.

$$\sum_{j=1}^{m} a_j x_{ij} \le b_i, \; i = \overline{1,n}. \tag{13}$$

Так как недельная нагрузка на студента не должна превышать d аудиторных часов, $j = \overline{1,m}$, то должны выполняться ограничения

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} \le d, \; j = \overline{1,m}. \tag{14}$$

Далее дисциплина i не может быть начата, пока не окажутся прочитанными все дисциплины из $n(i)$. Записать это ограничение можно следующим образом. Очевидно, что $x_{ij} = 0$, если нарушено условие

$$\sum_{k=1}^{j-1} a_k x_{i'k} \ge b_{i'} \cdot e, \; i' \in n(i), \tag{15}$$

где e – установленная вузом доля аудиторной работы студента в общем объеме теоретического обучения, а $b_{i'} \cdot e$ – количество часов, отводимых на аудиторные занятия по i' дисциплине, предшествующей дисциплине i.

Здесь мы имеем условие типа «или-или». Чтобы записать это условие введем булевы переменные $\delta_{i'i}$, принимающие лишь значения 0 и 1. Тогда условие $x_{ij} = 0$, если нарушено (15), может быть записано следующим образом:

$$x_{ij} \le \delta_{i'i} b_i, \; i' \in n(i), \; i = \overline{1,n}, \; j = \overline{1,m}. \tag{16}$$

$$\sum_{k=1}^{j-1} a_k x_{i'k} \geq \delta_{i'j} b_{i'}, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}, \tag{17}$$

$$\delta_{i'j} \geq 0, \delta_{i'j} \leq 1, \delta_{ij} - \text{целые}, \; i=\overline{1,n}, j=\overline{1,m}. \tag{18}$$

Отметим, что если $\delta_{i'j}=1$, то из (17) следует, что условие (15) выполнено. При этом (16) лишь требует, чтобы $x_{ij} \leq b_i$. Однако, если какое-нибудь $\delta_{i'j}=0$, то из (16) следует, что $x_{ij} \leq 0$, т.е. $x_{ij}=0$. Таким образом, x_{ij} не может быть положительным, если нарушено (15).

Если количество аудиторных часов в неделю по одной и той же дисциплине не может превышать предельно установленного значения, то вводятся следующие ограничения

$$x_{ij} \leq f, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}, \tag{19}$$

где f – максимальное количество аудиторных часов по одной и той же дисциплине в неделю.

Кроме того, возможны условия, согласно которым, количество аудиторных часов, отводимых за изучение некоторых дисциплин из списка $k(i)$ в семестре, не может быть ниже наименьшего допустимого значения. При этом возможны две ситуации: $x_{i''j}=0$ – если i''-я дисциплина не изучается в j-м семестре, либо $x_{i''j} \geq l_{i''}$, если i''-я дисциплина изучается в j-м семестре, где $l_{i''}$ – наименьшее допустимое количество аудиторных часов на изучение i''-й дисциплины. Тогда дихотомию ($x_{i''j}=0$ или $x_{i''j} \geq l_{i''}$) можно выразить, введя булеву переменную $\gamma_{i''j}$, принимающую значения 0 или 1, и два линейных ограничения для каждой дисциплины из $k(i)$

$$x_{i''j} - f\gamma_{i''j} \leq 0, \; i'' \in k(i), \; j=\overline{1,m}. \tag{20}$$

$$x_{i''j} - l_{i''}\gamma_{i''j} \geq 0, \; i'' \in k(i), \; j=\overline{1,m}. \tag{21}$$

$$\gamma_{i''j} \geq 0, \; \gamma_{i''j} \leq 1, \; \gamma_{i''j} - \text{целые}, \; i'' \in k(i). \tag{22}$$

При $\gamma_{i''j}=0$ из ограничений (20) и (21) следует, что i''-я дисциплина не изучается в j-м семестре ($x_{i''j}=0$). При $\gamma_{i''j}=1$ ограничение (20) теряет смысл, а из ограничения (21) вытекает заданное условие на минимально допустимое значение $x_{i''j}$.

Далее условие непрерывности изучения дисциплины в разных семестрах, т.е. отсутствие окон в изучении, можно записать, если ввести булевы переменные ρ_{ij} и ϑ_{ij}. Тогда условие непрерывности будет выглядеть следующим образом:

$$x_{ij} \geq \rho_{ij}, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}, \tag{23}$$

$$\sum_{k=1}^{j-1} a_k x_{ik} \geq \vartheta_{ij-1} b_i \cdot e, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}, \tag{24}$$

$$x_{ij+1} \geq \rho_{ij} - \vartheta_{ij}, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}. \tag{25}$$

$$\rho_{ij} \geq 0, \; \rho_{ij} \leq 1, \; \rho_{ij} - \text{целые}, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}, \tag{26}$$

$$\vartheta_{ij} \geq 0, \; \vartheta_{ij} \leq 1, \; \vartheta_{ij} - \text{целые}, \; i=\overline{1,n}, \; j=\overline{1,m}. \tag{27}$$

Отметим, что если $\rho_{ij}=1$, из условия (23) следует, что i-я дисциплина изучается в j-м семестре. В этом случае, возможны два исхода в соответствии с (24): изучение i-й

дисциплины завершено в j-м семестре ($\vartheta_{ij}=1$) или изучение i-й дисциплины не закончено ($\vartheta_{ij}=0$). Тогда в первом случае (25) лишь требует, чтобы $x_{ij+1}\geq 0$ (в оптимальном решении $x_{ij+1}=0$). Однако если $\vartheta_{ij}=0$, то из (25) следует, что $x_{ij+1}\geq 1$, т.е. i-я дисциплина продолжается в следующем ($j+1$)-м семестре. При всех остальных комбинациях ρ_{ij} и ϑ_{ij} значения x_{ij} больше или равны нулю.

Тогда задача автоматизированного составления учебного плана сводится к определению количества аудиторных часов по всем дисциплинам и их распределению по семестрам и может быть записана в следующем виде:

минимизировать

$$S=(b_1\cdot e-\sum_{j=1}^{m}a_jx_{1j})^2+(b_2\cdot e-\sum_{j=1}^{m}a_jx_{2j})^2+\ldots+(b_n\cdot e-\sum_{j=1}^{m}a_jx_{nj})^2\to\min \qquad (28)$$

при условиях (13), (14), (16) – (27).

Задача построения учебного плана в постановке (13) – (28) обеспечивает выполнение требований ФГОС и вуза. Условия (13) контролируют обязательное изучение всех дисциплин в объеме не меньше заданного. Условия (14) и (19) обеспечивают контроль за аудиторной нагрузкой на студента. Условия (16) – (18) отвечают за выполнение логической последовательности изучения дисциплин. Условия (19) устанавливают предельное значение аудиторных часов в неделю по каждой дисциплине, а (20) – (22) их нижние допустимые значения, если дисциплины проводятся. Условия (23) – (27) обеспечивают непрерывность изучения дисциплин в разных семестрах. Параметры $b_i\cdot e$ в выражении (28) отводят на аудиторную работу e-ю долю от общего объема изучения дисциплины. В соответствии с этим, увеличение или уменьшение количества аудиторных часов от желаемого соотношения к объему самостоятельной работы студента (СРС) ведет к значительному увеличению значения целевой функции (28).

Задача (13) – (28) содержит нелинейную целевую функцию (28), линейные ограничения (13) – (27) и целочисленные переменные $\delta_{i'j}$, $\gamma_{i''j}$, ρ_{ij} и ϑ_{ij}, принимающие лишь значения 0 и 1. В такой постановке задача (13) – (28) относится к задачам нелинейного целочисленного программирования, для которых отсутствуют эффективные алгоритмы решения. В то же время, учитывая, что нелинейная целевая функция (28) может быть записана как сумма линейной и квадратичной форм, так что

$$\begin{aligned} f=f(x_1,x_2,\ldots,x_n)=\sum_{j=1}^{n}c_jx_j+\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}d_{ij}x_ix_j=\tilde{n}_1x_1+\ldots+c_nx_n+\\ +d_{11}x_1^2+d_{12}x_1x_2+\ldots+d_{nn}x_n^2, \end{aligned} \qquad (29)$$

а переменные $\delta_{i'j}$, $\gamma_{i''j}$, ρ_{ij} и ϑ_{ij} могут быть выражены нелинейными зависимостями

$$\delta_{i'j}=\delta_{i'j}^2,\ \gamma_{i''j}=\gamma_{i''j}^2,\ \rho_{ij}=\rho_{ij}^2,\ \vartheta_{ij}=\vartheta_{ij}^2,\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m},\ i'\in n(i),\ i''\in k(i), \qquad (30)$$

нелинейная задача (13) – (28) с дополнительными равенствами (30) становится задачей квадратичного программирования без условия целочисленности переменных с сепарабельными нелинейными ограничениями (30), которые приводятся к линейному виду с помощью метода кусочно-линейной аппроксимации.

Для решения задачи квадратичного программирования использован метод, представляющий собой незначительную модификацию способа искусственных переменных, используемого для отыскания исходного базисного решения задачи линейного программирования. Следует иметь в виду, что в полученном решении переменные x_{ij} не всегда являются целочисленными, и задача округления переменных возлагается на ЛПР, но по-

скольку в основе решения используется симплексный метод, данный подход имеет высокую практическую ценность, а разработанные модель и алгоритм являются эффективным средством поддержки принятия решений при формировании учебных планов.

Приведены примеры решения задачи нахождения оптимального учебного плана.

Пятая глава посвящена разработке моделей, методов и алгоритмов нахождения оптимального штата ППС, его распределения среди образовательных программ. Показано, что существующие методы формирования штатного расписания ППС являются слабо формализованными, во многом опираются на опыт составителей и ориентированы на конкретный вуз. Кроме того, ни в одной из работ, изучающей вопросы формализованного формирования штатов ППС, не ставилась задача нахождения оптимальной численности ППС, его распределения по направлениям и специальностям с учетом выполнения лицензионных требований предъявляемых к качеству ППС.

Предложены две математические модели задачи нахождения оптимальной структуры ППС и его распределения среди образовательных программ. В первом случае рациональная структура ППС определяется исходя из минимизации затрат на использование ППС при выполнении требований лицензионных нормативов (доля ставок преподавателей с учеными степенями или званиями, обеспечивающих подготовку по той или иной образовательной программе и вузу в целом, в общем количестве ставок преподавателей). Во втором случае ищется структура ППС, исходя из максимизации доли ставок преподавателей с учеными степенями или званиями к общему количеству ставок преподавателей по всем образовательным программам и вузу в целом.

Математическая формулировка задачи нахождения оптимальной структуры ППС с учетом минимизации затрат на использование ППС выглядит следующим образом:

$$f = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k} c^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} d^r y_{ij}^r\right) \to \min \tag{31}$$

при ограничениях и связях

$$\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k} \beta^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} \gamma^r y_{ij}^r\right) = Q_i,\ i = \overline{1, n}, \tag{32}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{p=1}^{k} \beta^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} \gamma^r y_{ij}^r\right) = W_j,\ j = \overline{1, m}. \tag{33}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij}^p \le \alpha \cdot P_i^p,\ \sum_{j=1}^{m} y_{ij}^r \le \alpha \cdot \overline{P}_i^r,\ i = \overline{1, n},\ p = \overline{1, k},\ r = \overline{1, l}. \tag{34}$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij}^p > 0,\ \sum_{j=1}^{m} y_{ij}^r > 0,\ i = \overline{1, n},\ p = \overline{1, k},\ r = \overline{1, l}, \tag{35}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k} x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} y_{ij}^r\right) \le \text{НЧ}, \tag{36}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k} c^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} d^r y_{ij}^r\right) \le \text{ФОТ}, \tag{37}$$

$$Z^{\text{нор}} \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{p=1}^{k} x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l} y_{ij}^r\right) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{k} x_{ij}^p \le 0,\quad j = \overline{1, m}, \tag{38}$$

$$x_{ij}^p \ge 0,\ y_{ij}^r \ge 0,\ i = \overline{1, n},\ j = \overline{1, m},\ p = \overline{1, k},\ r = \overline{1, l}, \tag{39}$$

где x_{ij}^p – подлежащие определению количество ставок ППС с ученой степенью или с

учеными званиями p-й категории должностей ($p=\overline{1,k}$), работающих на i-й кафедре ($i=\overline{1,n}$), для выполнения учебной нагрузки по j-й образовательной программе ($j=\overline{1,m}$), а y_{ij}^{r} – количество ставок ППС без ученой степени r-й категории ($r=\overline{1,l}$) на i-й кафедре для выполнения учебной нагрузки по j-й образовательной программе; c^{p} – затраты (заработная плата, надбавки за должность и степень, стимулирующие надбавки и т.п.), связанные с использованием преподавателей с ученой степенью или ученым званием p-й категории, а d^{r} – затраты, связанные с использованием ППС без ученой степени или ученого звания r-й категории; Q_i – суммарный объем учебной нагрузки в часах i-й кафедры, W_j – суммарный объем учебной нагрузки в часах, приходящийся на j-ю образовательную программу; β^{p} – норма учебной нагрузки в часах на одну ставку ППС с ученой степенью или ученым званием p-й категории, γ^{r} – норма учебной нагрузки в часах на одну ставку ППС без ученой степени или ученого звания r-й категории; НЧ – нормативная численность ППС, рассчитанная исходя из соотношений студент : преподаватель по всем образовательным программам и формам обучения; ФОТ – фонд оплаты труда ППС; α – максимальное количество ставок, которые может занимать преподаватель; P_i^{p} – количество преподавателей p-й категории на i-й кафедре, имеющих ученую степень или ученое звание, P_i^{r} – количество преподавателей без ученой степени или ученого звания r-й категории на i-й кафедре; $Z^{пор}$ – заданное (пороговое) значение доли ставок преподавателей с учеными степенями или учеными званиями к общему числу ставок преподавателей.

Действительно, ограничения (32), (33) контролируют выполнение учебной нагрузки, как по каждой кафедре, так и по каждой образовательной программе. Условия (34) следят за тем, чтобы учебная нагрузка преподавателей, вычисленная в ставках, не превышала допустимого значения. Условия (35) контролируют наличие всех категорий ППС, чтобы обеспечивать естественную смену поколений. Условия (36) и (37) устанавливают контроль за тем, чтобы штат ППС не превысил нормативную численность, а затраты на использование ППС - фонд заработной платы. Условия (38) отвечают за то, чтобы доля ставок преподавателей с учеными степенями и учеными званиями в общем количестве ставок преподавателей по всем программам, была не меньше норматива.

Задача оптимизации (31) – (39) является задачей линейного программирования, которая решается симплексным методом.

Модель задачи формирования штата ППС (31) – (39) по эффективности является позитивной, так как подготовка ведется качественным составом ППС (выполнен лицензионный норматив), присутствуют все категории преподавателей, затраты на использование ППС минимальны. В то же время, часто при формировании штата ППС требуется определить такую структуру ППС и его распределение по образовательным программам, при котором доля ставок преподавателей с учеными степенями или учеными званиями к общему числу ставок преподавателей Z была бы максимальна. Такая постановка задачи очень важна, например, для вузов, проходящих процедуру государственной аккредитации, так как максимизация доли ставок преподавателей с ученой степенью или учеными званиями увеличивает вероятность отнесения вуза к более высокому статусу. В этом случае задача нахождения оптимальной структуры ППС может быть записана следующим образом:

$$Z \to \max \tag{40}$$

при ограничениях и связях

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k}\beta^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}\gamma^r y_{ij}^r\right) = Q_i,\ i=\overline{1,n}, \\ \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{p=1}^{k}\beta^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}\gamma^r y_{ij}^r\right) = W_j,\ j=\overline{1,m}, \\ \sum_{j=1}^{m} x_{ij}^p \le \alpha\cdot P_i^p,\ \sum_{j=1}^{m} y_{ij}^r \le \alpha\cdot \overline{P}_i^r,\ i=\overline{1,n},\ p=\overline{1,k},\ r=\overline{1,l}, \\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k}x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}y_{ij}^r\right) \le \text{НЧ}, \\ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\sum_{p=1}^{k}c^p x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}d^r y_{ij}^r\right) \le \text{ФОТ}, \\ Z\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{p=1}^{k}x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}y_{ij}^r\right) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{k}x_{ij}^p \le 0,\quad j=\overline{1,m}, \\ x_{ij}^p \ge 0,\ y_{ij}^r \ge 0,\ Z \ge 0,\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m},\ p=\overline{1,k},\ r=\overline{1,l}. \end{cases} \tag{41}$$

Задача (40), (41) является задачей нелинейного программирования, так как содержит в (41) нелинейные неравенства $Z\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{p=1}^{k}x_{ij}^p + \sum_{r=1}^{l}y_{ij}^r\right) - \sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{k}x_{ij}^p \le 0,\ j=\overline{1,m}$. Нелинейность неравенствам придают произведения Zx_{ij}^p и Zy_{ij}^r, которые содержатся в качестве слагаемых неравенств. Чтобы исключить такие произведения и получить сепарабельную форму был использован следующий прием.

Пусть имеется произведение $x_i x_j$. Введем новые переменные y_i и y_j:

$$y_i = (x_i + x_j)/2,\ \ y_j = (x_i - x_j)/2. \tag{42}$$

Тогда

$$x_i x_j = y_i^2 - y_j^2 \tag{43}$$

и мы получаем сепарабельную форму относительно новых переменных y_i и y_j.

После преобразования произведений Zx_{ij}^p и Zy_{ij}^r в соответствии с (42), (43) и замены нелинейных функций в (43) их кусочно-линейными приближениями получаем приближенную задачу в виде задачи линейного программирования, для решения которой используется симплексный метод.

Приведены примеры решения задачи нахождения оптимальной структуры ППС и его распределения среди образовательных программ.

Найденная оптимальная структура ППС является исходной базой для решения задачи оптимального распределения учебных поручений между преподавателями кафедр.

Если задана матрица $\mathbf{C} = \|c_{ij}\|$, размерности $n \times m$, каждый элемент которой характеризует эффективность использования i-го преподавателя на обслуживании j-го учебного поручения, и каждому допустимому варианту распределения учебных поручений среди преподавателей поставлена в соответствие булева матрица $\mathbf{X} = \|x_{ij}\|$, в которой

элементы $x_{ij} = 1$ означают распределение i-му преподавателю j-го поручения, а $x_{ij} = 0$ отсутствие такого поручения.

Задача определения оптимального распределения учебных поручений заключается в определении такой матрицы $\mathbf{X}$, которая обращает в максимум целевую функцию

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} \to \max. \tag{44}$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, m}, \tag{45}$$

$$\sum_{j=1}^{m} b_j x_{ij} \le Q_i, \quad i = \overline{1, n}, \tag{46}$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \tag{47}$$

В выражении (46) Q_i есть максимальный объем учебной нагрузки в часах, приходящийся на i-го преподавателя, найденный из решения задачи нахождения оптимальной структуры ППС, а b_j – объем в часах j-го учебного поручения.

Задача максимизации (44) при ограничениях (45) – (47) относится к классу задач дискретного программирования с булевыми переменными. Для ее решения предложен эффективный алгоритм, построенный на основе метода ветвей и границ.

В шестой главе разработаны модели и алгоритмы автоматизированного составления расписания занятий в вузе. Отмечено, что при составлении расписания вручную возможности перебора вариантов ограничены, а размерность неизвестных столь велика, что даже опытный диспетчер не способен одновременно оценивать расписание на соответствие более чем десятку требований. Поэтому традиционные методы неавтоматизированного составления расписания уже принципиально не могут обеспечить эффективный учебный процесс. Следовательно, становится важным внедрение методов системного подхода к построению расписаний занятий в вузе.

Проведен анализ задачи составления расписания занятий в вузе с точки зрения теории расписания и выявлены особенности ее автоматизации. Отмечено, что перспективным к составлению расписания занятий является подход, в котором используются приемы агрегирования, декомпозиции и локальной оптимизации.

Очевидно, что существует огромное множество вариантов закрепления заданного множества занятий за аудиториями и распределения их во времени, при которых степень использования учебных площадей различна. Следовательно, применяя методы оптимизации в распределении занятий по аудиториям, можно добиться сокращения простоев аудиторий, минимизировать количество требуемых под учебный процесс учебных помещений, а значит, сократить эксплуатационные расходы на содержание учебно-лабораторных зданий и сооружений вуза. На основании этого, составление расписания занятий осуществляется в два этапа. На первом этапе определяется оптимальная структура учебных помещений, при которой выполняются все обязательные требования к расписанию, и обеспечиваются минимальные затраты на использование учебных помещений. На втором этапе решается задача оптимального распределения конечного множества занятий по учебным помещениям в соответствии с найденной оптимальной структурой учебных помещений.

Пусть имеется система занятий, которая определена как $\Im$, $\neq$, $[\tau_j]$, $\{\varpi_j\}$ следующим образом:

1. $\Im=\{T_1, \ldots, T_n\}$ – общий список занятий, подлежащих назначению в учебные помещения.

2. $\neq$ обозначает заданные ограничения на одновременное выполнение занятий.

3. $[\tau_i]$ есть продолжительность занятия T_i, $(i=\overline{1,n})$.

4. $\{\varpi_i\}$ есть вес занятия T_i, $(i=\overline{1,n})$.

Если представить все занятия в виде вершин одного графа, а условия несовместимости занятий по времени отразить с помощью ребер, так, чтобы между каждой парой несовместимых по времени занятий в графе присутствовало ребро, то количество ребер, входящих в i-ю вершину графа, соответствующую занятию T_i, и определяет вес занятия ϖ_i. Очевидно, что занятия с высокими весами должны назначаться в расписание первыми, поскольку с каждым последующим шагом количество вариантов назначений для таких занятий резко уменьшается. Если вес занятия интерпретировать как удельный штраф от того, что занятие до сих пор не назначено в расписание, то штраф от назначения занятия T_i в момент времени t равен $\varpi_i t$.

Обозначим через $\Re$ множество имеющихся в вузе учебных помещений. Будем считать, что множество учебных помещений $\Re$ можно разбить на j-е количество подмножеств или групп, $j=\overline{1,m}$, либо автоматически, либо ЛПР в интерактивном режиме по соображениям близости обобщенных или усредненных первичных параметров (вместимость, специализация, место расположения и т.д.). При этом будем считать, что все учебные помещения j-й группы ($j=\overline{1,m}$) являются идентичными.

Учебные помещения разных групп могут быть не вполне взаимозаменяемыми по отношению к некоторым занятиям, т. е. персональная совместимость учебных помещений j-й группы с занятиями из множества $\Im$ стеснена булевой $n\times m$-матрицей $\mathbf{E}=\|e_{ij}\|$, каждый элемент которой $e_{ij}=1$ означает допустимость назначения занятия T_i в учебное помещение j-й группы, а элемент вида $e_{ij}=0$ соответствует запрету на такое назначение. Каждая строка матрицы $\mathbf{E}$ содержит не менее, чем один, отличный от нуля элемент, т.е. для каждого занятия множества $\Im$ подмножество совместимых с ним учебных помещений не пусто.

Использование каждого учебного помещения j-й группы связано с затратами c_j на его содержание (эксплуатационные расходы, аренда, охрана и т.п.). Пусть P_j количество учебных помещений j-й группы, а B_j – фонд времени использования учебных помещений j-й группы в неделю или в две недели (зависит от типа расписания принятого в вузе). Необходимо найти такое количество учебных помещений для каждой группы, чтобы могли быть выполнены все обязательные требования к расписанию занятий и чтобы затраты на использование учебных помещений были минимальны.

Математическая формулировка задачи выглядит следующим образом:
минимизировать

$$f=\sum_{j=1}^{m} c_j P_j \tag{48}$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{m} e_{ij} x_{ij} = 1,\ i=\overline{1,n}, \tag{49}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij}\tau_i \le B_j \cdot P_j\,,\ j=\overline{1,m}, \tag{50}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}. \tag{51}$$

Величина $x_{ij} \in \{0,1\}$ есть показатель того, будет ли назначено занятие T_i в учебные помещения j-й группы. Так, если $x_{ij}=1$, то в расписании занятие T_i будет проводиться в учебных помещениях j-й группы, если $x_{ij}=0$, то занятие T_i не будет проводиться в учебных помещениях j-й группы. Условие (49) требует, чтобы все занятия были выполнены, а наложение условия целочисленности на x_{ij} означает, что занятие T_i может быть проведено только в одном учебном помещении, так как расписание реализуется без прерываний. Условие (50) означает ограничение на длину расписания или максимальный объем времени использования учебных помещений j-й группы. Тогда (48) означает, что задача состоит в нахождении таких значений P_j, $j=\overline{1,m}$ при котором значение f (суммарные затраты на использование учебных помещений) минимально.

Следует отметить, что постановка задачи (44) – (47) не учитывает взаимозависимость занятий. В то же время, для того, чтобы составить допустимое расписание достаточно, чтобы количество пар в расписании занятий было больше, чем максимально возможное количество взаимосвязанных занятий. Общая практика составления расписаний занятий в вузах показывает, что общее число пар в расписании занятий много больше, чем число взаимозависимых или взаимосвязанных занятий у одних и тех же обучающихся или преподавателя.

К сожалению, задача (48) – (51) является NP-полной задачей и может быть решена методами целочисленного линейного программирования только для очень малых размеров n и m. В то же время, существует множество разновидностей этой задачи, широко используемых в практике, для которых были разработаны «хорошие» приближенные алгоритмы решения. Это задачи об упаковке в контейнеры, о ранце, о распределении файлов на съемных носителях и вообще такие задачи, в которых несколько «кусков» различной «длины» должны быть образованы из кусков, имеющих стандартную длину.

Действительно, если каждое занятие T_i представить в виде прямоугольника, имеющего длину τ_i, которые следует уложить в полосу или контейнер единичной ширины в последовательные интервалы времени так, чтобы они не пересекались с прямоугольниками других занятий, а общая длина прямоугольников не превышала заданную длину контейнера, то задача нахождения минимального количества учебных помещений аналогична одномерной задаче упаковки в контейнеры, в которой необходимо упаковать заданную совокупность «весов» в минимальное число «контейнеров».

Для решения задачи (48) – (51) в работе разработан эвристический алгоритм. Вычислительный эксперимент показал, что разработанный эвристический алгоритм эффективно решает задачу нахождения оптимальной структуры учебных помещений для задач большой размерности.

В результате, на первом этапе автоматизированного составления расписания занятий находится оптимальное количество учебных помещений P_j каждой j-й группы, количество занятий n_j, назначенных в помещения j-й группы, и устанавливается распределение, закрепляющее каждое занятие из системы $\Im=\{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$ за той или иной группой учебных помещений, т.е. осуществлена декомпозиция системы занятий $\Im=\{T_1, T_2, \ldots, T_n\}$ на подмножества $\Im(1), \Im(2), \ldots, \Im(m)$ $(m \le n)$, которые охватывают все

множество $\Im$.

В таком виде задача составления расписания занятий, сгруппированных в пакет $\Im(j)$, сведена к классической задаче теории расписаний – задаче распределения заданного множества требований по параллельно работающим идентичным приборам.

Учитывая вычислительную сложность задач синтеза оптимальных расписаний взаимозависимых требований уже для системы обслуживания, состоящей из двух приборов, проводится дальнейшая декомпозиция подмножеств занятий, сгруппированных в пакет, на подмножества, каждое из которых направлено для назначения к вполне определенному учебному помещению. Эта задача формулируется для каждой j-й группы учебных помещений:

$$f = \sum_{p=1}^{P_j} \sum_{i=1}^{n_j} p(\varpi_i x_{ip}) \to \min \tag{52}$$

при условиях

$$\sum_{p=1}^{P_j} x_{ip} = 1,\ i = \overline{1, n_j}, \tag{53}$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} x_{ip} \tau_i \le B_p,\ p = \overline{1, P_j}, \tag{54}$$

$$x_{ip} \in \{0, 1\}. \tag{55}$$

Условие (53) требует, чтобы все занятия из подмножества $\Im(j)$ были выполнены, а наложение условия целочисленности на x_{ip} означает, что занятие T_i может быть проведено только в одном учебном помещении. Условие (54) означает ограничение на максимальный объем времени использования p-го по порядку учебного помещения. Величина $x_{ip} \in \{0, 1\}$ есть показатель того, будет ли назначено занятие T_i в p-е по порядку учебное помещение. Использование $f = \sum_{p=1}^{P_j} \sum_{i=1}^{n_j} p(\varpi_i x_{ip})$ в качестве критерия оптимальности означает то, что при разбиении подмножества занятий $\Im(j)$ на подмножества $\Im_1(j), \ldots, \Im_{P_j}(j)$ будут рассматриваться только те разбиения, при которых занятия с наибольшими весами закрепляются за учебными помещениями с наименьшими индексами, для которых расписания составляются раньше.

Неформально говоря, элементы вектора $[1\varpi_i]$ представляют собой возможные вклады в функцию f при условии, что занятия назначаются в 1-е по порядку учебное помещение, для которого расписание занятий составляется первым, элементы $[2\varpi_i]$ представляют собой возможные вклады в f при условии, что эти занятия назначаются во 2-е по порядку учебное помещение и так далее.

В результате решения задачи формируется совокупность подмножеств занятий для каждого отдельного учебного помещения, т.е.

$$\{\Im\} = \Im_1(1) \cup \Im_2(1) \cup \ldots \cup \Im_{P_1}(1) \cup \Im_1(2) \cup \ldots \cup \Im_{P_m}(m). \tag{56}$$

На следующем этапе решаются $\sum_{l=1}^{m} P_l$ независимых задач составления расписания для конечного множества занятий $\Im_l(j) = \{T_1, T_2, \ldots, T_{kl}\}$ в каждом l-м учебном помещении j-й группы. Известны продолжительность всех занятий $\tau_k > 0$ ($k = \overline{1, kl}$) и количе-

ство пар B_l использования l-го учебного помещения. Общая продолжительность занятий, назначенных в l-е учебное помещение $\tau_l^l = \sum_{k=1}^{kl} \tau_k \le B_l$ не превышает фонд использования помещения.

Сформулируем задачу о назначении применительно к задаче нахождения оптимального расписания для одного учебного помещения.

Пусть n занятий закреплены за одним учебным помещением. Общее количество пар использования учебного помещения равно n. Если количество занятий неравно количеству пар, или длительность некоторых занятий больше одной пары, то это не нарушает общности задачи, поскольку всегда можно ввести фиктивные занятия или фиктивные пары, чтобы привести задачу к виду $n \times n$.

Персональная совместимость занятий с каждой парой стеснена булевой $n \times n$-матрицей назначения $\mathbf{A} = \|a_{ij}\|$, каждый элемент которой $a_{ij} > 0$ означает допустимость назначения занятия T_i в j-ю пару, а элемент вида $a_{ij} = 0$ соответствует запрету на такое назначение ($i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$).

Задача заключается в том, чтобы назначить в каждую пару одно и только одно занятие таким образом, чтобы были проведены все занятия.

Математическую модель задачи о назначении n занятий n парам можно представить в виде задачи линейного программирования.

Определим переменные x_{ij} как

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если занятие } T_i \text{ назначено в аудиторию } j\text{-го типа}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \tag{57}$$

Получаем следующую задачу линейного программирования

$$f = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{ij} \to \max \tag{58}$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, n}, \tag{59}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, n}, \tag{60}$$

$$x_{ij} = \{0, 1\}, \; i = \overline{1, n}, \; j = \overline{1, n}. \tag{61}$$

Для решения задачи о назначении используется алгоритм решения, названный венгерским методом.

Очевидно, что в найденном расписании для одного учебного помещения все занятия выполняются в разных парах, и это означает то, что никакие два взаимосвязанные занятия не могут быть назначены в одну пару. В то же время решение задачи (58) – (61) связано с определением элементов матриц назначения $\mathbf{A} = \|a_{ij}\|$ для каждого учебного помещения. Обозначим через параметр ξ_{ij} возможность преподавателя провести занятие T_i в j-ю пару. Так, если $\xi_{ij} > 0$, то преподаватель может провести занятие T_i в j-ю пару, а $\xi_{ij} = 0$ соответствует запрету на такое проведение. Чем больше число ξ_{ij} – тем более предпочтительнее для преподавателя провести занятие T_i в j-ю пару. Аналогично, по-

казатель ψ_{ij} отражает возможность группы, подгруппы или потока обучающихся прослушать занятие T_i в j-ю пару. Чем больше ψ_{ij} нуля, тем предпочтительнее для обучающихся прослушать занятие T_i в j-ю пару, а $\psi_{ij} = 0$ соответствует запрету на проведение занятия. Очевидно, что значения показателей ξ_{ij} и ψ_{ij} зависят не только от пожеланий преподавателя и студентов по времени проведения занятия, но и от того, было ли до этого назначено в ту же самую пару другое занятие с той же группой или с тем же преподавателем. Тогда элементы матрицы назначений $\|a_{ij}\|$ находятся как $a_{ij} = \xi_{ij} \cdot \psi_{ij}$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, n}$.

Если представим все занятия множеством вершин $\{T_1, T_2, ..., T_n\}$, а пары – множеством вершин $\{t_1, t_2, ..., t_n\}$ двудольного графа G, в котором вершина T_i смежна с вершиной t_j тогда и только тогда, когда занятие T_i может быть проведено в t_j-ю пару, т.е. $a_{ij} > 0$, ясно, что задача о назначении сводится к задаче определения, имеет ли граф G совершенное паросочетание. В случае отсутствия совершенного паросочетания (может иметь место на последних этапах составления расписания) проводится ослабление требований, исключаются пожелания преподавателей и обучающихся о времени проведения занятия, либо вводится дополнительная пара занятий в данное учебное помещение для окончательного размещения занятия.

В завершении главы разработана и предложена вычислительная схема синтеза расписания занятий в вузе.

В седьмой главе разработаны модели и алгоритмы оптимального планирования учебного процесса в вузе в комплексе рассмотренных выше задач на базе интегрированного подхода. В соответствии с формулированной во второй главе концепцией оптимального планирования учебного процесса нахождение решения исходной задачи осуществляется за счет распределения процедур решения между двумя уровнями иерархии. На нижнем уровне решаются локальные задачи оптимизации со своим критерием оптимальности и известными ограничениями без обмена информацией с верхним уровнем и другими локальными задачами. На верхнем уровне решается глобальная задача оптимального планирования учебного процесса.

К локальным задачам отнесены: 1) задача нахождения плана приема студентов в вуз, при котором доход вуза будет наибольшим; 2) задача нахождения оптимальной структуры ППС, при которой затраты на использование ППС будут наименьшими; 3) задача нахождения оптимальной структуры учебных помещений, при которой затраты на использование учебных помещений будут наименьшими.

Модели локальных задач сформулированы следующим образом:

<u>1-я локальная задача:</u>

максимизировать

$$f_1 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \overline{Ц}_{ij}^{1} \int_{0}^{\overline{C}_{ij}^{1}} w_{ij} f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) dw_{ij} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \overline{Ц}_{ij}^{1} \overline{C}_{ij}^{1} \int_{\overline{C}_{ij}^{1}}^{\overline{C}_{ij}^{1}+\overline{C}_{ij}^{1}} f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) dw_{ij} +$$

$$+ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Ц_{ij}^{1} \int_{\overline{C}_{ij}^{1}}^{\overline{C}_{ij}^{1}+\overline{C}_{ij}^{1}} (w_{ij} - \overline{C}_{ij}^{1}) f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) dw_{ij} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \overline{Ц}_{ij}^{1} \overline{C}_{ij}^{1} \int_{\overline{C}_{ij}^{1}+\overline{C}_{ij}^{1}}^{\infty} f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) db_{ij} + \qquad (62)$$

$$+ \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Ц_{ij}^{1} C_{ij}^{1} \int_{\overline{C}_{ij}^{1}+\overline{C}_{ij}^{1}}^{\infty} f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) dw_{ij} - \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \left((\overline{Ц}_{ij}^{1} + p_{ij}) \int_{0}^{x_{ij}} (x_{ij} - w_{ij}) f(w_{ij}; \mu_{ij}; \sigma_{ij}) dw_{ij} \right) -$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left((\text{Ц}_{ij}^{1}+p_{ij})C_{ij}^{1}\int_{0}^{C_{ij}^{1}}f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left((\text{Ц}_{ij}^{1}+p_{ij})\int_{C_{ij}^{1}}^{\overline{C}_{ij}^{1}+C_{ij}^{1}}(\overline{C}_{ij}^{1}+C_{ij}^{1}-w_{ij})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)-$$

$$-\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left(\text{Ц}_{ij}^{1}\int_{\overline{C}_{ij}^{1}+C_{ij}^{1}}^{\infty}(w_{ij}-\overline{C}_{ij}^{1}-C_{ij}^{1})f(w_{ij};\mu_{ij};\sigma_{ij})dw_{ij}\right)\to\max$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\left[\alpha_{j}\left(\overline{C}_{ij}^{p}+C_{ij}^{p}\right)\right]\le Q, \tag{63}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\left[a_{vij}\left(\overline{C}_{ij}^{p}+C_{ij}^{p}\right)\right]\le b_{v},\quad v=\overline{1,u}, \tag{64}$$

$$\overline{C}_{ij}^{1}\ge 0,\ C_{ij}^{1}\ge 0,\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}. \tag{65}$$

где $\overline{C}_{ij}^{p}$ – количество бюджетных студентов на i-й образовательной программе ($i=\overline{1,n}$), j-й форме обучения ($j=\overline{1,m}$), p-го года обучения ($p=\overline{1,k}$); C_{ij}^{p} – количество коммерческих студентов на i-й образовательной программе j-й формы обучения p-го года обучения; $\overline{\text{Ц}}_{ij}^{1}$ – государственное финансирование на подготовку бюджетного студента 1-го года обучения на i-й образовательной программе по j-й форме обучения; Ц_{ij}^{1} – оплата за обучение на коммерческой основе студента 1-го года i-й образовательной программы j-й формы обучения; α_{j} – коэффициент приведения численности обучающихся на j-й форме обучения к численности студентов очной формы обучения; Q – предельно допустимый приведенный контингент студентов; b_{v} – объем v-го ресурса ($v=\overline{1,w}$), a_{vij} – норма расхода v-го ресурса на подготовку одного студента по i-й образовательной программе на j-й форме обучения.

Задача решается для переменных $\overline{C}_{ij}^{1}$, C_{ij}^{1}, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$.

<u>2-я локальная задача:</u>

максимизировать

$$f_{2}=-\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r=1}^{s}\text{З}_{r}H_{ijp}^{r}\left(1+\lambda_{\text{УЗИИНС}}\overline{\text{З}}_{\text{УЗИП}}\right)\right]\cdot(1+H_{\text{ЕСН}}/100)\to\max \tag{66}$$

при условиях

$$\sum_{r=1}^{s}\beta^{r}H_{ijp}^{r}=\overline{Q}_{ijp},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m},\ p=\overline{1,k}, \tag{67}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r=1}^{s}H_{ijp}^{r}\le \text{НЧ}. \tag{68}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r=1}^{s}\text{З}_{r}H_{ijp}^{r}\le \text{ФОТ}. \tag{69}$$

$$Z\left(\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r=1}^{s}H_{ijp}^{r}\right)-\sum_{j=1}^{m}\sum_{p=1}^{k}\sum_{r_{1}=1}^{s_{1}}H_{ijp}^{r_{1}}\le 0,\ i=\overline{1,n}. \tag{70}$$

$$H_{ijp}^{r} \geq 0,\ i=\overline{1,n}, j=\overline{1,m},\ p=\overline{1,k},\ r=\overline{1,s}, \tag{71}$$

где H_{ijp}^{r} – количество ставок, занятых преподавателями r-й категории должностей ($r=\overline{1,s}$), обеспечивающих подготовку студентов p-го года обучения по i-й образовательной программе и по j-й форме обучения; $З_r$ – затраты, связанные с использованием преподавателя r-й категории должностей; $\lambda_{УВ/ППС}$ – коэффициент, учитывающий соотношение численности ставок учебно-вспомогательного персонала (УВП) и ППС; $\overline{З}_{УВП}$ – средняя заработная плата УВП; $H_{ЕСН}$ – норматив начислений на заработную плату; $\overline{Q}_{ijp}$ – объем учебной нагрузки по i-й образовательной программе j-й формы обучения p-го года обучения; β^{r} – норма учебной нагрузки в часах на одну ставку преподавателя r-й категории.

Эта задача решается для переменных H_{ijp}^{r}, $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$, $r=\overline{1,s}$, $p=\overline{1,k}$.

<u>3-я локальная задача:</u>

максимизировать

$$f_3 = -\sum_{q=1}^{h} Э_q y_q \to \max \tag{72}$$

при условиях

$$\sum_{q=1}^{h} e_{gq} x_{gq} = 1,\ g=\overline{1,v}, \tag{73}$$

$$\sum_{g=1}^{v} x_{gq} \tau_g \leq B_q \cdot y_q,\ q=\overline{1,h}, \tag{74}$$

$$x_{gq} \in \{0,1\},\ g=\overline{1,v},\ q=\overline{1,h}. \tag{75}$$

где y_q – количество учебных помещений q-й группы ($q=\overline{1,h}$); $Э_q$ – затраты на содержание учебных помещений q-й группы; B_q – фонд времени использования учебных помещений q-й группы; e_{gq} – элементы матрицы **E** размерности $v \times h$, каждый элемент которой $e_{gq}=1$ означает допустимость назначения занятия T_g в учебное помещение q-й группы, а элемент вида $e_{gq}=0$ соответствует запрету на такое назначение ($g=\overline{1,v}$, $q=\overline{1,h}$); x_{gq} – булевы переменные, которые определяются как

$$x_{gq} = \begin{cases} 1, & \text{если занятие } g \text{ назначено в аудиторию } q\text{-го типа,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Задача решается для переменных y_q, x_{gq}, $g=\overline{1,v}$, $q=\overline{1,h}$.

В глобальной задаче ищется максимум глобальной целевой функции, которая выступает как сумма целевых функций подзадач.

Для достижения оптимального решения глобальной задачи требуется неоднократно решать локальные задачи для разного множества $U=\bigcup_i U_i$, с помощью которого глобальная задача влияет на локальные задачи. При заданных величинах управляющих воздействий, а, следовательно, заданном множестве $U=\bigcup_i U_i$, в каждой локальной задаче находится максимум своего локального критерия оптимальности и определяется значения вектора $\mathbf{x}_i^*$, $i=\overline{1,3}$, которые затем передаются глобальной задаче для вычисления

глобального критерия оптимальности. Таким образом, управлениями локальным задачам являются множества U_i, а решением глобальной задачи – совокупность векторов $\mathbf{x}_i^*$, $i=\overline{1,3}$, получаемых после решения локальных задач оптимизации и доставляющих максимум глобальному критерию оптимальности.

Взаимодействие между верхним и нижним уровнями показано на рис.2. На нижнем уровне решаются локальные задачи планирования учебного процесса. На верхнем уровне решается одна глобальная задача оптимизации учебного процесса.

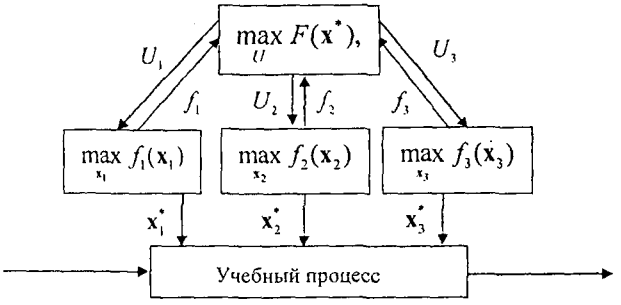

Рис. 2. Двухуровневая система планирования учебного процесса

В восьмой главе предложена типовая конфигурация системы оптимального планирования учебного процесса в вузе, которая может являться базовой для реализации широкого класса задач, возникающих при планировании учебного процесса в вузе. Под системой оптимального планирования учебного процесса (СОПУП) в вузе понимается комплекс технических, программных, математических, информационных и организационных средств, обеспечивающих решение задач, возникающих при планировании учебного процесса в локальной сети ЭВМ на базе развитой системы управления базами данных и автоматизированных комплексов управленческого персонала. СОПУП включает подсистемы оптимального планирования приема студентов в вуз, автоматизированного проектирования учебных планов, оптимального планирования штата ППС и распределения учебных поручений, автоматизированного составления расписания занятий.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы работы.

В приложениях приведены акты внедрения, свидетельства о разработках и некоторые результаты расчетов предложенных моделей, методов и алгоритмов.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основным результатом диссертационной работы является решение крупной научной проблемы, имеющей важное социально-экономическое значение, в части создания методологии оптимального планирования учебного процесса в вузе, обеспечивающей его экономическую эффективность.

При решении этой проблемы были получены следующие основные результаты:

1. Разработана концепция оптимального планирования учебного процесса в вузе, включающая методологические принципы, достаточные для решения задач, возникаю-

щих при планировании учебного процесса в вузе, и обеспечивающие его экономическую эффективность.

2. Проведено теоретическое исследование процедур принятия решений в планировании и организации учебного процесса в вузе. Осуществлена проблемная постановка задачи формализованного планирования и организации учебного процесса в вузе на базе его всестороннего математического описания. Предложена конструктивная схема декомпозиции общей задачи планирования учебного процесса в вузе на совокупность независимых подзадач.

3. Разработана математическая модель задачи нахождения оптимального плана приема студентов в вуз в условиях неопределенности, сформулированной в виде задачи стохастического нелинейного программирования. Предложен эффективный алгоритм решения задачи нелинейного программирования с сепарабельной целевой функцией и линейными ограничениями, который сводит исходную задачу к задаче линейного программирования.

4. Разработана математическая модель задачи автоматизированного составления учебного плана образовательной программы в вузе в виде задачи квадратичного программирования, заключающейся в распределении аудиторной и самостоятельной работы студента в соответствии с заданным соотношением, учитывающей выполнение логической последовательности и непрерывности изучения дисциплин, требования, задаваемые ФГОС и вузом. Предложен эффективный алгоритм решения задачи квадратичного программирования, легко реализуемый на ЭВМ.

5. Разработаны две математические модели задачи нахождения оптимальной структуры ППС, включающие определение численности ППС в вузе и его рациональное распределение по кафедрам и образовательным программам. В первой модели оптимальная структура ППС находится исходя из минимизации затрат на использование профессорско-преподавательского состава, а задача сформулирована в виде задачи линейного программирования. Во второй модели оптимальная структура ППС обеспечивает равномерность и максимизацию доли лиц с учеными степенями и учеными званиями в общем количестве ставок ППС, а задача сформулирована в виде задачи нелинейного программирования. Предложен эффективный алгоритм решения задачи, позволяющий свести задачу нелинейного программирования к приближенной задаче линейного программирования. Разработаны модель и алгоритм решения задачи оптимального распределения учебных поручений среди преподавателей кафедры с учетом их квалификации.

6. Разработана математическая модель задачи нахождения оптимальной структуры учебных помещений, при которой выполняются все обязательные требования к расписанию, и обеспечиваются минимальные затраты на использование учебных помещений в виде задачи целочисленного линейного программирования. Разработан эффективный эмпирический алгоритмы для решения задачи нахождения оптимальной структуры учебных помещений.

7. Разработана методика последовательной декомпозиции исходной задачи синтеза расписания занятий в вузе на независимые задачи составления расписания для отдельного учебного помещения. На основании разработанной методики предложена вычислительная схема автоматизированного составления расписания занятий в вузе.

8. Поставлена и решена задача оптимального планирования учебного процесса в комплексе всех задач на базе интегрированного подхода с глобальной целевой функцией. Показано, что для оценки эффективности планирования учебного процесса может быть принята прибыль вуза, которая наиболее полно отражает экономическую эффективность учебного процесса, объем и качество предоставленных образовательных услуг,

состояние производительности труда, уровень себестоимости.

9. Предложен метод декомпозиции исходной задачи оптимального планирования учебного процесса на подзадачи меньшей размерности за счет распределения процедур решения между двумя уровнями иерархии.

10. Результаты выполненных исследований положены в основу разработки системы оптимального планирования учебного процесса в Ангарской государственной технической академии. Созданное математическое и алгоритмическое обеспечение системы планирования учебного процесса частично внедрено в практику ряда других вузов.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монография

1. Истомин А.Л. Исследование операций в управлении вузом: моногр. / Истомин А.Л. – М.: СИНТЕГ, 2008. – 272 С.

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК

2. Истомин А.Л. Методы, модели и алгоритмы автоматизированного составления учебного плана образовательной программы в вузе / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Информатизация образования и науки. – 2011. – № 3(11). – С. 67-82.
3. Истомин А.Л. Математическое обеспечение системы принятия решений в планировании и организации учебного процесса в вузе / Истомин А.Л., Бадеников А.В., Балакирев В.С. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщений. – 2011. – № 1(29). – С. 106-112.
4. Бадеников А.В. Формализация задачи составления расписания учебных занятий в вузе / Бадеников А.В., Балакирев В.С., Истомин А.Л. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщений. – 2011. – № 1(29). – С. 15-21.
5. Истомин А.Л. Определение оптимальной структуры учебных помещений, обеспечивающей допустимое расписание занятий в вузе / Истомин А.Л. // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 1(43). – С. 73–77.
6. Истомин А.Л. Определение оптимальной структуры профессорско-преподавательского состава вуза и его распределение среди образовательных программ / Истомин А.Л. // Системы управления и информационные технологии. – 2010. № 4.1 (42). – С. 154–158.
7. Истомин А.Л. Математические методы и модели в задачах автоматизации планирования приема студентов в вуз / Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Информатизация образования и науки. – 2010. – № 4(6). – С. 87–100.
8. Истомин А.Л. Оптимальное планирование приема студентов в ВУЗ / Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщений. – 2010. – № 2(26). – С. 148–155.
9. Истомин А.Л. Оптимизация приема студентов в вуз в условиях неопределенности / Истомин А.Л. // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3.1 (37). – С. 147–150.
10. Истомин А.Л. Постановка и методы решения задачи оптимизации учебного плана в вузе / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 3.3 (33). – С. 346–350.
11. Истомин А.Л. Управление трудовыми ресурсами в высшем учебном заведении / Истомин А.Л. // Управление персоналом. – 2008. – № 5. – С.41–43.
12. Истомин А.Л. Календарное планирование учебного процесса в вузе / Истомин А.Л.

// Открытое образование. – 2007. – № 4. – С.28–32.
13. Истомин А.Л. Нахождение допустимых отклонений управлений с учетом ограничений на показатели качества функционирования объектов управления / Истомин А.Л. // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2007. – № 1. – С.131–136.
14. Истомин А.Л. Математическое обеспечение системы принятия решений при приеме студентов в вуз / Истомин А.Л. Сумарокова Н.Н. // Открытое образование. – 2007. – № 1. – С.16–20.

Статьи в сборниках и тезисы докладов

15. Истомин А.Л. Постановка задачи оптимизации плана приема студентов в вуз / Истомин А.Л. Сумарокова Н.Н. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Иркутский государственный университет путей сообщений. – 2004. – № 4. – С. 92–95.
16. Истомин А.Л. Декомпозиция, агрегирование и локальная оптимизация в задаче построения расписания занятий в вузе / Истомин А.Л. // Современные проблемы информатизации: Сб. трудов XV Международной научной конференции – СПИ-2010. Моделирование и социальные технологии. Воронеж. 2010. – С. 183–185.
17. Истомин А.Л. Реализация модели принятия оптимальных решений при приеме студентов в вуз / Истомин А.Л. Сумарокова Н.Н. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XXIII Международной научной конференции – ММТТ-23. Т.12. Смоленск. 2010. – С. 134–136.
18. Истомин А.Л. Математическая модель задачи составления расписания учебных занятий в вузе / Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XXIII Международной научной конференции – ММТТ-23. Т.12. Смоленск, 2010. – С. 139–141.
19. Истомин А.Л. Планирование штата профессорско-преподавательского состава в высшем учебном заведении / Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XXI Международной научной конференции – ММТТ-21. Т.8. Саратов, 2008. – С. 81–82.
20. Засухина О.А. Подход к разработке учебного плана вуза в системе зачетных единиц / Засухина О.А., Истомин А.Л. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов IX Всероссийской научно-технической конференции – ТиПВСИТ-2008, Улан-Удэ, 2008. – С.270–274.
21. Истомин А.Л. Учебный процесс в вузе с позиций системного подхода / Истомин А.Л. // Вестник Ангарской государственной технической академии. – 2007. № 1 (1). – С. 117–124.
22. Истомин А.Л. Математическая модель учебного плана специальности в вузе / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XX Международной научной конференции – ММТТ-20. Т.9. Ярославль, 2007. – С. 210–212.
23. Истомин А.Л. Экономическое управление учебным процессом в вузе / Истомин А.Л. // Организационные, экономические и социальные проблемы управления высшим учебным заведением: Сб. статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза. 2007. – С. 133–136.
24. Засухина О.А. Реляционная модель данных в унификации учебных планов в вузе / Засухина О.А., Истомин А.Л. // Сб. научн. трудов. В 2-х томах. Том 2. – Ангарск, АГТА, 2007. – С. 114–117.
25. Засухина О.А. Об автоматизации процессов составления учебных планов в вузе / Засухина О.А., Истомин А.Л. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции – ТиПСИТ-2007, Улан-Удэ, 2007. – С.326–327.

26. Сумарокова Н.Н. Разработка программного комплекса планирования приема студентов в вуз / Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов VIII Всероссийской научно-технической конференции – ТиПВСИТ-2007, Улан-Удэ, 2007. – С.324–326.
27. Истомин А.Л. Формирование плана приема студентов в вуз методами математического программирования / Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Ученые записки ИИО РАО – М.: Институт информатизации образования РАО. – 2006. – № 20. – С. 169–174.
28. Истомин А.Л. Оптимизация расчета учебной нагрузки с применением АСУ ВУЗ / Истомин А.Л., Кривов М.В. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов VII Всероссийской научно-технической конференции – ТиПВСИТ-2006, Улан-Удэ, 2006. – С.384–385.
29. Сумарокова Н.Н. Постановка задачи оптимизации цены за обучение в вузе / Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов VII Всероссийской научно-технической конференции – ТиПВСИТ-2006, Улан-Удэ, 2006. – С.244–246.
30. Сумарокова Н.Н. Исследование условий безубыточности учебного процесса в вузе / Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: Сб. трудов VII Всероссийской научно-технической конференции – ТиПВСИТ-2006, Улан-Удэ, 2006. – С.242–244.
31. Истомин А.Л. Согласование учебных планов специальностей в вузе методами кластерного анализа / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Сб. научн. трудов. В 2-х томах. Том 2. – Ангарск, АГТА, 2006. – С. 269–271.
32. Сумарокова Н.Н. Постановка задачи оптимизации цены за обучение при приеме студентов в вуз / Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XIX Международной научной конференции – ММТТ-19. Т.4. Воронеж, 2006. – С. 168–170.
33. Истомин А.Л. Унификация учебных планов родственных специальностей в вузе / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XIX Международной научной конференции – ММТТ-19. Т.4. Воронеж, 2006. – С. 103–104.
34. Истомин А.Л. Формирование учебных планов специальностей в вузе методами математического программирования / Истомин А.Л., Засухина О.А. // Сб. научн. трудов. В 2-х томах. Т.2. – Ангарск, АГТА. 2006. – С. 264–268.
35. Сумарокова Н.Н. Определение оптимальной цены за обучение при приеме студентов в ВУЗ / Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. // Сб. научн. трудов. В 2-х томах. Т.1. Техническая кибернетика. – Ангарск, АГТА, 2005. – С. 306–311.
36. Истомин А.Л. Оптимизация плана приема студентов в вуз / Истомин А.Л., Сумарокова Н.Н. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XVIII Международной научной конференции – ММТТ-18, Казань, 2005. – С. 208–212.
37. Истомин А.Л. Декомпозиция задачи оптимизации функционирования вуза / Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XVII Международной научной конференции – ММТТ-17. Кострома, 2004. – С. 128–131.
38. Истомин А.Л. Календарное планирование учебного процесса сетевыми методами / Истомин А.Л., Баденников В.Я., Кривов М.В., Чечулин О.П. // Сб. научн. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА. 2003. – С. 21–28.
39. Истомин А.Л. Постановка задачи оптимизации учебного плана в ВУЗе в условиях ограниченных ресурсов / Истомин А.Л., Баденников В.Я., Кривов М.В., Чечулин О.П. // Сб. научн. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА, 2003. – С. 17–20.

40. Истомин А.Л. Оптимизация учебного процесса в ВУЗе в условиях ограниченных ресурсов / Истомин А.Л., Бадеников В.Я. // Сб. научн. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА, 2003. – С. 9–16.
41. Бадеников В.Я. К вопросу управления деятельностью ВУЗа с позиций системного анализа / Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // Сб. научн. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА, 2003. – С. 5–8.
42. Истомин А.Л. Оптимизация учебного плана в вузе в условиях ограниченных ресурсов / Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XV Международной научной конференции – ММТТ-15, Тамбов, 2002.
43. Истомин А.Л. Критерии оптимальности функционирования вуза / Истомин А.Л. // Математические методы в технике и технологиях: Сб. трудов XIV Международной научной конференции – ММТТ-14, Смоленск, 2001.
44. Истомин А.Л. Методы теории нечетких множеств в оперативном управлении вузом / Истомин А.Л., Бадеников В.Я., Кривов М.В., Соснин А.В. // Сб. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА. 2001. – С. 24–32.
45. Истомин А.Л. Задачи математического программирования в планировании деятельности вуза / Истомин А.Л., Бадеников В.Я., Кривов М.В., Соснин А.В. // Сб. трудов: Естественные и технические науки. – Ангарск, АГТА, 2001. – С. 14–23.
46. Кривов М.В. Информационное обеспечение процесса моделирования сложных технологических процессов. / Кривов М.В., Бадеников В.Я., Истомин А.Л. // В сб. научн. Трудов: Наука, Технологии, Образование, Ангарск, 2000. – С. 35–39.
47. Истомин А.Л. Экономические критерии эффективности функционирования ВУЗа / Истомин А.Л., Бадеников В.Я., Томин В.П. Дец С.В. // В сб. научн. трудов: Наука, Технологии, Образование, Ангарск, 2000. – С. 30–34.
48. Кривов М.В. Многоприоритетная система машинного моделирования / Кривов М.В., Истомин А.Л. // В сб.: Информационные технологии в моделировании и управлении – Тез. докл. Международной научно-технической конференции. С-Петербург, 1996.
49. Истомин А.Л. Математическое описание технологических процессов на основе качественной информации / Истомин А.Л. // В сб.: Современные технологии и научно-технический прогресс. – Тез. докл. научно-технической конференции АГТИ, Ангарск, 1997. – С. 108–110.
50. Истомин А.Л. Планирование загрузки преподавательского состава и обеспечение студентов аудиториями / Истомин А.Л. // В сб.: Современные технологии и научно-технический прогресс. – Тез. докл. научно-техн. конф. – Ангарск, 1999. – 60 С.

Алгоритмы и программы

51. Информационная система «Оптимизация учебного плана вуза». Свид. об отрасл. рег. разработки № 11934. // Засухина О.А., Истомин А.Л. Зарег. 16.12.2008.
52. Программа графоаналитического метода планирования и управления процессами создания технических систем и сложных объектов (научных исследований, проектирования, монтажа и т.д.). Свид. об отрасл. рег. разработки № 10416. // Истомин А.Л., Засухина О.А., Запевалин В.А. Зарег. 15.04.2008.
53. Программа по автоматизации принятия решений при приеме студентов в вуз. Свид. об отрасл. рег. разработки № 11273. // Засухина О.А., Сумарокова Н.Н., Истомин А.Л. Зарег. 31.07.2008.

Подписано в печать 24.01.12. Формат 60x90 1/8. Печать трафаретная.
Усл.печ.л. 2. Уч. печ.л. 2. Тираж 100 экз. Заказ 2061 .