

ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



Чугунов Александр Петрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СЕТЕВЫМИ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ПРОГРАММАМИ ВУЗОВ С УЧЕТОМ
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ СТУДЕНТОВ**

Специальность: 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических
системах» (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Столбов Валерий Юрьевич

Пермь, 2018

Оглавление

Список сокращений	5
Введение.....	7
1. Концептуальная модель управления образовательными программами при сетевом взаимодействии вузов	16
1.1. Аналитический обзор по проблеме организации сетевого взаимодействия вузов	16
1.2. Концептуальная модель сетевой образовательной программы и процесса взаимодействия участников при её реализации	30
1.3. Концептуальная постановка задачи управления индивидуальными учебными планами студентов.....	37
1.4. Выводы по главе	42
2. Математическая модель управления индивидуальными учебными планами студентов при сетевом взаимодействии вузов	45
2.1. Математическая формулировка задачи первоначального составления индивидуальных учебных планов	45
2.2. Математическая формулировка задачи корректировки индивидуальных учебных планов	50
2.3. Обоснование выбора метода решения задачи поиска оптимального набора индивидуальных учебных планов студентов.....	51
2.3.1. Генетические алгоритмы	53
2.3.2. Метод ветвей и границ.....	58
2.3.3. Метод роя частиц.....	60
2.3.4. Метод имитации отжига	62

2.3.5. Муравьиный алгоритм	66
2.4. Выводы по главе	69
3. Разработка прототипа информационной системы управления сетевыми образовательными программами на основе генетического алгоритма	72
3.1. Особенности применения генетического алгоритма	72
3.2. Пример постановки задачи составления индивидуальных планов студентов при реализации сетевой образовательной программы магистратуры.....	74
3.3. Поиск точного решения тестовой задачи составления индивидуальных образовательных планов студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе	77
3.4. Определение оптимальных параметров генетического алгоритма для задачи управления сетевыми образовательными программами.....	81
3.5. Требования, предъявляемые к прототипу информационной системы	95
3.6. Описание архитектуры прототипа информационной системы	97
3.7. Выбор программной технологии.....	100
3.8. Выводы по главе	102
4. Апробация применения информационной системы принятия решений при управлении индивидуальными учебными планами студентов	104
4.1. Описание сетевой образовательной программы	104
4.2. Демонстрационный пример решения частной задачи управления индивидуальными учебными планами студентов	109

4.3. Демонстрационный пример применения информационной системы для решения общей задачи управления индивидуальными учебными планами студентов.....	115
4.4. Выводы по главе	120
Заключение	122
Список литературы	125
Приложение 1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	141
Приложение 2. Акт внедрения результатов диссертационной работы в коммерческий продукт	142
Приложение 3. Акт внедрения результатов диссертационной работы в ПНИПУ	143

Список сокращений

API – application programming interface (интерфейс программирования приложения)

IaaS – инфраструктура как сервис

MVC – Model view controller

PSO – particle swarm optimization (метод роя частиц)

АСУ – автоматизированные системы управления

БД – база данных

БЗ – база знаний

ВО – высшее образование

ВУЗ – высшее учебное заведение

ГА – генетический алгоритм

ИС – информационные системы;

ИАС – информационно-аналитическая система

ИВС – информационно-вычислительные системы (российская группа компаний, основанная в 1990 году и занимающаяся созданием комплексных информационных систем, а также оказанием других ИТ-услуг);

ИОТ – индивидуальная образовательная траектория

ИПУ РАН – Институт проблем управления Российской академии наук

ИУП – индивидуальный учебный план

ИТ – информационные технологии;

НИУ - национального исследовательского университета

НОЦ - научно-образовательный центр

ПО – программное обеспечение

ЛПР – лицо, принимающее решение;

МППР – модель поддержки принятия решений

РАН - Российская академия наук

СОП – сетевая образовательная программа

УП – учебный план

УПВ – учебный план вуза

ФГОС – федеральный государственный образовательный стандарт

ЦОД – центр обработки данных

ЭВМ – электронная вычислительная машина.

Введение

Актуальность исследования. Современные мировые и российские условия требуют от специалистов наличия высокой квалификации, готовности к продуктивной творческой профессиональной деятельности, способность комплексно сочетать исследовательскую, проектную и предпринимательскую деятельность для поддержания их конкурентоспособности [15]. Эффективным механизмом формирования данных качеств в системе высшего образования является сетевое взаимодействие вузов, позволяющее повысить качество подготовки выпускников без дополнительных материальных затрат, а за счет более эффективного использования имеющихся совместных ресурсов [49].

В соответствии с новым законом об образовании в РФ устанавливается возможность применения сетевой формы реализации вузовских образовательных программ, которая подразумевает совместную деятельность образовательных организаций с использованием при необходимости ресурсов организаций науки, культуры, физкультурно-спортивных и иных организаций, в том числе посредством разработки и реализации совместных образовательных программ и учебных планов [105]. Целями такого взаимодействия являются:

1. повышение эффективности использования ресурсов организаций, реализующих сетевое взаимодействие;
2. повышение образовательной мобильности студентов;
3. повышение качества образования.

Так как до этого в связи с отсутствием нормативно-правовой базы подобное взаимодействие в российской высшей школе практически отсутствовало, отсутствует и значительный опыт в организации сетевой формы взаимодействия вузов и управления этим взаимодействием. Хотя в зарубежных университетах такая форма взаимодействия вузов существует

достаточно давно и показала хорошие результаты в области формирования ключевых профессиональных и дополнительных общекультурных компетенций студентов, связанных с образовательной мобильностью и способностью адаптации к другой социо-культурной среде [107]. Некоторые вузы Европы и США даже обязывают своих студентов освоить часть образовательной программы в других вузах, считая, что это повысит их качество образования и позволит им легче адаптироваться в профессиональную среду после окончания обучения в университете [18].

Основными сложностями широкого использования зарубежного опыта в российских вузах являются необходимость проектирования совместных сетевых образовательных программ [102] и формирование индивидуальных образовательных траекторий для всех студентов-участников сетевого обучения [67], что, в свою очередь, требует разработки специальных автоматизированных информационных систем управления сетевыми образовательными программами. Поэтому актуальными являются принципы организации сетевого взаимодействия, вопросы проектирования [75] и условия реализации сетевых программ [112], анализ роли вуза в академической сети и учет интересов студентов, участвующих в освоении сетевых образовательных программ [65].

Вопросам организации сетевой формы взаимодействия вузов посвящены работы таких зарубежных и отечественных исследователей как С.В. Бахвалова, О.Г. Берестневой, О.В. Марухиной [14], Е.Б. Весны, А.И. Гусевой [27,28], Ю.П. Ехлакова, М.П. Силича, Б.С. Ахметова [46], В.С. Заседателя, М.А. Лощилова [49], Л.А. Косолаповой [70], А.А. Мицеля, Н.В. Черняевой [80], Д.В. Пестрикова [87], Ю.П. Похолкова, С.В. Рожковой, К.К. Толкачевой [92], Д.Н. Пушкарева [93], В.И. Шипулина [116], Ruiz Corbella [137], Marjan Laal [134], Jerald J., Asokan P., Prabakaran G., Saravanan R. [131], George C. Scott [124].

Особое место уделяется вопросам управления индивидуальными образовательными траекториями (ИОТ) студентов в рамках реализации

сетевых образовательных программ, которые нашли своё освещение в работах Р.М. Асадуллина [9], Л.И. Васильева [8], А.И. Глущенко [34], Е.А. Солодовой, П.Г. Сороколетова [36], В.А. Рудакова, Э.Ф. Зеера, Э.Э. Сыманюка [52] и других исследователей. Однако эти вопросы до сих пор не решены в полном объеме, особенно для сетевой реализации образовательных программ, вследствие того, что задача управления ИОТ относится к классу пр-сложных задач теории расписаний [9] и требует разработки специальных математических методов поиска допустимых решений. При этом данная задача еще больше усложняется в связи с необходимостью учета человеческого фактора, в качестве которого выступают нечеткие предпочтения студентов при формировании своей ИОТ. При реализации вузом одновременно нескольких сетевых программ возникает необходимость многократного формирования и корректировки индивидуальных учебных планов (ИУП) студентов, что, в свою очередь, обуславливает настоятельную потребность разработки автоматизированной системы управления на основе интеллектуальных алгоритмов поддержки принятия решений. Существующие информационные системы, решающие подобные интеллектуальные задачи или задачи в других предметных областях, рассмотренные в работах В.В. Андреева, Н.В. Герова [4], С.А. Баркалова, О.С. Переваловой, Н.В. Саниной [11], С.В. Бахвалова, О.Г. Берестневой, О.В. Марухиной [14], В.Н. Буркова [21], Т.Н. Гурьяновой, Л.К. Каримовой [37], А.В. Ермакова [43], Ю.П. Ехлакова, М.П. Силича, Б.С. Ахметова [46], Н.А. Коргина [22, 69], А.В. Ляхова, Е.А. Свистуна [78], О.В. Пешковой [88], А.Л. Шестакова, О.В. Логиновского, А.А. Максимова, К.С. Халдина [76], Л.Н. Ясницкого [118, 119], D. Gale, L.S. Shapley [123] Karoon Suksonghong, Kittipong Boonlong, Kim-Leng Goh [132], Wiesemann W., Kuhn D., Rustem B. Ann [138], не могут полностью решить рассмотренные выше задачи вследствие особенностей организации образовательных систем вуза и требований федеральных государственных стандартов высшего образования (ФГОС ВО). В связи с этим предложенная тема исследования

является важной и актуальной, решение которой требует разработки новых эффективных механизмов и инструментов управления.

В связи с этим, *целью работы* является повышение эффективности управления сетевым взаимодействием при реализации образовательных программ вузов за счет применения интеллектуальных методов и алгоритмов поддержки принятия решений.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие *задачи*:

1. Построить концептуальную модель взаимодействия вузов при реализации сетевой образовательной программы с учетом ее модульной структуры и требований ФГОС ВО.
2. Разработать математическую модель управления сетевым взаимодействием вузов в рамках индивидуализации учебного процесса с учетом пожеланий студентов, которые могут быть нечеткими и изменяться в процессе обучения.
3. Разработать эффективный алгоритм управления сетевыми формами взаимодействия в рамках индивидуализации учебного процесса и реализовать его в виде прототипа автоматизированной системы поддержки принимаемых решений.
4. Апробировать предложенные методы и алгоритмы, а также разработанный прототип автоматизированной системы управления в рамках реализации сетевых образовательных программ вуза.

Объектом исследования является система управления сетевой образовательной программой вуза.

Предметом исследования выступают модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений, учитывающие нечеткие предпочтения студентов при реализации сетевых образовательных программ вуза.

Методы исследования базируются на теории системного анализа, теории управления организационными системами, теории комбинаторной и эвристической оптимизации, а также теории искусственного интеллекта.

Научная новизна. В работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Концептуальная модель взаимодействия вузов при реализации сетевой образовательной программы, отличающаяся наличием функций автоматизированного формирования ИОТ с учетом требований ФГОС ВО и специфических условий каждого вуза (соответствует пункту 2 паспорта специальности).

2. Новая математическая модель формирования индивидуальных учебных планов, учитывающая пожелания студентов, которые могут быть нечеткими и изменяться в процессе обучения, которая включает математическую постановку задачи дискретной оптимизации и метод её решения на основе генетического алгоритма (соответствует пункту 10 паспорта специальности).

3. Прототип автоматизированной системы, позволяющий осуществлять интеллектуальную поддержку управляющих решений при построении и корректировке индивидуальных учебных планов студентов (соответствует пункту 5 паспорта специальности).

Практическая значимость работы состоит в следующем:

Полученные результаты позволяют повысить эффективность управления сетевым взаимодействием вузов в современной системе высшего образования за счет применения интеллектуальных средств поддержки принятия решений при построении и корректировке индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе и определении наиболее оптимальной совокупности индивидуальных учебных планов с точки зрения удовлетворения потребностей студентов и выполнения ограничений на ресурсы вузов.

Реализация и внедрение результатов работы

Исследования по данной работе проводилась в рамках международного проекта «Темпус», в котором участвовали 4 российских и 3 зарубежных вуза. Разработанное программное обеспечение по построению и корректировке индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе, используется в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) при управлении сетевым взаимодействием вузов. Результаты исследований внедрены в учебный процесс подготовки студентов по направлению 09.04.04 – Информационные системы и технологии, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Разработанное программное обеспечение входит в состав коммерческого информационного продукта «ИАС Университет» (разработчик - группа компаний ИВС), который внедряется в различных вузах, в том числе: ПНИПУ, Пермский государственный медицинский университет и Уральский государственный лесотехнический университет.

Апробация работы

Материалы диссертационной работы докладывались и обсуждались на: **всероссийских конференциях и школах-семинарах молодых ученых** «Управление большими системами» (Уфа 2013; Арзамас 2014; Волгоград 2015; Пермь 2017).

всероссийских конференциях «Прикладная математика, механика и процессы управления» (Пермь 2013; Пермь 2014; Пермь 2016).

научных семинарах Магнитогорского ГТУ им. Г.И. Носова и ПНИПУ.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 13 печатных работ, в том числе в 4 изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертационных исследований.

Личный вклад автора. Содержательные и математические постановки задач осуществлялись автором совместно с научным руководителем, в то же время предложенные алгоритмы решения, их экспериментальные

исследования и программная реализация выполнены автором самостоятельно.

Положения, выносимые на защиту:

- Концептуальная модель взаимодействия вузов при реализации сетевой образовательной программы, отличающаяся наличием функций автоматизированного формирования ИОТ с учетом требований ФГОС ВО и специфических условий каждого вуза (соответствует пункту 2 паспорта специальности).
- Новая математическая модель формирования индивидуальных учебных планов, учитывающая пожелания студентов, которые могут быть нечеткими и изменяться в процессе обучения, которая включает математическую постановку задачи дискретной оптимизации и метод её решения на основе генетического алгоритма (соответствует пункту 10 паспорта специальности).
- Прототип автоматизированной системы, позволяющий осуществлять интеллектуальную поддержку управляющих решений при построении и корректировке индивидуальных учебных планов студентов (соответствует пункту 5 паспорта специальности).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из 4 глав, выводов по каждой главе, введения, заключения, списка литературы из 138 наименований; содержит 140 страниц основного текста, 29 рисунков, 13 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи работы, перечислены результаты, полученные в диссертации, определены практическая ценность и области применения результатов, приведены сведения по апробации работы и представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы приводится концептуальная модель взаимодействия вузов при реализации сетевой образовательной программы (СОП), включающая концептуальную модель самой сетевой образовательной программы и процесса взаимодействия участников при её реализации, а также концептуальные постановки задач первоначального построения индивидуальных учебных планов (ИУП) студентов и последующей их корректировки с учетом нечетких пожеланий студентов. В главе приведен аналитический обзор существующих методов управления сетевым взаимодействием в образовательных системах и методов решения задачи составления расписаний.

Во второй главе диссертационной работы описывается математическая модель управления индивидуальными учебными планами студентов при сетевом взаимодействии вузов, учитывающая пожелания студентов, которые могут быть нечеткими и изменяться в процессе обучения.

В главе 3 диссертационной работы приводится алгоритм решения задачи управления индивидуальными учебными планами студентов при сетевом взаимодействии вузов, в основе которого лежат генетические алгоритмы. Описан процесс и приведены результаты настройки генетического алгоритма, подбор его параметров. На основе демонстрационного примера сделан вывод о применимости разработанного алгоритма. Также описывается его реализация в виде прототипа информационной системы: её архитектура, взаимодействие составных компонентов и используемые программные технологии.

В главе 4 диссертационной работы описывается апробация предложенных моделей и алгоритмов, реализованных в виде прототипа интеллектуальной информационной системы поддержки принятия управленческих решений при освоении студентами СОП вузов. Рассмотрены демонстрационные примеры управления индивидуальными учебными планами студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе, с учетом их предпочтений и социальных преимуществ.

В приложении приведены копии актов внедрения результатов работы, подтверждающих практическую ценность проведенных исследований, а также копия свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

1. Концептуальная модель управления образовательными программами при сетевом взаимодействии вузов

1.1. Аналитический обзор по проблеме организации сетевого взаимодействия вузов

Федеральный закон от 29 декабря 2012 года №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» устанавливает возможность реализации образовательных программ в сетевой форме.

В законе под сетевой формой реализации образовательных программ понимается организация обучения с использованием ресурсов нескольких организаций, осуществляющих образовательную деятельность, в том числе иностранных, а также, при необходимости, с использованием ресурсов иных организаций.

Сетевая форма реализации не является обязательной и может применяться вузами для обеспечения необходимого уровня подготовки выпускников. Можно выделить следующие преимущества вузов при применении сетевой формы для реализации образовательных программ, в частности [26]:

- за счет применения сетевой формы повышается качество образования за счет того, что лучший опыт ведущих зарубежных и отечественных образовательных организаций, в том числе в области профессиональной подготовки кадров, аккумулируется, образовательные программы актуализируются с учетом уровня и особенностей ресурсного обеспечения реальной профессиональной деятельности;
- в течение определенного времени обучающиеся осваивают образовательную программу за пределами своей образовательной

организации, что способствует развитию их личностных качеств, компетенций устной и письменной коммуникации, в случае международных образовательных программ, и на иностранном языке, развивает способность адаптироваться к иной образовательной среде, традициям и педагогическим подходам, к профессиональной среде;

- границы информированности обучающихся об имеющихся образовательных и иных ресурсах расширяются, что позволяет им сделать осознанный выбор собственной образовательной траектории. В свою очередь это повышает мотивацию к учебе, осознание ответственности за достижение результата;
- повышается эффективность и качество образовательных программ, нацеленных на подготовку специалистов, способных к профессиональной деятельности на стыке различных направлений науки и техники (например, инженерная медицина). Подобные образовательные программы в вариативной части чаще всего выходят за пределы предметной области одного образовательного стандарта и требуют привлечения ресурса научной или профессиональной организации;
- развивается обмен передовым опытом подготовки кадров между различными образовательными организациями, создавая условия для повышения уровня профессионально-педагогического мастерства преподавательских кадров. Это также предоставляет возможность для использования в процессе обучения современной материально-технической и методологической базы.

Существуют различные модели сетевого взаимодействия вузов при подготовке кадров высшей квалификации, например, предложенные в [32]:

- **Модель сетевого взаимодействия в рамках межвузовской кооперации.** Это наиболее простая модель сетевого сотрудничества вузов. Происходит объединение вузов в систему, когда вуз, ранее бывший самостоятельной единицей, начинает восприниматься как одна из ее ячеек образовательной сети, реализующей ту или иную основную образовательную программу ВО (рис 1).

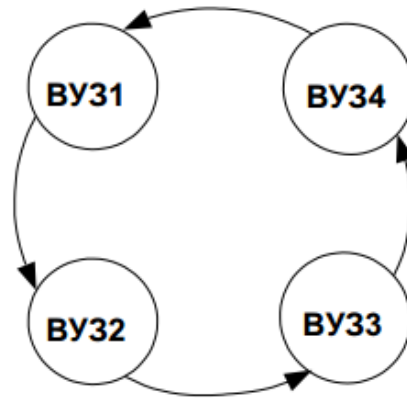


Рис 1. Модель сетевого взаимодействия в рамках межвузовской кооперации

- **Модель сетевого взаимодействия вуза и промышленного предприятия.** Это модель сетевого взаимодействия является одной из наиболее распространенных на текущий момент. В этой модели изучение студентами части образовательной программы осуществляется за счет ресурсов промышленного предприятия. Примером может служить прохождение студентами производственной практики и зачет оценок, полученных от сотрудников предприятия, вузом (рис 2).

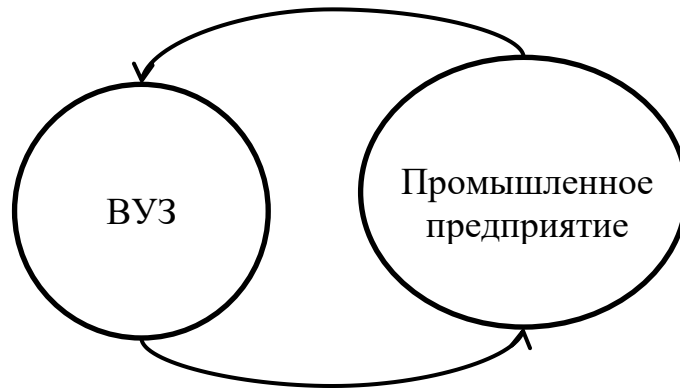


Рис 2. Модель сетевого взаимодействия вуза и промышленного предприятия

- **Региональная модель сетевого взаимодействия вузов на базе НОЦ НИУ.** В данной модели ядром модели сетевого взаимодействия вузов является научно-образовательный центр (НОЦ), созданный на базе национального исследовательского университета (НИУ) совместно с одним из институтов Российской академии наук (РАН) по приоритетному направлению развития науки и техники. Схематично такая модель представлена на рис 3.

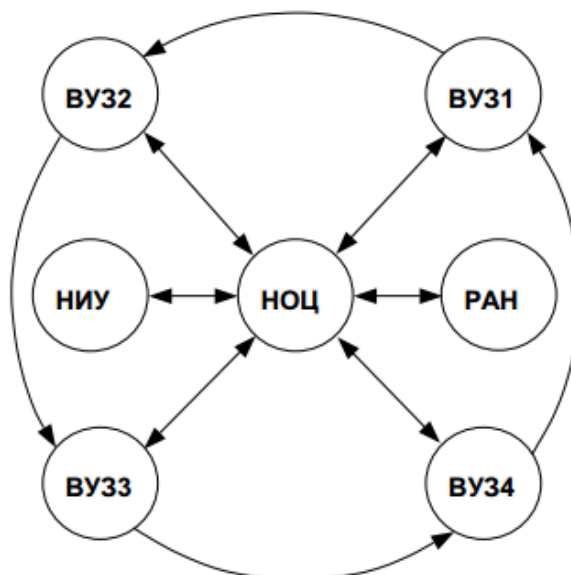


Рис 3. Региональная модель сетевого взаимодействия вузов на базе НОЦ НИУ

- **Модель сетевого взаимодействия вузов на базе сети НОЦ в рамках интеграции науки и образования и межвузовской кооперации.** Данная модель объединяет первые две модели и представлена на рис 4. Те НОЦ, которые основаны на базе НИУ, в рамках общей сети могут создавать локальные сети, тем самым расширяя возможности сетевого взаимодействия и создавая условия для более полного удовлетворения потребностей каждого обучаемого в реализации индивидуальной образовательной траектории.

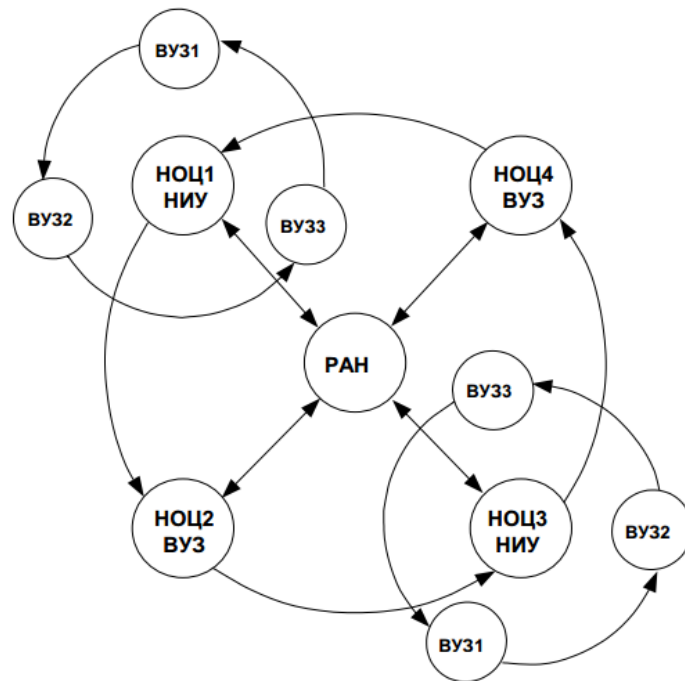


Рис 4. Модель взаимодействия вузов на базе сети НОЦ по приоритетному направлению развития научно-технических кадров России.

Примером реализации 2-х последних моделей может служить сетевое взаимодействие между рядом ведущих российских вузов, создавших НОЦы совместно с Институтом проблем управления РАН и реализующих совместные образовательные программы [55, 104, 68, 7]. При реализации подобной сети следует отметить большую организующую роль ИПУ РАН и лично его директора, чл.-корр. РАН, профессора Д.А. Новикова, стоявшего у истоков такого взаимодействия [85, 84, 83, 82].

В данной диссертационной работе будем рассматривать только модель сетевого взаимодействия в рамках межвузовской кооперации, хотя полученные результаты могут быть использованы и при других моделях взаимодействия. Такая модель является относительно простой в реализации, обеспечивая при этом широкое поле формирования индивидуальных траекторий за счет вариативной части образовательной программы.

Любая из приведенных моделей требует организации сетевого взаимодействия, включая проектирование [29] и реализацию образовательных программ [30], определения роли каждого вуза в академической сети и учет интересов студентов, участвующих в освоении сетевых образовательных программ [31]. В данной работе считается, что этап проектирования образовательной программы пройден и особое внимание уделяется этапу управления индивидуальными образовательными траекториями студентов с учетом их интересов и ограничений вузов.

Образовательную программу, реализуемую в сетевой форме, будем называть сетевой образовательной программой (СОП) [111]. Учебные блоки СОП могут быть достаточно большими и непригодными для организации сетевого взаимодействия (к примеру, изучения части материала в другом вузе). С целью повышения гибкости взаимодействия нескольких организаций, реализующих СОП, учебные блоки, как правило, дополнительно разбиваются на учебные модули [101]. Последний блок, обычно, включает в себя государственную итоговую аттестацию и выдачу документа об образовании. При этом он проводится в организации, осуществляющей образовательную деятельность, в которую зачислен обучающийся (базовый вуз для студента). Более подробно предлагаемая структура СОП описана в разделе 1.2 данной работы.

В данном случае число вузов-участников сетевого взаимодействия может быть более двух, но с каждой из организаций-партнеров должны быть заключены соответствующие договора.

Такой подход позволяет реализовывать образовательные программы на стыке различных областей профессиональной деятельности. При построении таких совместных образовательных программ особенно важно, прежде всего, привлечение научно-педагогических ресурсов различных образовательных организаций.

Считается, что студенту предоставляется право самостоятельного выбора необходимых учебных модулей для освоения в другой, в том числе зарубежной образовательной организации.

Однако это приводит к необходимости решения задачи построения индивидуальных учебных планов студентов. Появление такой задачи связано с ограниченными возможностями вузов: в случае, если все студенты выберут один и тот же вуз для изучения того или иного учебного модуля, вероятнее всего, возможности этого вуза не позволят принять такое количество студентов. Также, из-за дисбаланса количества студентов в вузах, потребуется решение задачи балансировки финансирования вузов. Как следствие, наиболее распространенным является механизм «взаимозачетов»: количество студентов, которых вуз отправляет в другие образовательные организации, должно быть приблизительно равно количеству студентов, которые прибывают в этот вуз для изучения учебного модуля.

Следует отметить, что задача составления индивидуальных учебных планов носит более широкий характер: в общем случае индивидуальные учебные планы должны также учитывать особенности конкретных студентов устанавливая наиболее предпочтительный состав и порядок изучаемых дисциплин [33]. Основу для решения данной задачи составляет система тестирования, которая позволит объективно оценивать уровень подготовки студента. В рамках обучения в одном вузе построение такой системы решалось в разных работах, их примеры для очного и дистанционного образования можно найти в [29, 34]. В данной же работе принимается, что студенты обладают всей необходимой информацией и действуют рационально, т.е. в их предпочтениях уже учтены их особенности для

формирования наиболее оптимальных индивидуальных учебных планов. Рассмотренные информационные системы и механизмы также могут быть использованы в качестве рекомендаций для формирования предпочтений студентов.

В виду того, что все предпочтения студентов по выбору учебных модулей и вузов для их изучения не всегда могут быть удовлетворены, задачу построения индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе, упрощенно можно сформулировать следующим образом. Требуется найти такую совокупность индивидуальных учебных планов студентов, которая бы максимально удовлетворяла пожеланиям студентов, при этом удовлетворяла бы предъявленным ограничениям вузов.

Приведенную задачу построения индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе, можно отнести к задаче составления расписания, т.к. требуется найти оптимальное распределение студентов с учетом ряда ограничений.

Как правило, задача составления расписания, тем более с учетом предпочтений, является достаточно сложной для решения вручную [24, 30] и для её решения применяются различные подходы [11, 21], наиболее распространенные из которых [38]:

- Классические методы (теория графов, целочисленное линейное программирование и т.д.)
- Эвристические (генетические алгоритмы, метод отжига, метод муравьиных колоний и т.д.)
- Мультиагентные системы.

Существует также и большое количество систем, уже решающих задачу автоматического составления расписания, например, «Астра», «1С: ХроноГраф Расписание», «АВТОРасписание» и др.

Практика показывает, что среди существующих систем больше тех, которые используются для первоначальной расстановки предметов и элементов расписания (обычно от 40 до 70 %) с последующей ручной доработкой [106].

Идея применения классической теории графов для задачи составления расписания состоит в следующем. Составляется граф, вершинами которого являются занятия. Вершины соединяются ребром, если занятия нельзя проводить одновременно. В этом случае задачу составления расписания можно свести к задаче нахождения правильной раскраски полученного графа минимальным количеством цветов [51].

В силу особенности задачи составления достаточно распространено применение эвристических методов для её решения [24], в том числе основанных на нейросетевых технологиях [118, 119]. К таким методам можно отнести метод имитации отжига, генетические алгоритмы, нейросети и др. Укрупненно метод имитации отжига применительно к рассматриваемой задаче можно представить следующим образом [98]:

1. На первой итерации алгоритм генерирует некоторое начальное корректное решение Z^0 (оно считается текущим $Z = Z^0$) и для этого решения задается начальное высокое значение контрольного параметра температура T^0 .
2. Далее происходит мутация расписания: может изменяться время проведения занятия или аудитория, или перестановка занятий в расписании. В итоге генерируется новое корректное расписание Z' .
3. Вычисляется целевая функция $\Delta f = f(Z') - f(Z)$. Если новое решение лучше предыдущего ($\Delta f \leq 0$), то оно его заменяет. Если же оно хуже ($\Delta f > 0$), то вероятность того, что оно заменит предыдущее определяется формулой $p = e^{-\Delta f/T}$.

4. Происходит изменение текущей температуры. Температура, а вместе с ней и вероятность замены старого решения новым уменьшается с каждой итерацией (или через несколько итераций).
5. Пока не выполнен критерий остановки переход к пункту 2. В качестве критерия остановки можно использовать заданное число итераций без улучшения значения целевой функции.

Мультиагентные системы — это системы, состоящие из автономных интеллектуальных агентов, которые взаимодействуют друг с другом, и внешней среды, в которой агенты существуют и на которую также могут влиять. Как правило, имеются в виду программные системы или модели, описывающие процесс их работы, их поведение. Тогда агентом является программный агент (то есть, исполняемая программа с особыми характеристиками) или абстрактный интеллектуальный агент, например, экономический агент (то есть, модель, формализованное описание действующего лица реальной системы) [48].

Классическое применение агентного подхода к задаче составления табличного расписания состоит в том, чтобы поставить каждому пользователю расписания в соответствие агента. Цель каждого агента — найти такое расписание, которое:

- Соответствовало бы всем ограничениям (задачи и самого пользователя);
- имело бы наибольший уровень пользы для пользователя;
- не противоречило расписаниям других пользователей.

Существует несколько типов алгоритмов составления расписания, построенных по агентному принципу. Первый тип использует экономическую модель в том или ином виде. Как правило, в моделях таких алгоритмов взаимодействие агентов происходит в рамках некоторого аукциона. Для получения какой-либо ресурса они должны выиграть торги за этот ресурс у других агентов. Данные торги проводятся с помощью «денег»,

участники, при этом, делятся на продавцов и покупателей. Задача продавцов – контроль распределения ресурсов; покупателей – используя свои ограниченные денежные ресурсы, максимизировать свою функцию полезности путем приобретения у продавцов ресурсов. Такие алгоритмы предназначены для применения в автоматических электронных аукционах и электронной коммерции. В рамках данного подхода возможно применение неманипулированных механизмов планирования, что делает алгоритмы еще более привлекательными [23, 69]. Основной недостаток таких алгоритмов – в необходимости адаптации исходной задачи к рыночной модели, что не всегда удаётся сделать.

Второй тип алгоритмов предлагает методы для решения распределённых задач удовлетворения ограничений (Distributed Constraint Satisfaction Problem - DisCSP). Обычная нераспределённая задача удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problem – CSP) состоит из n переменных x_1, x_2, \dots, x_n , чьи значения берутся из конечных дискретных множеств D_1, D_2, \dots, D_n и набора ограничений на переменные. Ограничение задается предикатом. То есть ограничение $p_k(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kj})$ – предикат, определённый на декартовом произведении $D_{k1} \times D_{k2} \times \dots \times D_{kj}$. Этот предикат истинен тогда и только тогда, когда все его переменные удовлетворяют его ограничению. Решить CSP означает найти значения всех переменных такие, что все ограничения выполнены [10].

Поставленная задача также схожа с задачей нахождения обобщенных паросочетаний [63], которая предполагает учёт предпочтений отдельных игроков при выборе распределения. Одной из первых постановок задач такого класса была задача распределения абитуриентов по колледжам в США, поставленная в 1962 году Дэвидом Гейлом и Ллойдом Шепли в статье «Поступление в колледж и стабильность браков» [123]. Задачу можно сформулировать следующим образом: имеется некоторое количество абитуриентов и колледжей. Каждый колледж способен составить рейтинг

абитуриентов по предпочтительности для набора. Каждый абитуриент, в свою очередь, также может составить список колледжей, упорядоченный по привлекательности для поступления. Допускается также ситуация, когда абитуриент может отказаться от обучения в отдельных колледжах («лучше уж нигде не учиться»), и, аналогично, каждый колледж может считать отдельных абитуриентов неприемлемыми для данного колледжа. Кроме того, число мест в каждом колледже ограничено, ограничения в каждом колледже свои. Требуется распределить абитуриентов по колледжам с учетом предпочтений всех участников и ограничений вузов [3].

Математически условие задачи можно представить следующим образом. Пусть $A = \{a_1, \dots, a_m\}$ – множество абитуриентов, $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ – множество колледжей. У каждого абитуриента есть предпочтения a_i на множестве колледжей, их можно представить в виде упорядоченного списка $P(a_i)$ элементов множества $C \cup \{a_i\}$. Аналогично предпочтения колледжа c_i выражаются упорядоченным списком $P(c_i)$ элементов множества $A \cup \{c_i\}$. Обозначим через P набор предпочтений всех игроков (абитуриентов и колледжей) $P = \{P(a_1), \dots, P(a_m), P(c_1), \dots, P(c_m)\}$.

Предложенный Гейлом и Шепли алгоритм решения задачи содержит ряд итераций:

1. На первом этапе каждый абитуриент подает документы в наиболее привлекательный для него колледж. Если отсутствие образования для него предпочтительнее, то он выходит из игры. Каждый колледж рассматривает все поданные заявления. У наиболее достойных кандидатов, в соответствии с своими предпочтениями и выделенными местами, он принимает документы, заявления остальных отклоняет. Колледжам, у которых нет предложений, остается ждать.
2. На следующем этапе каждый «свободный» (отвергнутый) абитуриент подает заявление в следующей в его списке

предпочтений колледж. Затем каждый колледж сравнивает «старые» и новые заявления, и пересматривает перечень принятых заявлений.

3. Так, этап за этапом, отвергнутые абитуриенты подают заявления в колледжи, двигаясь вниз по своим спискам.
4. Алгоритм прекращает работу, когда больше нет абитуриентов, желающих подать заявления, то есть каждый «свободный» абитуриент подал заявления во все колледжи, которых он предпочитает отсутствию образования, и не был принят.
5. Все абитуриенты с поданными заявлениями зачисляются, а все остальные, если такие имеются, остаются не зачисленными.

Данная постановка схожа с задачей составления индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся по СОП, отмеченной ранее. Однако есть ряд отличий, которые не позволяют использовать алгоритм «Гейла-Шепли» для её решения:

- Ситуация, когда студенты остались не зачисленными ни в один вуз, недопустима.
- Распределение студентов должно осуществляться на каждый учебный модуль в рамках сетевой образовательной программы, при этом требуется учитывать структурно-логические ограничения, т.к. удовлетворение предпочтений на прохождение конкретного модуля может привести к невозможности составления корректного индивидуального учебного плана или снижению общей удовлетворенности студентов от построенных ИУП.

Позже исследования в этом направлении были продолжены другими учеными. Наиболее выдающимися из них являются Элвин Рот и Марильда Сотомайор [136]. В дальнейшем также теория получила развитие в направлении различного задания предпочтений [63]. Также важной

проблемой предложенного подхода является возможность манипулирования, т.е. то, что участник может намеренно исказить свои предпочтения, чтобы получить для себя лучший результат. Исследования этой проблемы на смежных задачах также активно развиваются, примером такой работы является [19]. Однако развитие данной теории по прежнему не позволяет полноценно решить задачу составления индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся по СОП.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

- На данный момент отсутствуют общепризнанные информационные системы и алгоритмы, решающие поставленную задачу – системы нацелены на решение узкого круга задач и не могут быть применены для задачи составления ИУП студентов, обучающихся по СОП.
- При небольших объемах данных преимущество при решении поставленной задачи могут иметь классические методы за счет получения точных решений. Однако при больших объемах данных наиболее приемлемыми являются эвристические методы, среди которых можно выделить генетические алгоритмы. Остальные подходы проигрывают, но исследования в этих направлениях продолжаются [38, 106]. В соответствии с этим, в данной работе классу эвристических методов будет уделено особое внимание при выборе метода решения задачи управления ИУП студентов.

1.2. Концептуальная модель сетевой образовательной программы и процесса взаимодействия участников при её реализации

Будем считать, что вузы при реализации СОП выбирают сотрудника – лицо, принимающее решения, (ЛПР). Данный сотрудник будет являться ответственным за координацию всех участников процесса реализации СОП. В зависимости от конкретной ситуации вместо одного сотрудника может быть создана отдельная группа, в которую будут входить представители каждого вуза и которая выполняет роль коллективного ЛПР. С учетом наличия ЛПР модель процесса организации СОП в нотации BPMN представлена на рис 5.

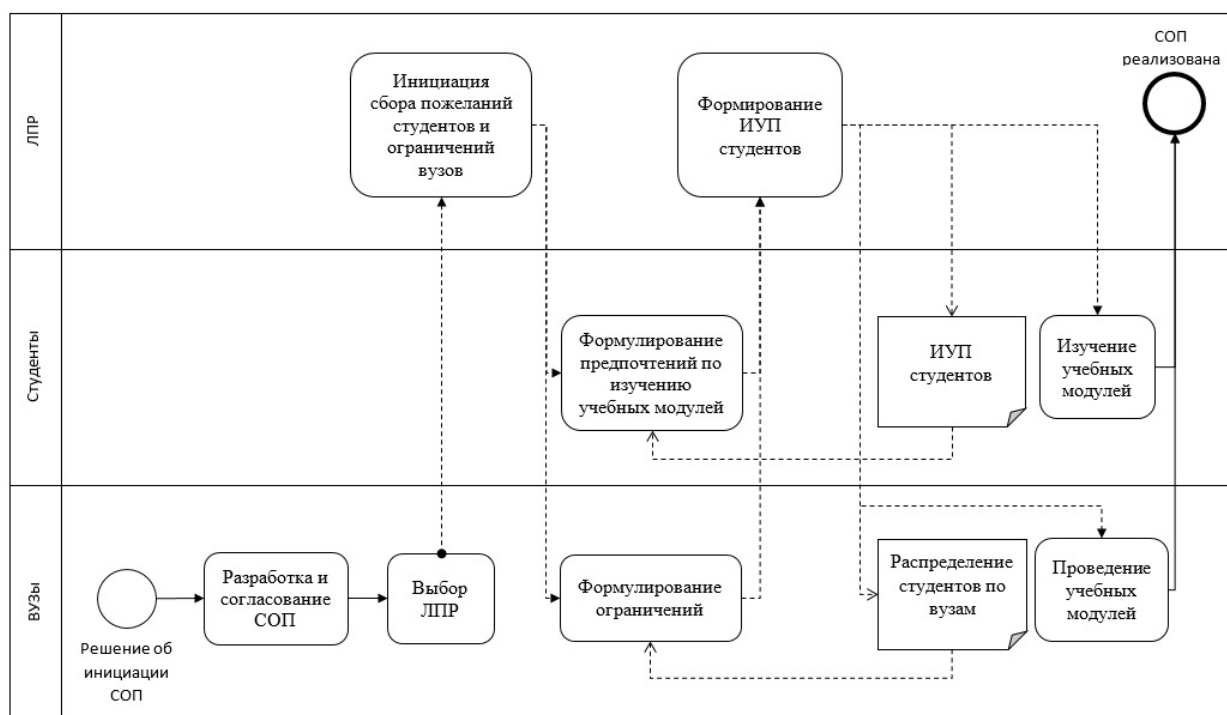


Рис 5. Модель процесса организации СОП

Из рис 5 видно, что моделируемый процесс состоит из нескольких этапов. Укрупненно их можно разбить на подготовительную часть и реализацию СОП. К подготовительной части можно отнести разработку и согласование СОП, выбор ЛПР. Основными шагами реализации СОП

являются формирование предпочтений студентов и ограничений вузов, формирование допустимых ИУП, изучение и проведение учебных модулей.

После открытия СОП и выбора ЛПР, происходит набор студентов. Зачисляются студенты в организацию, осуществляющую образовательную деятельность, на обучение по образовательной программе в сетевой форме по результатам приёма и вступительных испытаний.

После зачисления студенты формулируют свои предпочтения по изучению учебных модулей и построению своих ИУП. На основании предпочтений студентов и ограничений вузов ЛПР формирует ИУП студентов. Далее ИУП может корректироваться в ходе реализации СОП в связи с изменяющимися предпочтениями студентов и ограничениями вузов.

Рассмотрим модель сетевой образовательной программы (СОП), реализуемой в компетентностном формате в рамках федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО). При этом в качестве образовательных целей СОП выступают заявленные компетенции выпускника вуза.

По определению, данному в ФГОС, под компетенцией понимается комплексная характеристика готовности выпускника применять полученные знания, умения и личностные качества в стандартных и изменяющихся ситуациях профессиональной деятельности.

Согласно ФГОС ВО основная образовательная программа (ООП) вуза состоит из учебных блоков, которые состоят из конкретных дисциплин. При этом к каждому учебному блоку есть требования, по формируемым в данном блоке компетенциям. В сумме, полученные после каждого учебного блока, компетенции составляют компетенции выпускника ООП. Структура ООП с использованием стандарта UML 2.0 представлена на рис 6.

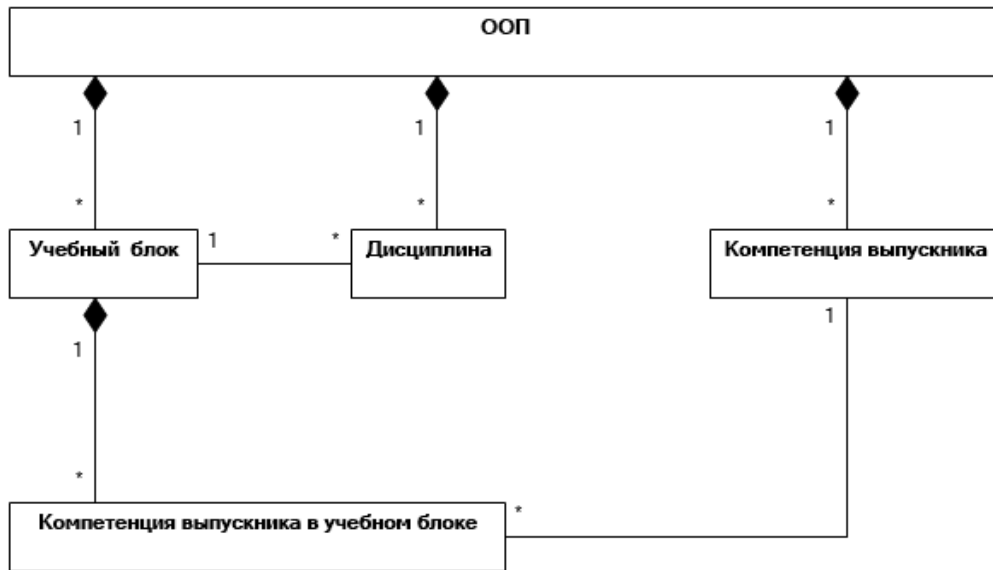


Рис 6. Структура ООП по ФГОС ВО

Учебный план (УП) – документ, содержащий распределение изучаемых дисциплин по всему времени обучения (какая дисциплина в какое время изучается). Дисциплины, при этом, имеют определенные логические зависимости и ограничения. Т.е. для части дисциплин задается определенный порядок: например, дисциплина 1 должна быть изучена позднее дисциплин 2 и 3. В рамках данной работы будем считать, что данные зависимости не могут быть циклическими. Тогда зависимости дисциплин можно представить лесом деревьев. Дерево приведенного примера представлено на рис 7.



Рис 7. Дерево взаимозависимостей дисциплин

Учебные блоки ООП могут быть достаточно большими (к примеру, профессиональный блок) и непригодными для организации сетевого взаимодействия (к примеру, изучения части материала в другом вузе). С целью повышения гибкости взаимодействия нескольких организаций, реализующих СОП, предлагается дополнительно разбить учебный блок на учебные модули [111] (рис 8).

Учебный модуль – блок информации, включающий в себя логически завершенную единицу учебного материала, целевую программу действий и методическое руководство, обеспечивающее достижение поставленных дидактических целей [101]. Учебный модуль позволяет организовать учебный процесс таким образом, что студент самостоятельно способен выстраивать свое обучение, за счет возможности выбора (в рамках ООП) изучаемых модулей и места (вуза) их прохождения.

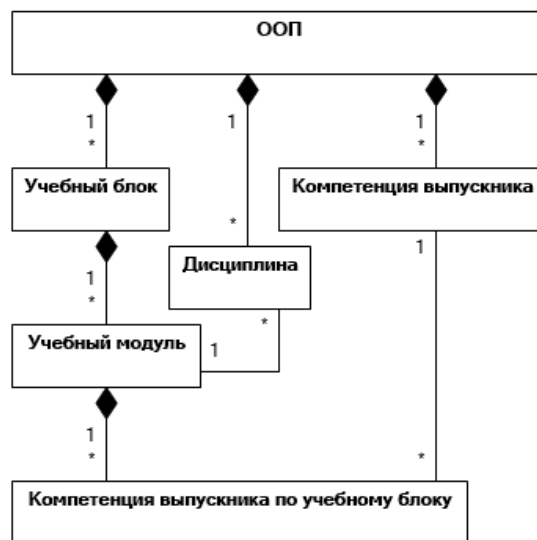


Рис 8. Разбиение учебного блока на учебные модули

Структурная модель СОП, представляющая последовательность учебных модулей, связанных между собой и направленных на формирование заявленных групп компетенций выпускников вузов, показана на рис 9. На данном рисунке учебные модули представляют собой секторы круговой диаграммы, которая описывает структуру СОП. При этом каждому сектору соответствует своя образовательная цель (ОЦ), в качестве которой выступает группа заявленных компетенций выпускника вузов.

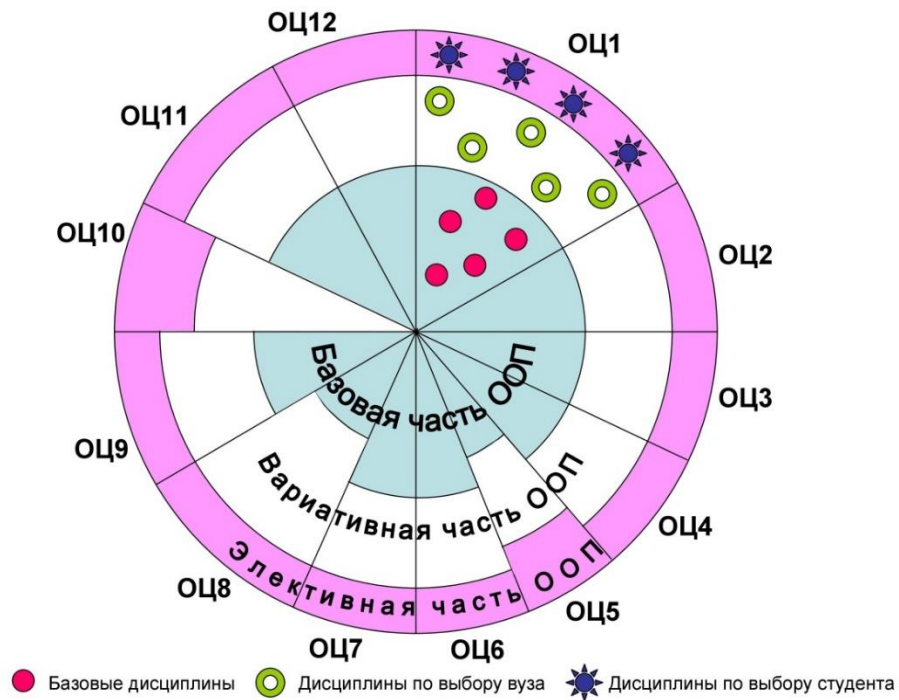


Рис 9. Модульная структура СОП

Учебный модуль (далее модуль) в соответствии с [45] характеризуется:

1. Образовательной целью (ОЦ): набором компетенций, формируемых модулем.
2. Количеством зачетных единиц, получаемых студентом после освоения.
3. Содержанием: набором дисциплин, входящих в модуль.
4. Образовательные технологии освоения учебных дисциплин и формирования компетенций.

Учебный модуль представляет собой более «гибкую» сущность, чем только часть учебного блока: он может объединять и дисциплины разных блоков [32]. В соответствии с этим, структуру ООП в нотации UML 2.0 можно представить упрощенно, без учебных блоков (рис 10).

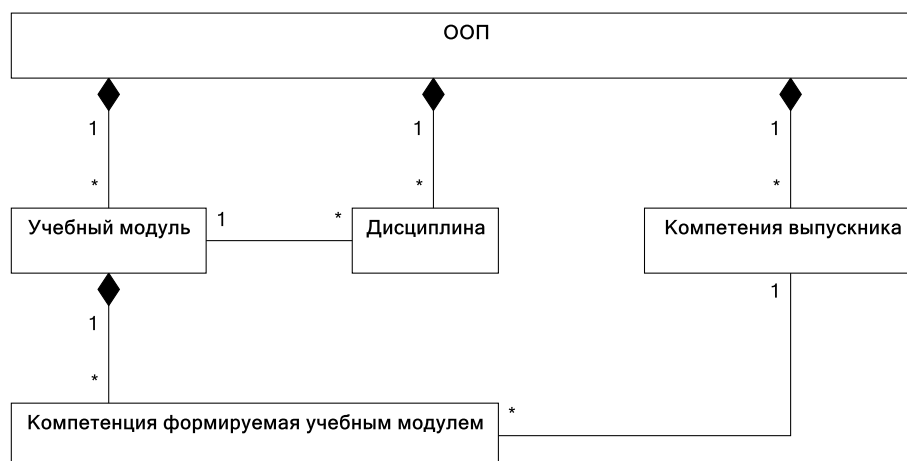


Рис 10. Структура ООП, реализуемой по модульному принципу

При таком разбивании должно соблюдаться требование, что все компетенции ООП (в соответствии с ФГОС) содержатся в компетенциях, формируемых учебными модулями.

Следует отметить, что содержание каждого модуля, как и содержание учебного блока, можно разделить на базовую и вариативную (включает в себя элективную) части. При этом модуль может состоять только из одной части – вторая, при этом, считается пустой. Базовая часть одинакова для одного и того же модуля в любом вузе, содержание вариативной определяется вузом, предлагающим модуль. Содержание элективной части определяется выбором студента. В соответствии с ФГОС, объем всей элективной части должен составлять не менее одной трети от объема всей вариативной части. Для упрощения, будем считать, что элективная часть содержится в каждой вариативной и составляет ее треть (тогда будет удовлетворено требование и к элективной части в целом) [113]. Пример такого распределения представлен на рис 11.

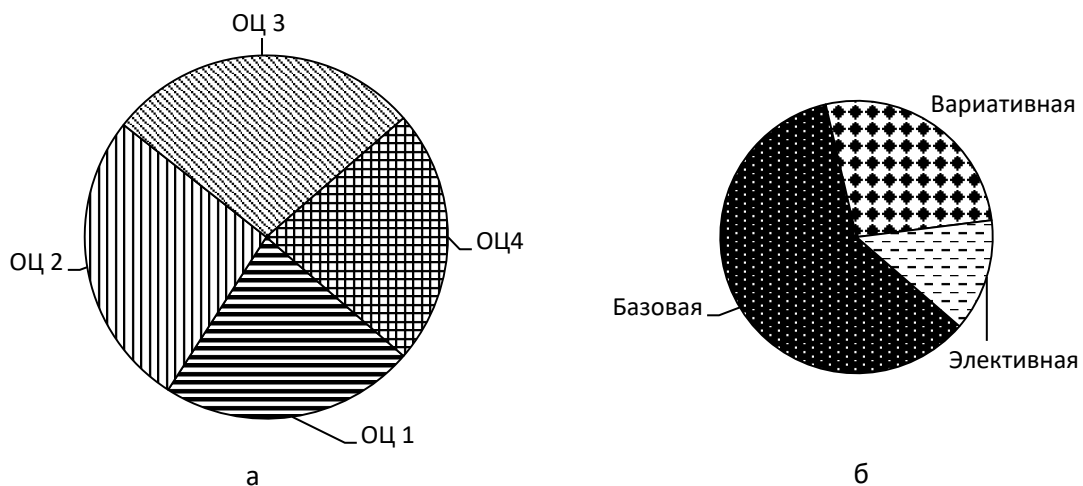


Рис 11. Модульная структура ООП (а)
Содержание образовательного модуля (б)

Так как на дисциплины наложены определенные ограничения на их порядок, следовательно, учебные модули (как агрегирующие объекты) наследуют эти ограничения от своих дисциплин. Т.е. ограничения на порядок модулей определяется ограничениями на наборы их дисциплин.

Для определенности, установим соответствие между зачетными единицами (з.ед.), модулями и семестрами. В один семестр может проходить несколько модулей (последовательно). В нашей работе будем использовать предположение, что в один семестр может пройти от 1 до 2 модулей. В соответствии с ФГОС, трудоемкость ООП по очной форме обучения должна составлять 120 з.ед. (для магистерской программы), 240 (для бакалаврской) и 300 (для специалистов). Тогда трудоемкость учебного года составляет 60 з.ед., следовательно, один семестр соответствует 30 з.ед. Можно принять, что один модуль может иметь трудоемкость, равную 15 (соответствует половине семестра) или 30 (соответствует полному семестру) з.ед. Следует отметить, что при таком подходе не допускается изучение только одного учебного модуля с трудоемкостью 15 з.ед. в течение семестра.

Тогда УП вуза в контексте модульного обучения содержит последовательность модулей, распределенных по всему времени обучения

(какой модуль в какое время изучается). В реализации СОП участвует несколько вузов, каждый из которых представляет свой учебный план. Следовательно, один и тот же модуль по разным учебным планам (в разных вузах) может проходить в разное время (разные семестры).

В соответствии с целями СОП, индивидуальный учебный план студента содержит не только распределение модулей, но и место их прохождения: какой модуль в каком вузе изучается.

1.3. Концептуальная постановка задачи управления индивидуальными учебными планами студентов

Согласно п. 23 ст. 2 Федерального закона № 273-ФЗ индивидуальный учебный план (ИУП) представляет собой учебный план, обеспечивающий освоение образовательной программы на основе индивидуализации ее содержания с учетом особенностей и образовательных потребностей конкретного обучающегося. Организация ИУП может быть различна в зависимости от целей субъектов образования и конкретных условий. Именно поэтому ИУП определяют и организуют по-разному в зависимости от специфики задачи, которая решается с помощью данного инструмента [35].

В случае организации индивидуально-ориентированного подхода к освоению образовательной программы, каждый студент должен сам составить свой индивидуальный план обучения. При этом перед студентом встает ряд проблем: выбор вуза для изучения того или иного модуля, выбор учебных курсов внутри модуля и т.д. [62]. В это время обучающийся может испытывать затруднения, так как выбор влияет на его профессиональный рост и требует учета большого количества факторов. В данных условиях обучения студенту может даже понадобиться консультация или совет

компетентного специалиста – академического консультанта [39]. Будем считать, что студент:

1. заинтересован в получении качественного образования;
2. обладает всей необходимой информацией для принятия решений, в том числе информацией о качестве образовательных услуг в каждом вузе, сведениях о профессорско-преподавательском составе, занятом в образовательном процессе;
3. имеет возможность прохождения любого модуля в любом из вузов, реализующих СОП.

Тогда для ЛПР задача управления ИУП студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе состоит из двух последовательных и независимых задач:

1. первоначальное построение ИУП студентов;
2. корректировка ИУП в ходе обучения в соответствии с внешними и внутренними изменениями.

Под внутренними изменениями будем понимать изменения в желаниях студентов, а под внешними – изменения среды: требований системы образования, возможностей вузов и проч.

Рассмотрим постановку каждой задачи в отдельности.

Задача первоначального построения ИУП может быть сформулирована следующим образом. Необходимо найти такую совокупность ИУП студентов, удовлетворяющую требованиям системы образования, при заданных: учебных планах СОП всех вузов, желаниях студентов, требованиях системы образования – которая бы максимально удовлетворяла потребности студентов при гарантированном качестве подготовки выпускников вузов.

Решение первой задачи является начальным условием для второй задачи – корректировки ИУП в ходе обучения. В рамках нее необходимо найти такую совокупность ИУП студентов, удовлетворяющую требованиям системы образования и пройденной части учебного плана, при заданных:

учебных планах СОП всех вузов, желаниях студентов, требованиях системы образования, истории изучения модулей студентами – которая бы максимально удовлетворяла потребности студентов при гарантированном качестве подготовки выпускников вузов.

В данной задаче предполагается, что потребности студентов, интересы системы образования или вузов были изменены. С точки зрения управления, данный процесс корректировки ИУП является дискретным по времени (шаг дискретности – длительность учебного модуля СОП).

Задание предпочтений студентов

Предпочтения студента должны отражать его желание пройти определенный модуль в конкретном вузе. В качестве инструмента для этого предлагается использовать нечеткие множества [47]. Нечеткое множество представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя точно утверждать – обладают ли эти элементы некоторым характеристическим свойством, которое используется для задания нечеткого множества.

Пусть E – универсальное множество, x – элемент E , а R – некоторое свойство. Тогда нечеткое подмножество A множества E определяется как множество упорядоченных пар

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x)}{x} \right\}$$

где $\mu_A(x)$ – характеристическая функция принадлежности (или просто функция принадлежности), принимающая значения в некотором упорядоченном множестве M . Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности элемента x подмножеству A . Множество M называют множеством принадлежностей. Если $M = \{0, 1\}$, то нечеткое подмножество A может рассматриваться как обычное или четкое множество [20].

Перед формулированием определения нечеткого множества необходимо задать так называемую область рассуждений (универсальное

множество E) [94]. Область рассуждений, называемая в дальнейшем пространством или множеством, в текущей задаче представляет собой совокупность вузов, реализующих СОП.

Функция $\mu_A(x)$ должна принимать значения в некотором упорядоченном множестве M . В рамках данной задачи это множество является множеством действительных чисел на отрезке от 0 до 1: $\mu_A(x) \in [0;1]$.

Каждому модулю индивидуального плана студента ставится в соответствие нечеткое множество «желаемый вуз изучения определенного модуля» с функцией принадлежности, задаваемой самим студентом. Примером может служить следующее множество:

$$\left\{ \frac{0,8}{I}; \frac{1}{II}; \frac{0}{III} \right\}.$$

В примере описано, что второй студент желает изучать третий модуль в первом вузе с коэффициентом 0,8; во втором – 1; в третьем – 0. При этом коэффициент может принимать значения из промежутка $[0;1]$ и чем он больше, тем выше степень принадлежности элемента множеству (тем больше желание студента изучить модуль в этом вузе).

Ограничения

Далее определяется ряд ограничений, которым должно удовлетворять решение задачи управления ИУП студентов. Предлагаемые ограничения являются базовыми и могут быть, при необходимости, сняты, дополнены или изменены под условия конкретной СОП.

1. Должны соблюдаться структурно-логические связи изучаемого материала [114, 100]. Иными словами, ИУП всех студентов не должны противоречить зависимостям модулей СОП.
2. Совокупность ИУП не должна противоречить возможности вузов. Т.е. число студентов, изучающих любой модуль в любом вузе должно быть между минимально и максимально возможным числом студентов, которые задаются вузом для этого модуля.

3. По итогам обучения студенту выдается диплом только базового вуза. В приложении к диплому перечисляются модули, дисциплины, практики, которые студент прошел в других вузах или организациях. В этом случае студент должен пройти K модулей в других вузах. $K \in [K_{\min}; K_{\max}]$, где $K_{\min} > 0$, а $K_{\max} < 0,5m$. Т.е. определенное число модулей обязательно должно быть пройдено в других вузах, но их количество не может превысить половину всех модулей [99].

В случае обучения по программе совместных или двойных дипломов данное ограничение должно быть пересмотрено и также должен быть пересмотрен ряд условий задачи. К примеру, должно быть составлено два учебных плана для двух различных вузов, где ряд учебных дисциплин взаимно засчитываются, а ряд дисциплин может реализовываться совместно (научно-исследовательская работа, выпускная квалификационная работа и т.д.). В этом случае студенту по результатам обучения может быть выдано два диплома. Также продолжительность обучения в каждом вузе должна составлять не менее 40% нормативного срока (трудоемкости) освоения образовательной программы, а общее увеличение трудоемкости для учащегося не превышать 25% в год [79].

4. Так как финансирование вузов является нормативно-подушевым, то перераспределение студентов между вузами может привести к несоответствию объема финансирования реальному количеству студентов в вузе [64]. В связи с этим, требуется соблюдать баланс в распределении студентов по вузам. Таким образом, разница между общим числом студентомодулей (студент*модуль), которые прошли студенты n -го вуза в других вузах, и числом студентомодулей, которое проведено для студентов из других вузов в n -ом вузе не должна превышать заданной величины.

Критерий оптимальности

Одним из ключевых принципов образования в Российской Федерации является создание условий для самореализации каждого человека в пределах, предоставленных системой образования. Помимо принципа, закрепленного в Законе об образовании в Российской Федерации, одной из задач вуза так же является привлечение студентов [90]. С целью достижения описанного принципа и решения задачи, предлагается использовать в качестве критерия оптимальности – удовлетворение желаний студентов, обучающихся по СОП. Предпочтения студентов заданы нечеткими множествами, в которых большее значение функции принадлежности соответствует большему желанию студента изучить модуль в конкретном вузе. Соответственно, для максимального удовлетворения студентов при построении ИУП необходимо максимизировать вектор, состоящий из значений функций принадлежности текущего набора ИУП заданным нечетким множествами.

Предлагаемый критерий может быть изменен под конкретные условия реализации СОП, а так же целей организации такой формы взаимодействия.

1.4. Выводы по главе

Модель межвузовского взаимодействия, равно как и процесс реализации СОП может быть различной в зависимости от требований и условий в каждом отдельно взятом случае. В рамках данной работы рассматривается модель сетевого взаимодействия в рамках межвузовской кооперации.

Количество вузов-участников сетевого взаимодействия может быть два и более, при этом между организациями-партнерами должны быть заключены договора.

Ответственным за координацию всех участников процесса реализации СОП является лицо, принимающее решения (ЛПР), которого выбирают вузы перед реализацией СОП. В зависимости от конкретной ситуации вместо одного сотрудника может быть создана отдельная группа, в которую будут входить представители каждого вуза и которая выполняет роль коллективного ЛПР.

Для СОП рекомендуется установить модульную структуру, т.к. она позволяет повысить гибкость взаимодействия нескольких организаций. Содержание каждого модуля можно разделить на базовую и вариативную (включает в себя элективную) части. При этом модуль может состоять только из одной части – вторая, при этом, считается пустой. Базовая часть одинакова для одного и того же модуля в любом вузе, содержание вариативной определяется вузом, предлагающим модуль. Содержание элективной части определяется выбором студента.

Считается, что студенту предоставляется право самостоятельного выбора необходимых модулей для освоения в другой, в том числе зарубежной образовательной организации.

Соответственно, индивидуальный учебный план (ИУП) студента содержит не только распределение модулей, но и место их прохождения: какой модуль в каком вузе изучается. Задача управления ИУП состоит из двух последовательных и независимых задач:

1. первоначальное построение ИУП;
2. корректировка ИУП в ходе обучения в соответствии с внешними и внутренними изменениями.

Задачу первоначального построения ИУП можно представить следующим образом. Необходимо найти такую совокупность ИУП студентов, удовлетворяющую требованиям системы образования, при заданных: учебных планах СОП всех вузов, желаниях студентов, условиях реализации СОП в каждом вузе, которая бы максимально удовлетворяла

потребности студентов при гарантированном качестве подготовки выпускников вузов.

Количество потенциально возможных решений задачи достаточно сильно зависит от ограничений, которые накладываются на порядок изучения учебных модулей, и на ИУП студентов (например, ограничение: не более одного модуля в другом вузе). Таким образом, упростить процедуру реализации СОП для вузов можно накладывая дополнительные ограничения, однако это может достаточно сильно сузить поле реализации интересов студентов, а также возможность их участия в сетевой образовательной программе. Однако в общем случае поставленная задача является достаточно сложной и требует разработки специальных численных алгоритмов.

2. Математическая модель управления индивидуальными учебными планами студентов при сетевом взаимодействии вузов

2.1. Математическая формулировка задачи первоначального составления индивидуальных учебных планов

Будем рассматривать СОП как совокупность набора учебных модулей $\{EM_1, \dots, EM_M\}$ (M – количество модулей СОП) и бинарной матрицы зависимостей модулей ED , где столбцы и строки соответствуют модулям, а величина 1 означает, что модуль, соответствующий столбцу должен быть пройден позднее модуля, соответствующего строке.

Общее число вузов обозначим за N . Каждый вуз может составить свой уникальный учебный план (УПВ – учебный план вуза) E_n , следовательно, максимальное число УПВ E будет равно N . Здесь E_n представляет собой функцию, где область определения $D(E_n) = Z \cap [1; M]$, а область значений $E_n \in \{EM_m\}$, которая определяет какой модуль в каком порядке будет изучаться.

Обозначим число студентов, обучающихся по СОП в n -ом вузе S_n , тогда общее количество студентов S будет равно
$$S = \sum_{n=1}^N S_n .$$

Индивидуальный учебный план s -го студента (ИУП) P_s – последовательность $P_{sm}, s \in [1; S], m = \overline{1; M}$, где P_{sm} – номер вуза ($P_{sm} \in [1; N]$), в котором s студент изучает m -ый по счету модуль. При этом изучаемый модуль можно определить по соответствующей функции E_n .

Число студентов, изучающих m -ый модуль в n -ом вузе обозначим за U_{mn} .

Будем считать, что каждый модуль каждого вуза должен обладать $(U_{mn})_{\max}$ – максимальной вместимостью студентов, причем $(U_{mn})_{\max} \geq S_n \forall m \in [1; M], n \in [1; N]$, и $(U_{mn})_{\min}$ – минимальным числом студентов, для которого вуз готов проводить модуль, причем $(U_{mn})_{\min} > 0 \forall m \in [1; M], n \in [1; N]$.

Предпочтения студента должны отражать его желание пройти m -ый модуль в n -ом вузе. В качестве инструмента для этого будем использовать нечеткие множества [108]. В качестве пространства этих множеств выступают вузы. Каждому m модулю индивидуального плана s студента ставится в соответствие нечеткое множество w_{sm} «желаемый вуз изучения m модуля» с функцией принадлежности $\mu_{sm}(n)$, задаваемой самим студентом.

Степень соответствия совокупности ИУП предпочтениям каждого из студентов будут использоваться в качестве критерия оптимальности решения.

Таким образом, решение (совокупность допустимых ИУП P) должно удовлетворять следующим **требованиям** [108]:

1. ИУП всех студентов не должны противоречить матрице зависимостей модулей ED .
2. Должны выполняться ограничения на ресурсы вуза:
 - (1) $U_{mn} \in [(U_{mn})_{\min}; (U_{mn})_{\max}] \forall m \in [1; M], n \in [1; N]$.
3. Каждый студент должен пройти K модулей в других вузах.
 - (2) $K \in [K_{\min}; K_{\max}]$,

где $K_{\min} > 0$, а $K_{\max} < 0,5M$. Т.е. определенное число модулей обязательно должно быть пройдено в других вузах, но их количество не может превысить половину всех модулей.

4. Разница между общим числом студентомодулей, которые прошли студенты n -го вуза в других вузах, и числом студентомодулей, которое проведено для студентов из других вузов в n -ом вузе не должна превышать заданной величины R .

$$(3) \quad \sum_{m=1}^M U_{mn} - M \bullet S_n < R \forall n \in [1; N]$$

В качестве **критерия оптимальности** совокупности ИУП выберем максимальную удовлетворенность желаний студентов. Удовлетворенность одного s -го студента совокупностью ИУП P можно представить в виде вектора принадлежности выбранных вузов соответствующим нечетким множествам $(\mu_{s1}(P_{s1}), \dots, \mu_{sM}(P_{sM}))$. Для оценки удовлетворенности студента, будем использовать медиану такого множества $W_S = Me(\mu_{s1}(P_{s1}), \dots, \mu_{sM}(P_{sM}))$.

Тогда удовлетворенность всех студентов можно представить в виде вектора соответствующих медиан (W_1, \dots, W_S) . Предпочтения студентов заданы нечеткими множествами, в которых большее значение функции принадлежности соответствует большему желанию студента изучить модуль в конкретном вузе. Соответственно, для максимального удовлетворения студентов при построении ИУП необходимо максимизировать описанный выше вектор. В качестве критерия для максимизации вектора используется его медиана, т.е.:

$$(4) \quad Me(W_1, \dots, W_S) \xrightarrow{P} 1$$

Медиана в качестве критерия была выбрана на основании опыта оценок различных социальных показателей как наиболее полно отражающую реальную ситуацию [17, 57].

Таким образом, при заданных количестве модулей M , количестве вузов N , матрице зависимостей модулей ED , учебных планах вузов $E_n \forall n \in [1; N]$, количестве студентов $S_n \forall n \in [1; N]$, ограничении вузов $(U_{mn})_{\min}$ и $(U_{mn})_{\max} \forall m \in [1; M], n \in [1; N]$, предпочтениях студентов W требуется найти

совокупность ИУП P , не противоречащую матрице ED и удовлетворяющую ограничениям (1), (2) и (3), при которой достигается наибольшее значение $Me(W_1, \dots, W_S)$ (4).

Решение данной задачи подразумевает рассмотрение различных вариантов совокупности ИУП. Однако их количество может быть достаточно большим для ручной работы. Рассмотрим, к примеру, следующую СОП бакалавриата, реализуемой между тремя вузами. Определим возможные модули:

1. Гуманитарно-социальный (15 з.ед.)
2. Экономико-правовой (15 з.ед.)
3. Общематематический (15 з.ед.)
4. Естественно-научный (15 з.ед.)
5. Информатика и основы программирования (15 з.ед.)
6. Общетехнический (15 з.ед.)
7. Профессиональный 1 (30 з.ед.)
8. Профессиональный 2 (30 з.ед.)
9. Организационно-профессиональный (30 з.ед.)
10. Профессиональный 3 (30 з.ед.)
11. Итоговый (диплом, практика – 30 з.ед.)

В этих модулях выделим следующие зависимости:

- 2 после 1
- 4 после 3
- 6 после 4
- 7 после 6
- 8 после 7
- 9 после 7
- 10 после 7
- 11 после всех остальных

Возможных вариантов учебных планов вузов составляет при этом $3! \cdot \frac{7!}{2! \cdot 5!} = 126$. Возьмем произвольные 3 из них (римская цифра соответствует порядковому номеру вуза, а набор арабских цифр – порядковые номера модулей в порядке их изучения):

I. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11

II. 1, 3, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11

III. 1, 3, 5, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11

При этом количество возможных индивидуальных планов (какой модуль в каком вузе изучается), удовлетворяющих всем ограничениям (зависимости модулей, количество изученных модулей в собственном вузе не менее половины и проч.), равно 5081 (всего сочетаний $3^{11} = 177\,147$). Из-за очень большого количества вариантов они не представлены в данной работе.

На этапе создания индивидуальных планов студентов для получения самого оптимального решения необходимо перебрать все сочетания для всех студентов ($5081^{\text{кол-во студентов}}$). Ручной перебор этих сочетаний даже для 10 студентов становится почти невозможным.

В общем случае количество вариантов можно вычислить по формуле N^{M^S} , где N – количество вузов, M – количество модулей, S – количество студентов. Количество же допустимых вариантов будет меньше и зависеть от условий конкретной задачи.

В связи с этим необходимо создание информационной системы, которая бы решала эту задачу и, одновременно, играла бы роль базы данных сведений об ИУП студентов.

Рассмотренная задача относится к классу пр-сложных задач однокритериальной многомерной оптимизации с ограничениями и с не дифференцируемой целевой функцией. Для решения такого типа задач за приемлемое время наиболее подходящим является класс эвристических методов поиска оптимального решения [120].

2.2. Математическая формулировка задачи корректировки индивидуальных учебных планов

В ходе реализации СОП могут возникать различные изменения – изменения в желаниях студентов, требований системы образования, возможностей вузов и проч. Любые подобные изменения могут потребовать пересмотра сформированной совокупности ИУП с учетом новых условий.

В этом случае возникает задача корректировки индивидуальных учебных планов студентов, полученных в результате решения предыдущей задачи первоначального построения ИУП. При решении данной задачи требуется учитывать, что часть образовательной программы уже изучена студентами, и эта история не может быть изменена. Таким образом, речь идет лишь об изменениях ИУП в части будущих (относительно даты решения задачи) модулей.

Тогда задачу корректировки ИУП студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе, с учетом возникших изменений можно сформулировать следующим образом. При заданных:

- количестве модулей M
- количестве пройденных модулей $M_{\text{пройденное}}$
- количестве вузов N
- матрице зависимостей модулей ED
- учебных планах вузов $E_n \forall n \in [1; N]$
- количестве студентов $S_n \forall n \in [1; N]$
- ограничениях вузов $(U_{mn})_{\min}$ и $(U_{mn})_{\max} \forall m \in [1; M], n \in [1; N]$
- предпочтениях студентов W
- матрице изученных модулей $P_{\text{пройденное}}$, состоящую из $P_{sm}, s \in [1; S], m = \overline{1, M_{\text{пройденное}}}$, где P_{sm} – номер вуза ($P_{sm} \in [1; N]$), в котором s студент изучил m -ый по счету модуль,

требуется найти совокупность ИУП P , не противоречащую матрицам ED , $P_{\text{пройденное}}$ и удовлетворяющую ограничениям (1), (2) и (3), при которой достигается наибольшее значение $Me(W_1, \dots, W_S)$ (4).

Рассмотренная задача относится к классу NP -сложных задач однокритериальной многомерной оптимизации с ограничениями и с не дифференцируемой целевой функцией. Для решения такого типа задач за приемлемое время наиболее подходящим является класс эвристических методов поиска оптимального решения [120].

2.3. Обоснование выбора метода решения задачи поиска оптимального набора индивидуальных учебных планов студентов

Класс NP -сложных задач дискретной оптимизации характеризуется тем, что задачи данного класса можно решить за полиномиальное время только на недетерминированной Машине Тьюринга, которая в отличие от обычной Машины Тьюринга может делать предположения [72]. Это задачи, у которых есть ответ, найти который трудно, но проверить можно за полиномиальное время.

В качестве примера NP -сложной можно рассмотреть задачу коммивояжера [135]. В задаче коммивояжера рассматривается n городов и матрица попарных расстояний между ними. Требуется найти такой порядок посещения городов, чтобы суммарное пройденное расстояние было минимальным, каждый город посещался ровно один раз и коммивояжер вернулся в тот город, с которого начал свой маршрут. Другими словами, во взвешенном полном графе требуется найти гамильтонов цикл минимального веса.

Задача коммивояжера может быть сформулирована в форме задачи оптимизации на графах [53]. Рассмотрим связный ориентированный граф: G

$= (V, E, h)$, в котором $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – конечное множество вершин, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – конечное множество дуг, $h: E \rightarrow Z_+$ – весовая функция дуг. Обозначим отдельные значения весовой функции дуг через $c_{ij} = h(e_k)$, где дуга $e_k \in E$ соответствует упорядоченной паре вершин (v_i, v_j) . Значение $c_{ij} = h(v_i, v_j)$ интерпретируется как длина участка (i, j) исходного графа.

Длина любого подмножества дуг $E_k \subset E$ в графе G равна сумме весов дуг, входящих в это подмножество. Требуется определить такое подмножество дуг, которое образует в графе G замкнутый путь, проходит через каждую вершину ровно один раз и обладает минимальной длиной.

Совершенно очевидно, что задача коммивояжера может быть решена методом полного перебора всех вариантов объезда и выбором оптимального. Сложностью является то, что количество возможных маршрутов очень быстро возрастает с ростом n (оно равно $n!$ — количеству способов упорядочения пунктов).

Наиболее подходящими методами решения являются генетические алгоритмы и алгоритм Литтла [31]. При этом алгоритм Литтла является более затратным с точки зрения требуемых вычислительных мощностей.

Второй известной классической задачей, относящейся к классу *np*-сложных, является задача о рюкзаке [133]. Сформулировать задачу можно следующим образом. Есть n вещей и рюкзак вместимостью s . Каждая вещь характеризуется размером (весом) w_i и ценой c_i , где i – номер вещи. Нужно выбрать некоторое подмножество вещей так, чтобы:

1. Суммарный размер выбранных вещей не превосходил s
2. Суммарная цена выбранных вещей была как можно больше

Наиболее перспективными методами решения задачи о рюкзаке являются метод ветвей и границ, а так же генетические алгоритмы [41]. Основным недостатком алгоритма метода ветвей и границ при решении задач большой размерности является необходимость перебрать слишком большое количество вариантов перед тем, как будет найден оптимальный.

Метод ветвей повторяет перебор, однако, благодаря отсечению "неоптимальных" решений, способен ограничить бесконечное пространство решений.

Генетический алгоритм является одним из самых быстрых алгоритмов, применяемых для решения данной задачи. Однако он не гарантирует нахождение оптимального решения и сходимости к одному решению.

Таким образом, можно выделить следующие наиболее эффективные методы решения пр-сложных задач: генетические алгоритмы, метод ветвей и границ (алгоритм Литтла является частным случаем применения метода ветвей и границ для конкретной задачи). Далее рассмотрим каждый из этих алгоритмов подробнее.

2.3.1. Генетические алгоритмы

Генетические алгоритмы возникли в результате наблюдений за функционированием биологических систем. В 1975 году Холланд опубликовал теорию схем в своей книге [126], которая является аналитическим обоснованием сходимости генетических алгоритмов с фиксированным набором параметров и предложил основную идею генетических операторов и репродуктивный план. Первым же термин «генетический алгоритм» ввел Д. Гольдберг в своей книге [125], где изложил теорию и возможные сферы их применения.

Генетический алгоритм представляет собой метод, отражающий естественную эволюцию методов решения проблем, и в первую очередь задач оптимизации. Генетические алгоритмы – процедуры поиска, базирующиеся на механизмах естественного отбора и наследования, в них применяется эволюционный принцип выживания наиболее приспособленных особей [95].

Известно, что каноническая теория ГА работает следующим образом. Решение кодируется определенным образом в виде хромосомы (особи), состоящей из генов (отдельные составляющие решения). На примере задачи о рюкзаке ген может представлять признак включения конкретной вещи в решение или нет. Набор особей (решений) образует собой текущую популяцию.

Обозначим текущую популяцию за S . Тогда $S = \{S_k\}, k = \overline{1, K}$, где S_k – особь в популяции, а K – размер популяции. В свою очередь $S_k = \{S_{k1}, \dots, S_{kN}\}$, где N – количество генов.

Для поиска решения на пространстве особей определяется фитнес-функция: $f_k = f(S_k)$, которая характеризует приспособленность конкретной особи. Тогда целью работы алгоритма становится нахождение особи с наилучшим (максимальным или минимальным в зависимости от конкретной задачи) значением фитнес-функции.

Эволюция популяции моделируется последовательностью поколений: $\{S(t)\}, t = 0, 1, 2, \dots$. В каждый следующий момент времени состав популяции меняется в сторону более приспособленных особей.

Можно выделить следующие основные шаги в работе генетического алгоритма [89]:

Шаг 0. По определенному правилу (чаще всего случайно) генерируется начальная популяция $S(0)$.

Шаг 1. Вычислить приспособленность каждой особи в популяции:

$$f_k, k = \overline{1, K}$$

Шаг 2. Произвести отбор особей в соответствии с их значениями фитнес-функции и применение генетических операторов (к примеру, скрещивания и мутации) к отобранным особям для получения потомства. По результатам формируется популяция следующего поколения $S(t+1)$

Шаг 3. Повторить шаги 1,2 до тех пор, пока не выполнится условие окончания работы алгоритма (к примеру, t достигло предела или отсутствует рост приспособленности).

Основными операторами являются рекомбинация (воспроизведение), мутация, выбор родителей и селекция (отбор хромосом в новую популяцию). Вид оператора играет важную роль в реализации и эффективности генетического алгоритма [86]. Существуют основные формы операторов, чистое использование или модернизация которых ведет к получению ГА, пригодного для решения конкретной задачи. Рассмотрим некоторые из них.

Можно выделить следующие основные операторы выбора родителей:

- **Панмиксия** – метод, при котором каждому члену популяции сопоставляется случайное целое число – номер особи, с которой будет проведено скрещивание.
- **Инбридинг** – метод, когда первый родитель выбирается случайным образом, а вторым родителем является член популяции ближайший к первому
- **Аутбридинг** – метод, аналогичный инбридингу. Однако пары формируются из максимально далеких особей.
- **Селекция** – метод, при котором родителями могут стать только те особи, значение приспособленности которых не меньше пороговой величины. Примером такой величины может стать среднее значение приспособленности по популяции. Пороговая величина в селекции может быть вычислена разными способами. Наиболее известные из них — это турнирный и рулеточный (пропорциональный) отборы.

Для рекомбинации наиболее распространенными методами являются:

- **Дискретная комбинация** – собственно дискретная рекомбинация, промежуточная, линейная и расширенно линейная рекомбинации.

- **Кроссинговер** (бинарная рекомбинация) – выделяется однотоочечный и двухточечный и многоточечный кроссинговеры.

Так же возможными операторами отбора особей в новую популяцию являются:

- **Отбор усечением.** При отборе усечением используется популяция, состоящая как из особей-родителей, так и особей-потомков, отсортированная по возрастанию значений фитнес-функции. Число особей для скрещивания выбирается в соответствии с порогом $T \in [0;1]$. Порог определяет, какая доля особей, начиная с самой первой (самой пригодной), будет принимать участие в отборе. Среди особей, фитнес-функция которых превышает пороговое значение, случайным образом выбирается та, которая будет включена в новую популяцию. Процесс проходит итерационно до тех пор, пока новая популяция не будет иметь необходимый размер.
- **Элитарный отбор.** Для всех особей популяции вычисляется значение фитнес-функции. Далее в новое поколение отбираются нужное количество наиболее приспособленных особей.
- **Отбор вытеснением.** В данном отборе выбор особи в новую популяцию зависит не только от величины ее пригодности, но и от того, есть ли уже в формируемой популяции особь с аналогичным хромосомным набором. Из всех особей с одинаковой приспособленностью предпочтение сначала отдается особям с разными генотипами.

На текущий момент существуют разные модели генетических алгоритмов, применяемые на практике [109]:

1. Каноническая
2. Генитор
3. Модель, основанная на методе прерывистого равновесия

4. Гибридные алгоритмы
5. СНС (Cross-population selection, Heterogeneous recombination and Cataclysmic mutation)
6. ГА с нефиксированным размером популяции

Ниже перечислены основные преимущества генетических алгоритмов [54]:

- Генетические алгоритмы применимы к данным различного вида (при возможности закодировать особь).
- При помощи генетических алгоритмов можно находить решения даже при отсутствии конкретных методик.
- Генетические алгоритмы ищут сразу несколько допустимых решений (итоговая популяция), а не одно. Далее из найденных решений, выбирается наилучшее либо автоматически, либо при помощи ЛПР.
- Они способны найти решение за необходимое время (максимальное количество итераций служит одним из критериев окончания работы алгоритма).
- Применимы для решения *np*-сложных задач.

Существуют и недостатки генетических алгоритмов [25]:

- Найденное решение может быть не самым лучшим (нахождение локального экстремума);
- Нет гарантии сходимости алгоритма к конкретному решению;
- Высокая степень зависимости качества работы алгоритма от входных данных и выбранных параметров;
- Отсутствие точных методов подбора наилучших параметров алгоритма.

Отсюда следует, что применение генетических алгоритмов к решению рассматриваемой задачи управления ИОТ возможно, однако требует выбора его модели и настройки её параметров.

2.3.2. Метод ветвей и границ

Задачи дискретной оптимизации имеют конечное множество допустимых решений, которые можно перебрать и выбрать наилучшее. Однако на практике из-за большого количества возможных вариантов решения метод полного перебора не возможен, так как потребует неприемлемо большого количества вычислительных и временных ресурсов.

Существуют различные методы, позволяющие «отбрасывать» и не рассматривать часть допустимых неперспективных решений – методы неявного перебора. Наибольшее распространение среди таких методов получил метод ветвей и границ, в основе которого лежит идея последовательного разбиения множества допустимых решений.

В основе метода ветвей и границ лежит построение древовидной структуры, которая описывает разбиение всего множества решений на непересекающиеся подмножества [73]. Таким образом, всё множество решений требуется разбить на несколько непересекающихся множеств, которые, в свою очередь, так же разбиты на несколько пересекающихся множеств и т.д. (рис 12)

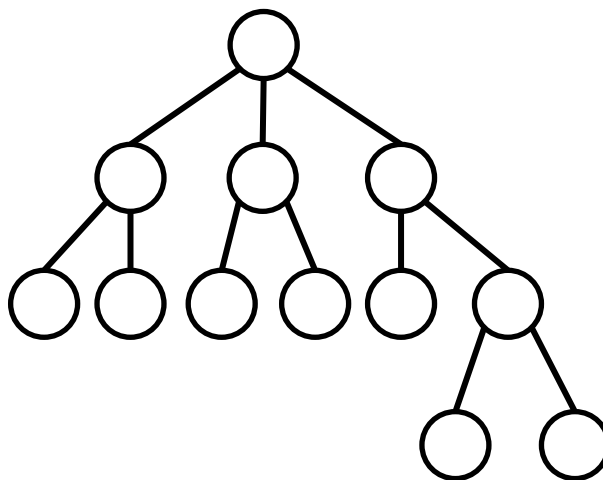


Рис 12. Представление всего множества решений в древовидном виде

На каждом шаге алгоритма рассматриваются все подмножества, которые являются листьями построенного дерева (не имеющие на текущий момент потомков). На первом шаге – это вершины дерева (подмножества) 1 уровня.

Шаг алгоритма содержит следующие действия:

- Для каждого листа дерева вычисляется минимальная или максимальная (в зависимости от целевой функции и задачи) оценка. Наилучшая полученная оценка называется **рекордом**.
- Лист дерева, имеющий наилучшую оценку, разбивается дальше (подмножество разбивается на другие подмножества).

Остановка алгоритма происходит в случае, если лист дерева, имеющий наилучшую оценку, представляет собой атомарное решение.

Можно выделить следующие недостатки такого метода:

- Оценить сложность алгоритма заранее не возможно и в худшем случае, метод по сложности будет сравним с алгоритмом полного перебора.
- Объем требуемой памяти, необходимой для работы данного алгоритма, имеет экспоненциальную зависимость от размера входных данных. Это связано с тем, что необходимо хранить все не доминирующие решения и их оценки, найденные в ходе работы.

Однако данный метод:

- Позволяет найти точное решение задачи (не является методом приближенного решения);
- На практике сложность алгоритма существенно ниже сложности полного перебора.

Таким образом, применение метода ветвей и границ для решения рассматриваемой задачи возможно только при изменении целевой функции. Одна из ключевых особенностей метода состоит в возможности оценить

максимальное (минимальное) значение целевой функции целого множества решений. В случае же с медианой, оценить минимальное (максимальное) значение целевой функции множества решений без их перебора невозможно.

2.3.3. Метод роя частиц

Метод роя частиц относится к поведенческим (имитационным) методам эвристической глобальной оптимизации. На моделировании коллективного поведения самоорганизующихся живых или неживых систем основываются все поведенческие методы решения задачи глобальной оптимизации. В общем случае агентами называются взаимодействующие элементы этих систем. Поведенческие методы, как правило, основываются на идеях децентрализованности, взаимодействия агентов и простоты поведения агентов [60].

В методе оптимизации роем частиц (particle swarm optimization - PSO) агентами являются частицы в пространстве параметров задачи оптимизации. На каждой итерации, в любой момент времени, частицы характеризуются некоторым положением в этом пространстве и своим вектором скорости. Частица, при этом, меняет свое положение и скорость в пространстве поиска по определенным правилам, основываясь на значении целевой функции, которая вычисляется для каждого положения частицы.

В основу метода PSO положена социально-психологическая поведенческая модель толпы. Известно несколько разновидностей метода. К примеру, канонический метод роя частиц был предложен в 1995 году в работе Kennedy, Eberhart [129]. Согласно нему на каждой итерации, при определении следующего положения частицы, принимаются во внимание сведения о данной частице в тот момент времени, когда ей соответствовало наилучшее значение целевой функции, а также информация о наилучшем

значении целевой функции частиц из числа «соседей». Модифицированная каноническая модель FIPS учитывает значения целевой функции, которые соответствуют всем частицам роя; в некоторых моделях частицы группируются в несколько роев и т.д.

Рассмотрим задачу глобальной безусловной минимизации целевой функций $\Phi(X)$ в n -мерном арифметическом пространстве R^n :

$$\min_{X \in R^n} \Phi(X) = \Phi(X^*)$$

Множество частиц можно обозначить $P = \{P_i, i \in [1; N]\}$, где N – количество частиц в рое (размер популяции). В момент времени $t=0,1,2,\dots$ координаты частицы P_i определяются вектором $X_{i,t} = (x_{i,t,1}, \dots, x_{i,t,n})$, а ее скорость – вектором $V_{i,t} = (v_{i,t,1}, \dots, v_{i,t,n})$. Начальные координаты и скорости частицы P_i равны $X_{i,0} = X_i^0, V_{i,0} = V_i^0$, соответственно.

Итерации выполняются по следующей схеме:

$$X_{i,t+1} = X_{i,t} + V_{i,t+1}$$

$$V_{i,t+1} = \alpha V_{i,t} + U[0, \beta] \otimes (X_{i,t}^b - X_{i,t}) + U[0, \gamma] \otimes (X_{g,t} - X_{i,t})$$

$U[a, b]$ представляет собой n -мерный вектор псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на интервале $[a, b]$; \otimes – символ покомпонентного умножения векторов; $X_{i,t}^b$ – вектор координат частицы P_i с наилучшим значением целевой функции $\Phi(X)$ за все время поиска; $X_{g,t}$ – вектор координат соседней с данной частицей с наилучшим за время поиска значением целевой функции $\Phi(X)$; α, β, γ – свободные параметры алгоритма.

Пересчет координат частиц может происходить как в синхронном режиме (обновление координат частиц выполняется только после определения текущих скоростей всех N частиц), так и в асинхронном (расчет новых координат частиц производится до завершения указанных вычислений) [71].

Совокупность $X_{i,t}^b$ образует собственный путь частицы, а совокупность $X_{g,t}$ – локальный путь частицы.

Параметр α определяет «инерционные» свойства частиц (при $\alpha < 1$ движение частиц замедляется). Рекомендуемое значение параметра α равно 0,7298. В процессе оптимизации может быть эффективным постепенное уменьшение значения коэффициента от 0,9 до 0,4. При этом большие значения параметра обуславливают широкий обзор пространства поиска, а малые – точную локализацию минимума целевой функции. Рекомендуемыми значениями параметров β, γ равны 1,49618 [6].

Также для вычисления $V_{i,t+1}$ часто применяют формулу

$$V_{i,t+1} = \alpha \left(V_{i,t} + \varphi \otimes (Y_{i,t}^g - X_{i,t}) \right)$$

Коэффициент α в этом случае называется ограничительным фактором,

$$\varphi = U[0, \beta] + U[0, \gamma]$$

$$Y_{i,t}^g = \frac{U[0, \beta] \otimes X_{i,t}^b + U[0, \gamma] \otimes X_{i,t}^g}{\varphi}$$

Рекомендуемые значения параметров β, γ в этом случае равны 2,05, а их оптимальные значения определяются классом целевой функции $\Phi(X)$.

Таким образом, можно сделать вывод о применимости метода роя частиц для решения рассматриваемой задачи. Однако для его применения требуется подбор оптимальных параметров β, γ .

2.3.4. Метод имитации отжига

В настоящее время метод отжига применяется для решения многих оптимизационных задач – финансовых [127, 128], компьютерной графики [122, 121], комбинаторных [130], в телекоммуникационных сетях и многих других. Так же данный метод используется и для обучения нейронных сетей.

Задачу, решаемую методом отжига можно сформулировать следующим образом. Требуется найти глобальный минимум функции $f: R^n$ при наличии

явных ограничений осуществляется на некотором собственном подмножестве Ω метрического пространства R^n :

$$f(x) = f(x_1, \dots, x_n) \rightarrow \min, x \in \Omega, \Omega \subset R^n$$

где подмножество Ω определяется ограничениями типами равенств $q(x) = 0$, где $q: R^n$.

Метод отжига является алгоритмическим аналогом физического процесса управляемого охлаждения, который использует упорядоченный случайный поиск новых состояний системы с более низкой температурой [77].

В процессе так называемого отжига, который представляет собой медленное управляемое охлаждение расплавленного материала, кристаллизация расплава протекает совместно с глобальным уменьшением его энергии E . При этом допускаются ситуации, когда она может на определенное время возрастать. К примеру, при подогреве расплава для предотвращения слишком быстрого его остывания. Таким образом, выйти из локальных минимумов энергии, возникших при реализации процесса, возможно за счет того, что кратковременное повышение энергетического уровня допустимо. Любое самостоятельное повышение энергетического уровня расплава становится невозможным исключительно при понижении температуры T до абсолютного нуля.

В этом случае подмножество Ω содержит элементы x , которые представляют собой состояния воображаемой физической системы или энергетические уровни. Значение же функции $f(x)$ в этих точках представляет энергию системы $E = f(x)$.

Предполагается, что в каждый момент времени температура T системы, находящейся в состоянии x , по определенному закону уменьшается с течением времени.

Новое состояние системы x' выбирается в соответствии с заданным порождающим семейством вероятностных распределений $\zeta(x, T)$, которое при фиксированных x и T задаёт случайный элемент $x' = G(x, T)$.

После генерации нового состояния $x' = G(x, T)$ система с вероятностью $p(\Delta E, T)$ переходит к следующему шагу в состоянии x' , в противном случае повторяется процесс генерации x' (в некоторых модификациях метода следующий шаг начинается с состояния x , но с уменьшенным значением температуры T). Здесь $\Delta E = f(x) - f(x')$ – приращение энергии.

В качестве вероятности принятия нового состояния $p(\Delta E, T)$ выбирается либо точное значение соответствующей физической величины $p(\Delta E, T) = \frac{1}{1 + e^{\Delta E/T}}$, либо наиболее часто используемое приближенное значение $p(\Delta E, T) = \frac{1}{e^{\Delta E/T}}$.

Вторая формула используется наиболее часто [96]. При этом $p(\Delta E, T) > 1$ в случае $\Delta E < 0$, и тогда вероятность принятия нового состояния $p(\Delta E, T)$ считается равной 1. Соответственно если новое состояние x' дает лучшее значение оптимизируемой функции, т.е. $f(x') < f(x)$, то переход в это состояние произойдет в любом случае.

Поиск минимума целевой функции заканчивается при уменьшении температуры T до некоторого заданного уровня T_{end} .

Конкретная схема отжига задается следующими параметрами:

- законом изменения температуры $T(k)$, где k — номер шага;
- порождающим семейством вероятностных распределений $\zeta(x, T)$;
- функцией вероятности принятия нового состояния $p(\Delta E, T)$.

Исторически первой схемой метода имитации отжига является схема больцмановского отжига [16]. В ней изменение температуры задаётся в виде

$$T(k) = \frac{T_0}{\ln(1+k)}, k > 0.$$

Порождающее семейство вероятностных распределений $\zeta(x, T)$ выбирается как семейство нормальных распределений с математическим ожиданием x и дисперсией T и соответственно задаётся плотностью

$$g(x'; x, T) = (2\pi T)^{-n/2} \cdot \frac{1}{e^{|x'-x|^2/(2T)}}$$

, где n — размерность метрического пространства состояний.

Для данной схемы доказано, что при достаточно больших T_0 и количестве шагов гарантируется нахождение глобального минимума [44].

Недостатком схемы больцмановского отжига является очень медленное уменьшение температуры T . Решение этой проблемы возможно путём замены закона изменения температуры, например, на следующий [59]:

$$T(k) = r \cdot T(k - 1)$$

, где температурный коэффициент r выбирается, как правило, в пределах $0,7 \div 0,99$.

Такая схема имитации отжига называется тушением. Она характеризуется очень быстрой сходимостью, что позволяет экономить вычислительные ресурсы. Однако такая схема не гарантирует нахождения глобального минимума, но, как правило, найденное решение является близким к минимуму или даже сам минимум.

Также с целью улучшения временных показателей работы имитации отжига, было разработано немало гибридных методов, зачастую представляющих собой комбинацию имитации отжига и ГА [103].

Можно сделать вывод о применимости метода имитации отжига для решения рассматриваемой задачи. Однако в случае гарантированного нахождения глобального экстремума, метод требует достаточно больших вычислительных затрат. При сокращении времени и используемых ресурсов, нахождение глобального экстремума не гарантируется.

2.3.5. Муравьиный алгоритм

Идея муравьиного алгоритма – моделирование поведения муравьёв, связанного с их способностью быстро находить кратчайший путь от муравейника к источнику пищи и адаптироваться к изменяющимся условиям, находя новый кратчайший путь [81]. При своём движении муравей метит путь феромоном, и эта информация используется другими муравьями для выбора пути. Это правило поведения и определяет способность муравьёв находить новый путь, если старый оказывается недоступным.

Муравьиный алгоритм представляет собой мультиагентную систему. Ее агенты символизируют муравьев, поэтому, в дальнейшем, так и будем их называть. Устройство этих агентов довольно простое: они не требуют большое количество памяти для выполнения своих обязанностей, а вычисления на каждом шаге работы так же не являются сложными[42].

Каждый муравей хранит в памяти список пройденных им узлов - список запретов или «tabu list», который представляет собой своеобразную память муравья. При выборе узла для следующего шага, муравей не рассматривает пройденные узлы в качестве возможных для перехода, т.к. «помнит» о них. На каждом шаге в список запретов добавляется новый узел, а перед новой итерацией алгоритма – то есть перед тем, как муравей вновь проходит путь – он опустошается. Обозначим через $J_{i,k}$ список городов, которые еще необходимо посетить муравью k , находящемуся в городе i ($J_{i,k}$ – дополнение к списку запретов).

Муравей при выборе узла для перехода помимо списка запретов руководствуется еще и «привлекательностью» ребер, которые он может пройти. Она зависит и от расстояния между узлами (то есть от веса ребра), и от следов феромонов муравьев, оставленных на ребре ранее прошедшими по нему другими муравьями. Естественно, что в отличие от весов ребер, которые являются константными, следы феромонов обновляются на каждой

итерации алгоритма: как и в природе, со временем следы испаряются, а проходящие муравьи, напротив, усиливают их. Количество виртуального феромона на ребре (i, j) на итерации t обозначим через $\tau_{ij}(t)$.

Введем так же понятие «видимость» – это величина, обратная расстоянию: $\eta_{ij} = \frac{1}{D_{ij}}$, где D_{ij} – расстояние между городами i и j . Видимость – это локальная статическая информация, выражающая эвристическое желание посетить город j из города i – чем ближе город, тем больше желание посетить его. Использование только видимости, конечно, является недостаточным для нахождения оптимального маршрута [117].

Важную роль в муравьиных алгоритмах играет вероятностно-пропорциональное правило, определяющее вероятность перехода k -го муравья из города i в город j на t -й итерации:

$$P_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha(t) \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} (\tau_{il}^\alpha(t) \cdot \eta_{il}^\beta)}, & \text{если } j \in J_{i,k} \\ 0, & \text{если } j \notin J_{i,k} \end{cases}$$

где α и β – параметры, которые могут регулироваться. Они задают вес следа феромона и вес видимости при выборе маршрута. При $\alpha = 0$ алгоритм будет соответствовать жадному алгоритму в классической теории оптимизации, т.к. будет выбираться ближайший город. При $\beta = 0$ будет наблюдаться быстрое вырождение маршрутов к одному субоптимальному решению, так как будет работать лишь феромонное усиление.

После завершения маршрута каждый муравей откладывает на ребре (i, j) такое количество феромона [56]:

$$\Delta\tau_{ij,k}(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k(t)}, & \text{если } (i, j) \in T_k(t) \\ 0, & \text{если } (i, j) \notin T_k(t) \end{cases}$$

где $T_k(t)$ – маршрут, пройденный муравьем k на итерации t ; $L_k(t)$ – длина этого маршрута; значение параметра Q обычно выбирают одного порядка с длиной оптимального маршрута, однако может регулироваться.

Для исследования всего пространства решений необходимо обеспечить уменьшение объема феромона, отложенного на предыдущих итерациях, во времени, что имитирует процесс испарения феромона. Обозначим коэффициент испарения феромона через $p \in [0,1]$. Тогда правило обновления феромона примет вид:

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - p) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij,k}(t)$$

где m — количество муравьев в колонии. В начале оптимизации количество феромона принимается равным небольшому положительному числу τ_0 . Общее количество муравьев в колонии остается постоянным на протяжении выполнения алгоритма. Многочисленная колония приводит к быстрому усилению субоптимальных маршрутов, а когда муравьев мало, возникает опасность потери кооперативности поведения через ограниченное взаимодействие и быстрое испарения феромона. Обычно число муравьев назначают равным количеству городов – каждый муравей начинает маршрут со своего города.

Таким образом, муравьиный алгоритм основан на вероятностных правилах и использует эвристически задаваемые параметры, поэтому для исследования их свойств применяются методы имитационного моделирования [74]. Подбор параметров его работы является недетерминированным, однако от их значения сильно зависит точность найденного решения.

Важным свойством муравьиных алгоритмов является неконвергентность: даже после большого числа итераций одновременно исследуется множество вариантов решения, вследствие чего не происходит длительных временных задержек в локальных экстремумах [40].

Несмотря на то, что муравьиный алгоритм может показывать хорошие результаты при решении пр-сложных задач оптимизации, его применение

для рассматриваемой задачи выходит за рамки эвристик, лежащих в его основе. Это связано с тем, что алгоритм является узкоспециализированным по решению задач поиска оптимального маршрута.

2.4. Выводы по главе

Рассмотренная задача составления индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе, относится к классу np -сложных задач однокритериальной многомерной оптимизации с ограничениями с не дифференцируемой целевой функцией.

В исключительных случаях, когда количество потенциальных решений не велико, для поиска решения может использоваться полный перебор решений и выбор наиболее оптимального. Для случаев с большим числом потенциальных решений рекомендуется использовать информационные системы.

В главе были рассмотрены различные методы решения np -сложных задач: генетические алгоритмы, метод ветвей и границ, метод роя частиц, метод имитации отжига, муравьиный алгоритм.

Генетические алгоритмы относятся к классу эвристических методов нахождения приближенного решения. Метод ветвей и границ же позволяет находить точное решение, сокращая пространство поиска. Однако возможны ситуации, когда решение методом ветвей и границ по сложности будет совпадать с методом полного перебора.

Метод ветвей и границ основан на принципе отсечения целых подмножеств пространства решений на основании минимальной или максимальной оценки целевой функции. В нашем случае применение данного подхода связано со сложностью получения минимальных и максимальных оценок в подмножестве решений, т.к. целевая функция (4) для

вычисления требует рассмотрения сразу всех компонентов решения. В результате сложность вычисления минимальной и максимальной оценки целевой функции подмножества решений будет требовать большого количества вычислений, что будет сопоставимо с методом полного перебора.

Генетические алгоритмы основываются на принципе эволюции, заимствованном у природных процессов. При подобранных параметрах, на ряде задач они показывают хорошие результаты. Однако подбор параметров и является основной сложностью их применения: нет ни алгоритма их подбора, ни гарантированности возможности подобрать параметры для конкретной задачи.

Алгоритм имитации отжига отличается от метода градиентного спуска случайностью выбора промежуточной точки. В результате чего вероятность попадания в локальные минимумы ниже, чем у метода градиентного спуска. Алгоритм имитации отжига также не может гарантировать нахождения глобального минимума целевой функции, однако при правильной настройке, как правило, начальное приближение улучшается

На каждой итерации, в любой момент времени, частицы характеризуются некоторым положением в этом пространстве и своим вектором скорости. Для каждого положения частицы вычисляется соответствующее значение целевой функции. Далее на основании информации о наилучшей частице из числа «соседей» данной частицы, а также информации о данной частице на той итерации, когда этой частице соответствовало наилучшее значение целевой функции, частица меняет свое положение и скорость в пространстве поиска по ряду правил.

Идея муравьиного алгоритма – моделирование поведения муравьёв. При своём движении муравей метит путь феромоном, и эта информация используется другими муравьями для выбора пути. Когда муравей выбирает следующий узел для своего шага, он руководствуется информацией об уже пройденных узлах и не рассматривает их в качестве потенциально возможных для перехода. При совершении шага, в список запретов будет

добавляться информация о новом узле. Перед каждым прохождением пути, который осуществляется на новой итерации алгоритма, список запретов опустошается. В общем случае, при выборе следующего узла, муравей руководствуется:

- списком запретов;
- привлекательностью ребер, которые доступны для выбора. Сама привлекательность же зависит от двух факторов: от расстояния между узлами (то есть от веса ребра), и от оставленных ранее прошедшими муравьями следов феромонов на ребре.

Подбор параметров его работы, так же как и в случае генетических алгоритмов, является недетерминированным. Однако от их значения сильно зависит точность найденного решения.

Из рассмотренных методов можно выделить следующие методы, пригодные для решения рассматриваемой задачи: генетические алгоритмы, метод роя частиц, метод имитации отжига. Все из них являются эвристическими и не гарантируют нахождение глобального экстремума. Однако генетические алгоритмы имеют более обширный опыт их применения для решения других задач того же класса, положительный опыт применения их для решения задач составления расписаний.

В силу вышесказанного, можно сделать выбор в пользу генетических алгоритмов. В этом случае требуется провести подбор параметров алгоритма и оценку точности работы алгоритма на предмет соответствия требованиям.

3. Разработка прототипа информационной системы управления сетевыми образовательными программами на основе генетического алгоритма

3.1. Особенности применения генетического алгоритма

Как было отмечено выше, генетические алгоритмы относятся к классу эволюционных методов. Вследствие чего их наиболее целесообразно применять для трудно формализуемых задач или в случаях решения задач реального времени, когда требуется быстро получить результат для принятия решений.

Генетические методы нашли широкое применение в решении задач различного типа. Этому способствовал ряд причин:

- I. Данные алгоритмы для многих типов задач показали свою эффективность по сравнению с другими методами.
- II. Естественный отбор устраняет необходимость заранее учитывать все особенности решения задачи. Можно успешно решать задачи, структуру решения которых программист не знает. Существует много примеров решения с помощью эволюционных вычислений практических задач (задача коммивояжера, задачи распределения ресурсов; решение задач в реальном времени, связанных с управлением движущимися объектами).
- III. Высокий параллелизм алгоритмов данного типа. Каждый объект популяции может обрабатываться независимо, что при применении мультипроцессорных компьютеров позволит достигать очень высоких скоростей работы.

- IV. Генетические алгоритмы относительно стойки к попаданию в локальные оптимумы.
- V. Генетические алгоритмы не требуют никакой информации о поведении функции (например, дифференцируемости и непрерывности) [61].

Канонические генетические алгоритмы – это подкласс репродукционно-популяционных алгоритмов поиска, в которых основные операторы имитируют механизмы естественного отбора и популяционной генетики.

Существует большое количество модификаций генетического алгоритма. В данной работе будет рассмотрено применение классической структуры генетического алгоритма, которую можно представить следующим образом. Работа алгоритма начинается с формирования начальной популяции (часто осуществляется случайным образом). Далее итеративно осуществляется ряд операций:

1. *Оценивание*. На данном этапе выполняется вычисление значения фитнес-функции для каждой особи популяции.
2. *Селекция*. На данном этапе осуществляется выбор особей для репродукции (размножения).
3. *Репродукция (размножение)*. Данный этап состоит из нескольких операций:
 - a. *Копирование*. Создание тождественных копий некоторых особей.
 - b. *Скрещивание*. Конструирование новых особей путем сцепления генов отобранных особей.
 - c. *Мутация*. Конструирование новых особей путем случайного изменения генов случайно отобранных особей.
4. *Формирование новой популяции*. На данном этапе выполняется вычисление значения фитнес-функции для каждой особи и осуществляется выбор особей для новой популяции [13].

Как отмечалось ранее, основными сложностями при применении и разработки программного обеспечения (ПО), которое включает в себя использование генетического алгоритма являются:

- выбор фитнес-функции и метода кодирования особей. Их выбор может ограничить всё пространство поиска и оставить только значения, которые более вероятно являются решениями.
- настройка других параметров генетического алгоритма (размер популяции, вероятность мутации и т.д.), которые обеспечивают сходимость и точность алгоритма с одной стороны и препятствуют преждевременному схождению к неверному результату с другой стороны [2].

Далее описывается нахождение оптимальных значений этих параметров алгоритма (размер популяции, вероятность мутации и т.д.) для рассматриваемой задачи управления индивидуальными учебными планами студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе.

3.2. Пример постановки задачи составления индивидуальных планов студентов при реализации сетевой образовательной программы магистратуры

Для подбора параметров работы генетического алгоритма рассмотрим демонстрационный пример задачи составления индивидуальных учебных планов студентов при реализации магистерской СОП тремя вузами ($N=3$). Каждый вуз набирает на обучение по S_n студентов. При этом должны выполняться следующие требования:

- каждый студент должен будет изучить от одного ($K_{min} = 1$) до двух ($K_{max} = 2$) модулей в других вузах;

- каждый модуль в каждом вузе должны изучать не более чем $\lfloor S/3 \rfloor + 1$ студентов $((U_{mn})_{max} = \frac{S}{3} + 1)$.

Возьмем произвольную магистерскую программу. Один модуль – 30 зач. ед. (один семестр). Таким образом, количество модулей в программе равно 4 ($M = 4$).

Можно выделить следующие правила формирования учебных планов на основе данных модулей:

- 1 модуль должен быть изучен первым;
- 4 модуль должен быть изучен последним;
- 2, 3 модули могут быть изучены в любом порядке.

Примем, что первый и последний модуль должны быть изучены именно в том вузе, в который поступил студент.

Описанные правила формирования учебных планов, можно представить в виде следующей бинарной матрицы зависимостей модулей ED [108]:

	1	2	3	4
1		1	1	1
2				1
3				1
4				

Тогда количество возможных учебных планов будет равно: $2! = 2$.

Примем, что учебные планы в вузах следующие (римская цифра означает номер вуза, а последовательность арабских цифр – последовательность модулей в учебной программе вуза):

- I. 1, 2, 3, 4
- II. 1, 3, 2, 4
- III. 1, 2, 3, 4

При этом количество уникальных ИУП для одного студента, удовлетворяющих всем условиям, будет равно:

- для студентов 1 или 3 вуза – 4;
- для студентов 2 вуза – 4.

Варианты возможных ИУП, доступных для выбора студентам:

- 1 1 3 1
- 1 2 2 1
- 1 3 1 1
- 1 3 3 1
- 2 1 1 2
- 2 1 3 2
- 2 3 1 2
- 2 3 3 2
- 3 1 1 3
- 3 1 3 3
- 3 2 2 3
- 3 3 1 3

Зададим следующую матрицу предпочтений студентов (таблица 1):

Таблица 1. Матрица предпочтений студентов

Студенты	Модули											
	1			2			3			4		
	вузы			вузы			вузы			вузы		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	0.4	0.3	0.3	0.2	0.4	0.9	0.4	0.5	0.8	0.2	0.2	0.2
2	0.8	0.5	0.9	0.7	0.1	0.4	0.6	0.7	0.8	0.3	0.5	0.2
3	0.3	0.9	0.5	0.3	0.8	0.3	0.9	0.6	0.9	0.4	0.6	0.7
4	0.9	0.1	0.5	0.9	0.7	0.1	0.5	0.8	0.9	0.6	0.7	0.2
5	0.5	0.4	0.2	0.9	0.3	0.6	0.9	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
6	0.1	0.4	0.1	0.6	0.3	0.8	0.1	0.4	1.0	0.7	0.2	0.4
7	0.4	0.5	0.4	0.9	0.5	0.2	0.1	0.8	0.5	0.6	0.9	0.8

8	0.7	1.0	0.2	0.5	0.7	0.3	0.7	0.4	0.4	0.1	0.3	0.6
9	0.6	0.7	0.1	0.3	0.3	0.7	0.4	0.7	0.4	0.3	0.9	0.9
10	0.7	1.0	0.5	0.4	0.3	0.1	0.9	0.5	0.5	0.6	0.4	0.3
11	0.2	0.8	0.2	0.6	0.9	0.2	0.8	0.1	0.5	0.8	0.9	1.0
12	0.6	0.7	0.8	0.3	0.5	1.0	0.7	0.9	0.3	1.0	1.0	0.4

Следует отметить, что если желания студента по изучению какого-либо модуля для всех вузов меньше 1, то эти желания будут нормироваться.

3.3. Поиск точного решения тестовой задачи составления индивидуальных образовательных планов студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе

Описанная выше задача имеет 12^S решений, так как существует 12 вариантов ИУП, которые могут быть выбраны студентами. При этом количество допустимых решений, удовлетворяющих всем ограничениям задачи существенно ниже. Точные значения общего количества вариантов и количества допустимых решений были найдены для различного количества студентов и представлены в табл. 2:

Таблица 2. Количество решений демонстрационной задачи

Студентов (S)	Всего решений	Кол-во допустимых решений
8	$4,3 \cdot 10^8$	4 038
9	$5,1 \cdot 10^9$	61 422
10	$6,1 \cdot 10^{10}$	120 510
11	$7,4 \cdot 10^{11}$	130 530
12	$8,9 \cdot 10^{12}$	2 286 174

Вычислительная сложность проверки каждого решения на допустимость достаточно высокая, так как требует следующих проверок и вычислений:

- количество модулей, изученных в вузах-партнерах должно быть в заданном интервале;
- первый и последний модуль должны быть изучены в базовом вузе;
- каждый модуль должен быть изучен только 1 раз;
- порядок модулей должен удовлетворять заданной матрице зависимостей модулей ED ;
- количество студентов, находящихся в вузе для каждого модуля, должно быть в заданном интервале (данное условие требует сравнения ИУП всех студентов).

Однако существует возможность сокращения времени поиска точного решения за счет распараллеливания процесса перебора [5]. Существуют различные технологии параллельных вычислений.

- OpenMP. В библиотеку OpenMP входят спецификации набора директив компилятору, процедур и переменных среды. Данная технология позволяет разработчику не создавать новую параллельную программу, а только добавить в текст последовательной программы OpenMP-директивы. Помимо директив распараллеливания кода, OpenMP так же предоставляет разработчику большие возможности по контролю за исполнением параллельного кода. Вся программа разбивается на последовательные и параллельные области. Все последовательные области выполняет главная нить, порождаемая при запуске программы, а при входе в параллельную область главная нить порождает дополнительные. Таким образом, есть возможность работы OpenMP-программы без какой-либо

модификации как на многопроцессорных системах, так и на однопроцессорных. В последнем случае директивы OpenMP просто игнорируются. Особенностью технологии OpenMP является модель параллельного программирования с общей памятью.

- MPI – это библиотека функций, обеспечивающая взаимодействие параллельных процессов с помощью механизма передачи сообщений. Большинство реализаций MPI поддерживают интерфейсы для языков C, C++ и Fortran. Библиотека MPI включает в себя множество функций передачи сообщений типа точка-точка, развитый набор функций для выполнения коллективных операций и управления процессами параллельного приложения. Таким образом, MPI позволяет реализовать системы с распределенной памятью. В этом случае на каждом вычислительном узле функционируют собственные копии операционной системы, под управлением которых выполняются независимые программы. Это могут быть как действительно независимые программы, так и параллельные ветви одной программы. А механизмом взаимодействия между ними является механизм передачи сообщений [97].
- CUDA – это архитектура параллельных вычислений от NVIDIA, позволяющая производить параллельные вычисления с использованием GPU (графических процессоров). Технологии CUDA дают возможность реализовывать на специальном упрощённом диалекте языка программирования Си алгоритмы, выполнимые на графических процессорах Nvidia, и включать специальные функции в текст программы на Си. Архитектура CUDA позволяет самостоятельно организовывать доступ к

набору инструкций графического ускорителя и управлять его памятью [58].

Для проведения вычислений был использован суперкомпьютер «Тритон» (Институт механики сплошных сред УрО РАН) со следующими характеристиками:

- 384 процессорных ядер (48 узлов * 2 процессора * 4 ядра)
- 32 узла: 16 Гб оперативной памяти на вычислительный узел
- 16 узлов: 32 Гб оперативной памяти на вычислительный узел

Наиболее оптимальным методом решения задачи с учетом архитектуры суперкомпьютера была технология MPI, которая позволила проводить вычисления одновременно на всех ядрах суперкомпьютера, а так же заложить возможность дальнейшего применения программы и метода нахождения точного решения для более производительных суперкомпьютеров.

Точное решение было найдено для количества студентов от 8 до 12 и представлено в табл. 3.

Таблица 3. Максимальное значение целевой функции

Студентов (S)	Максимальное значение целевой функции
8	0,25
9	0,142857
10	0,142857
11	0,142857
12	0,142857

Точное решение для 9 студентов представлено в табл. 4:

Таблица 4. Точное решение демонстрационной задачи для 9 студентов

Студент	ВУЗ, в котором изучается модуль			
	1	2	3	4
1	I	I	III	I
2	II	I	I	II
3	III	I	I	III
4	I	I	III	I
5	II	III	I	II
6	III	II	II	III
7	I	II	II	I
8	II	III	I	II
9	III	II	II	III

3.4. Определение оптимальных параметров генетического алгоритма для задачи управления сетевыми образовательными программами

Кодирование особей в генетических алгоритмах может быть различным и зависит от решаемой задачи. Можно выделить следующие наиболее распространенные способы кодирования:

- *Двоичное кодирование.* Данный способ основан на известном способе записи десятичных чисел в двоичной системе, где каждый бит двоичного кода соответствует очередной степени числа 2. Двоичное кодирование является наиболее распространенным методом кодирования. Так и в классической реализации генетического алгоритма применяется именно этот метод.

- *Код Грея.* Отличием от двоичного кодирования является то, что двоичные последовательности, соответствующие двум последовательным целым числам, отличаются только одним битом. К примеру,

0 – 000

1 – 001

2 – 011

3 – 010

И т.д. Такой способ кодирования хромосом может показывать хорошие результаты при использовании операции мутации – когда случайное изменение одного бита приводит к последовательному переходу к следующему числу.

- *Логарифмическое кодирование* применяется в генетических алгоритмах для уменьшения длины хромосом. Оно используется, главным образом, в задачах многомерной оптимизации с большими пространствами поиска решений.

При логарифмическом кодировании первый бит кодовой последовательности – это бит знака показательной санкции, второй бит – бит знака степени этой функции, а остальные биты представляют значение самой степени:

$$\boxed{\alpha \mid \beta \mid C \mid O \mid D \mid E} = (-1)^\beta \cdot e^{(-1)^\alpha CODE_{10}}$$

здесь $CODE_{10}$ означает десятичное значение числа, закодированного в виде двоичной последовательности $CODE$.

- *Вещественное кодирование.* Такой способ применяется при работе с непрерывной областью допустимых значений переменных. Такое кодирование позволяет уменьшить сложность вычислений на каждом шаге работы алгоритма за счёт отсутствия двоично-десятичных преобразований при вычислении значений фитнес-функции.

Значения хромосом, в общем случае, могут быть любыми. Однако при инициализации начальной популяции обычно задаются различные условные границы областей допустимых значений. Кроме того, начальная популяция обычно содержит значения переменных, равномерно распределённых по соответствующим им областям допустимых значений [12].

В случае с задачей составления индивидуальных учебных планов студентов, можно выделить следующие особенности:

- Всем возможным индивидуальным учебным планам студентов можно поставить в соответствие целое положительное число (пронумеровать все возможные ИУП);
- Количество возможных ИУП студентов в большинстве случаев не превосходит 10 000;

С учетом особенностей задачи, наиболее перспективным является кодирование особей следующим образом. Количество генов соответствует количеству студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе. Значение гена соответствует порядковому номеру индивидуального плана соответствующего студента (после нумерации всех возможных ИУП студентов). Такой метод кодирования снижает вычислительную сложность на каждом шаге алгоритма, сохраняет длину хромосом на приемлемом уровне (равняется количеству студентов), при этом сохраняет возможность применения классических операций мутаций, скрещивания, инверсии и т.д.

Так как хромосома представляет собой набор генов, каждый из которых отвечает за выбранный индивидуальный учебный план соответствующего студента, то рекомбинация решений будет приводить всегда к обмену наборами ИУП студентов из двух решений. В качестве оператора скрещивания, в этом случае, может быть выбран одноточечный кроссинговер с точкой разрыва посередине. По условию задачи, поведение данного оператора будет следующим: из выбранных двух возможных

решений формируются два других, первая половина которых соответствует одному первоначальному решению, а вторая половина взята из другого.

Выделяются различные виды мутации:

- *Точечная мутация.* Чаще всего применяется при двоичном кодировании и изменяет один бит хромосомы.
- *Генная мутация.* Отличие от точечной мутации заключается в возможном изменении не одного бита хромосомы, а сразу нескольких, отвечающих за один и тот же ген.
- *Макромутация.* Многократное применение точечных и генных мутаций для одной хромосомы.
- *Инверсия.* Последовательность аллель-форм родителя изменяет свой порядок на противоположенный.
- *Перестановка.* Выбранные гены хромосомы «меняются местами». При этом, в случае нескольких выбранных генов, смена мест может происходить «по кругу».

В соответствии с концептуальной постановкой задачи формирования ИУП студентов, можно выбрать генный тип мутации, осуществляемой вероятно по одной точке. Это связано с содержательным смыслом гена: мутация будет означать случайное изменение индивидуального учебного плана студента, что может привести к лучшему решению или выходу из зоны локального экстремума.

Известно, что оптимальные значения параметров генетического алгоритма должны быть определены для каждой задачи отдельно и от них очень сильно зависит работа алгоритма [2]. В данном исследовании варьируются следующие параметры:

- Размер популяции (от 10 до 200). Данный диапазон выбран экспериментальным путем, что показано ниже в результатах исследования.

- Вероятность мутации (от 0,1 до 0,9 с шагом 0,1). Значения 0 и 1 не рассматриваются, т.к. вероятность мутации 0 приводит к её полному отсутствию, а 1 – к её обязательному применению. При этом отсутствие мутации повышает вероятность схождения к локальному экстремуму, а её обязательное применение снижает вероятность схождения к единому решению.

По результатам исследования будут выбраны значения параметров, при которых будет достигнута наивысшая точность решения поставленной выше задачи. Для других задач возможно применение других методов кодирования, операторов мутации, скрещивания и отбора, учитывающих особенности данных задач. В данной работе рассматривается задача в наиболее общем смысле.

Под точностью решения будем понимать отношение значения целевой функции найденного решения (4) к максимальному значению целевой функции для данной задачи, умноженное на 100%.

Для оценивания точности решения, точное максимальное значение целевой функции было получено методом полного перебора с использованием суперкомпьютера «Тритон» (Институт механики сплошных сред УрО РАН).

Так как точность генетических алгоритмов имеет вероятностный характер, то для каждого сочетания значений параметров будет выполняться ряд измерений, на основании которых будут делаться выводы о точности решения в статистическом смысле. Для оценки точности будет вычисляться медиана и среднее значение точности:

Средняя точность – среднее значение ряда, состоящего из величин полученных точностей при многократном запуске алгоритма с соответствующими входными данными и настройками.

Медиана точности – медиана ряда, состоящего из величин полученных точностей при многократном запуске алгоритма с соответствующими входными данными и настройками.

Будем считать приемлемой точностью для данной задачи точность не ниже 80% в 80% запусков.

При проведении экспериментов на всем множестве значений, генетический алгоритм с достаточно низкой вероятностью (не более 10%) попадал во множество допустимых значений (при $N=12$, количество допустимых решений составляет всего $2,56 \cdot 10^{-5}$ % от общего количества вариантов). Для достижения более высокой точности получения допустимых значений (100%) были использованы методы отсечения части недопустимых решений.

Примененный метод отсечения части решений можно сформулировать следующим образом. Для всех допустимых индивидуальных учебных планов студентов определяется перечень базовых вузов, студенты которых потенциально могут иметь данные ИУП. Только отобранные, а не все возможные, ИУП и рассматриваются при решении задачи. Благодаря условию задачи, что первый и последний модули обязательно должны быть изучены в базовом вузе, такая предобработка позволяет существенно увеличить долю допустимых решений в общем количестве вариантов.

Ниже, в табл. 5 представлены медиана и среднее значение точности для различных значений вероятности мутации при размере популяции – 10 особей.

Таблица 5. Зависимость точности от вероятности мутации при размере популяции 10 особей

Вероятность	Средняя точность	Медиана точности
0,1	0,434641	0,434641
0,2	0,494119	0,38889
0,3	0,416341	0,434641
0,4	0,466668	0,38889
0,5	0,443792	0,411766
0,6	0,480393	0,457517

0,7	0,416341	0,411766
0,8	0,484968	0,457517
0,9	0,562746	0,549021

Наилучшая точность достигается при вероятности мутации 0,9: средняя точность - 0,562746; медиана точности - 0,549021. График, отражающий вероятность достижения заданной точности представлен на рис 13 (по оси абсцисс – точность решения, по оси ординат – вероятность достижения точности):



Рис 13. Вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,9 и размере популяции 10 особей

По графику видно, что в 70% случаев точность не превышает 50%, что является неприемлемым для текущей задачи.

Увеличим размер популяции и оценим точность решения при новых настройках алгоритма. В табл. 6 представлены медиана и среднее значение точности для различных значений вероятности мутации при размере популяции – 50 особей.

Таблица 6. Зависимость точности от вероятности мутации при размере популяции 50 особей

Вероятность	Средняя точность	Медиана точности
0,1	0,647753	0,602093
0,2	0,641439	0,602093
0,3	0,647021	0,602093
0,4	0,652557	0,602093
0,5	0,66523	0,602093
0,6	0,663217	0,602093
0,7	0,712995	0,673694
0,8	0,678681	0,602093
0,9	0,683897	0,602093

Наилучшее значение при вероятности мутации 0,7: средняя точность - 0,712995; медиана точности - 0,673694. График, отражающий вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,7 и размере популяции 50 особей представлен на рис 14 (по оси абсцисс – точность решения, по оси ординат – вероятность достижения точности):

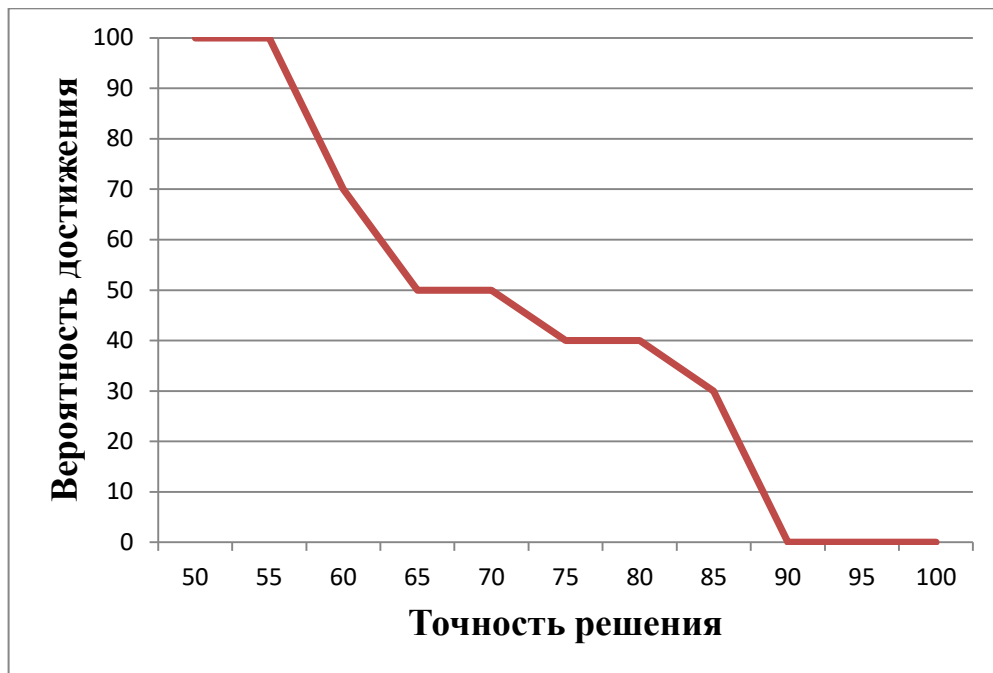


Рис 14. Вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,7 и размере популяции 50 особей

По графику видно, что в 70% случаев точность не превышает 60%. Точность решения повысилась, однако по-прежнему не является приемлемой для текущей задачи.

Увеличим размер популяции и оценим точность решения при новых настройках алгоритма. В табл. 7 представлены медиана и среднее значение точности для различных значений вероятности мутации при размере популяции – 100 особей.

Таблица 7. Зависимость точности от вероятности мутации при размере популяции 100 особей

Вероятность	Средняя точность	Медиана точности
0,1	0,696909	0,618106
0,2	0,772024	0,796309
0,3	0,707111	0,681701
0,4	0,798084	0,865394
0,5	0,716916	0,750786

0,6	0,687209	0,602367
0,7	0,810295	0,865394
0,8	0,765737	0,814381
0,9	0,749953	0,743237

Наилучшее значение при вероятности мутации 0,7: средняя точность - 0,810295; медиана точности - 0,865394. График, отражающий вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,7 и размере популяции 100 особей представлен на рис 15 (по оси абсцисс – точность решения, по оси ординат – вероятность достижения точности):



Рис 15. Вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,7 и размере популяции 100 особей

По графику видно, что в 70% случаев точность не превышает 75%. Точность решения повысилась, однако по-прежнему не является приемлемой для текущей задачи.

Увеличим размер популяции и оценим точность решения при новых настройках алгоритма. В табл. 8 представлены медиана и среднее значение

точности для различных значений вероятности мутации при размере популяции – 150 особей.

Таблица 8. Зависимость точности от вероятности мутации при размере популяции 150 особей

Вероятность	Средняя точность	Медиана точности
0,1	0,833917	0,865394
0,2	0,840459	0,883466
0,3	0,813969	0,847322
0,4	0,793472	0,847322
0,5	0,844623	0,865394
0,6	0,870793	0,883466
0,7	0,786838	0,819871
0,8	0,775812	0,796309
0,9	0,86242	0,883466

Наилучшее значение при вероятности мутации 0,6: средняя точность - 0,870793; медиана точности - 0,883466. График, отражающий вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,6 и размере популяции 150 особей представлен на рис 16 (по оси абсцисс – точность решения, по оси ординат – вероятность достижения точности):

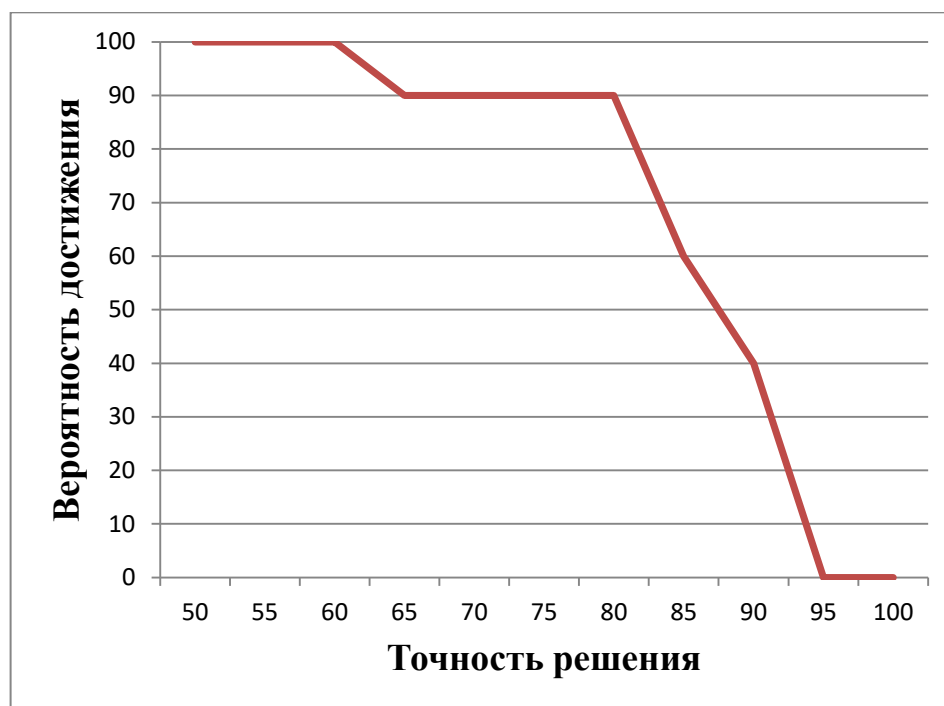


Рис 16. Вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,6 и размере популяции 150 особей

По графику видно, что в 90% случаев достигается точность 80%. Точность решения повысилась и является приемлемой для текущей задачи, однако проведем анализ точности решения при дальнейшем росте размера популяции. В табл. 9 представлены медиана и среднее значение точности для различных значений вероятности мутации при размере популяции – 200 особей.

Размер популяции – 200 особей.

Таблица 9. Зависимость точности от вероятности мутации при размере популяции 200 особей

Вероятность	Средняя точность	Медиана точности
0,1	0,784871	0,801799
0,2	0,841374	0,847322
0,3	0,806283	0,847322
0,4	0,837943	0,883466

0,5	0,769407	0,750786
0,6	0,812734	0,847322
0,7	0,806145	0,865394
0,8	0,82774	0,865394
0,9	0,851165	0,865394

Наилучшее значение при вероятности мутации 0,9: средняя точность - 0,851165; медиана точности - 0,865394. График, отражающий вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,9 и размере популяции 200 особей представлен на рис 17 (по оси абсцисс – точность решения, по оси ординат – вероятность достижения точности):



Рис 17. Вероятность достижения заданной точности при вероятности мутации 0,9 и размере популяции 200 особей

По графику видно, что точность 80% достигается только в 80% случаев. Такой показатель является приемлемым для текущей задачи, однако уступает предыдущему значению. Подобное поведение алгоритма связано с преждевременной сходимостью к локальным экстремумам, которое характерно для большого объема популяции.

Сводную зависимость точности от параметров алгоритма можно представить в виде таблицы 10. Для краткости для каждого размера популяции представлена только та вероятность мутации, при которой была достигнута максимальная точность:

Таблица 10. Зависимость точности от вероятности мутации и размера популяции

Размер популяции	Вероятность мутации	Средняя точность	Медиана точности
50	0,7	0,712995	0,673694
100	0,7	0,810295	0,865394
150	0,6	0,870793	0,883466
200	0,9	0,851165	0,865394

Графически такая зависимость представлена на рис 18. На графике отображены максимальные значения средней точности и медианы точности в зависимости от размера популяции.

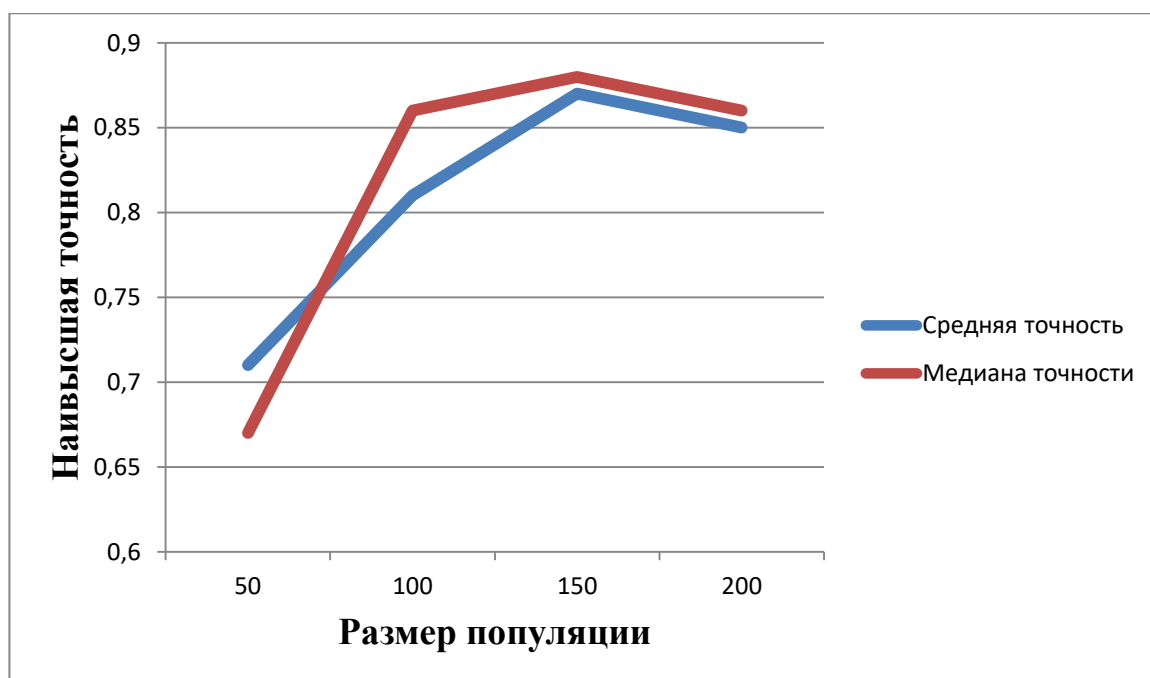


Рис 18. Наилучшие показатели точности работы генетического алгоритма в зависимости от размера популяции

3.5. Требования, предъявляемые к прототипу информационной системы

Можно выделить следующие особенности создаваемой информационной системы:

- Относится к классу групповых систем, т.к. предназначена для автоматизации деятельности в рабочей группе (отделе, кластере, группе проекта и т.д.).
- Является управляющей, т.к. автоматизирует деятельность, связанную с принятием решений. Действия конечных пользователей приводят к модификации информации, что, конечно, не исключает возможности и простого получения информации.
- Является автоматизированной, т.к. предполагает участие в процессе обработки информации и человека, и технических средств. Окончательное решение, при этом, остается за человеком.
- Работа пользователей системы может осуществляться на оборудовании вуза, которое не всегда является современным. Однако скорость реакции системы и расчета должны быть приемлемыми для пользователей.
- Работа с ИС будет осуществляться из разных вузов (внесение ограничений вузов и проч.). Поиск ИУП студентов, при этом, должен учитывать все внесенные данные и не зависеть от места его запуска.
- Помимо сотрудников вузов с ИС должна быть возможность взаимодействия самих студентов – к примеру, для занесения ими предпочтений по изучению модулей или просмотру построенного индивидуального учебного плана.

- Наличие у большинства вузов информационных систем, автоматизирующих их деятельность.

На основании перечисленных выше особенностей можно сформулировать следующие требования к создаваемой информационной системе:

1. Масштабируемость. Наличие возможности разбиения системы на составные части и размещение их на отдельных вычислительных узлах.
2. Расширяемость. Наличие возможности расширения функциональности приложения без внесения существенных изменений в архитектуру приложения.
3. Кроссплатформенность. Способность программного обеспечения работать более чем на одной аппаратной платформе и (или) операционной системе.
4. Отсутствие затратных вычислений на ЭВМ пользователя с целью снижения минимальных требований к ним.
5. Хранение данных об ограничениях вузов и предпочтениях студентов в централизованной базе данных.
6. Наличие подсистемы полномочий для разграничения прав доступа в ИС (возможность запуска процесса построения индивидуальных учебных планов и проч.).
7. Наличие удобного графического интерфейса для взаимодействия с пользователем и представления результатов работы алгоритма. С учетом современных тенденций, следует учитывать возможность создания мобильных приложений для взаимодействия со студентами.
8. Возможность интеграции решения с уже существующими системами вузов посредством программного интерфейса (API). Также реализация API позволит расширять функционал системы сторонним разработчикам.

3.6. Описание архитектуры прототипа информационной системы

Наиболее подходящей под предъявленные требования является трехуровневая архитектура. В ней каждый уровень выполняет свои задачи и имеет свои функциональные возможности. На первом уровне находится клиентское приложение, которое является презентационным слоем системы. Второй уровень отвечает за бизнес-логику системы и взаимодействует с презентационным слоем, отвечая на его запросы. Вторым уровнем называют сервер приложения. На третьем уровне находится база данных, которая отвечает за хранение данных и их целостность. Преимуществом такого подхода является разделение системы на уровни, позволяющее относительно легко модернизировать систему, снизить требования к клиентской части системы и хранить данные в централизованном месте [1].

В создаваемой ИС трехуровневая архитектура будет представлять собой Web-приложение, где первый уровень – это web-браузер пользователя, второй – веб-сервер, третий – база данных. Само web-приложение будет построено по паттерну проектирования Model-View-Controller (MVC). Этот паттерн разделяет работу web-приложения на три отдельные функциональные роли: модель данных (model), пользовательский интерфейс (view) и управляющую логику (controller). Таким образом, изменения, вносимые в один из компонентов, оказывают минимально возможное воздействие на другие компоненты. Структурная схема такого шаблона представлена на рис 19. Также паттерн MVC закладывает возможность создания нескольких различных представлений для одной модели данных, не требующих повторной реализации предметной логики. Такими представлениями могут быть web-приложение для работы с ним из web-браузера или мобильное представление.

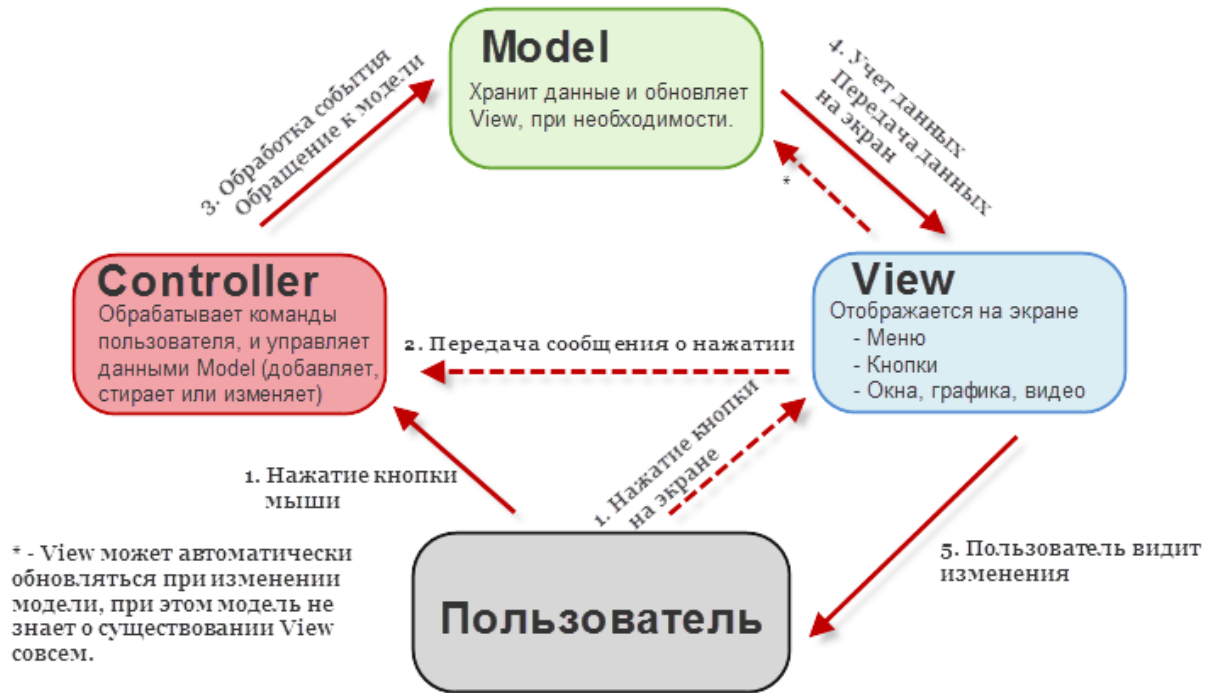


Рис 19. Паттерн Model-View-Controller

Архитектура ИС, построенная в соответствии с выбранными паттерном проектирования MVC и трехуровневой архитектурой, представлена на рис 20. В ней можно выделить первый уровень – web-браузер, с которым работают пользователи в своих рабочих местах; web-сервер, который содержит модель данных, слой бизнес-логики и бизнес-операций, слой представления; третий уровень – централизованная база данных. Именно на втором уровне будет выполняться составление индивидуальных учебных планов студентов. В рамках данной работы реализуется только одно представление – web-представление.

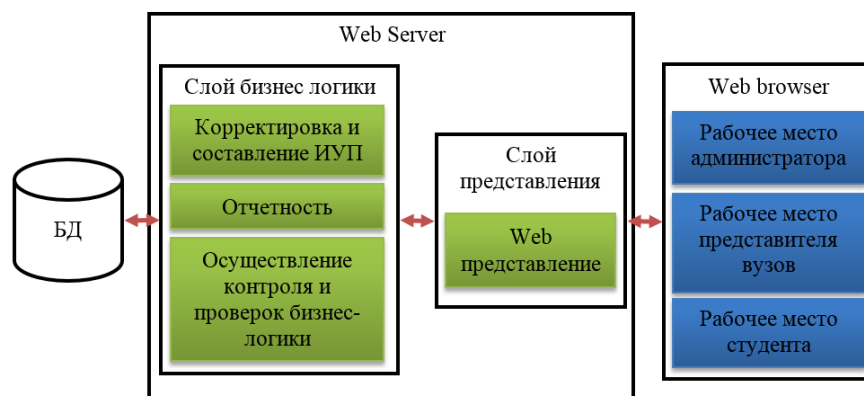


Рис 20. Архитектура ИС

Внешний вид рабочего места представителя вуза в разработанной ИС представлен на рис 21. На данном рисунке изображена совокупность сформированных с помощью ИС оптимальных ИУП студентов с учетом их предпочтений. Помимо просмотра сформированных ИУП, представителям вуза так же доступны разделы:

- работы с данными студентов
- настройки ограничений вузов
- работы с учебными группами студентов
- настройки свойств СОП (набор модулей и их зависимости).

Студент	Индивидуальный учебный план			
	ТюмГУ	ВУЗ 2	ВУЗ 3	ТюмГУ
Тимофеев П. И. (ТюмГУ-ПМИ-16)	Модуль Первый	Модуль 2	Модуль 3	Модуль Четвертый
Лекомцев С. В. (ПНИПУ-ПМИ-16)	ПНИПУ	ВУЗ 2	ВУЗ 3	ПНИПУ
Симбирцев В. А. (ТюмГУ-ПМИ-16)	ТюмГУ	ВУЗ 2	ВУЗ 3	ТюмГУ
Рязанцев А. П. (НГТУ-ПМИ-2016)	НГТУ	ВУЗ 2	ВУЗ 3	НГТУ
Смирнов В. К. (ТюмГУ-ПМИ-16)	ТюмГУ	ВУЗ 2	ВУЗ 3	ТюмГУ

Рис 21. Внешний вид рабочего места представителя вуза в разработанной ИС

Разработанная информационная система зарегистрирована в государственном Реестре программ для ЭВМ (приложение 1) и используется в Пермском национальном исследовательском политехническом университете (ПНИПУ) при управлении сетевым взаимодействием вузов (приложение 2). Также она входит в состав коммерческого информационного продукта «ИАС Университет» (разработчик - группа компаний ИВС), который внедряется в различных вузах, в том числе: ПНИПУ, Пермский государственный медицинский университет и Уральский государственный

(приложение 3) лесотехнический университет, что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Созданная архитектура позволяет так же разработать личный кабинет студента, в котором он сможет заносить данные о предпочтениях изучения модулей, просматривать свой сформированный индивидуальный учебный план, а также получать необходимые сведения о вузах и образовательной программе. К примеру, сведения о кадровом составе вуза, особенностях преподавания того или иного модуля и т.д. Подобная информированность студентов необходима для повышения уровня точности выбора наиболее подходящего вуза для изучения модуля, выбора учебных курсов внутри модуля и т.д., более полной реализации индивидуально-ориентированного подхода к освоению образовательной программы [62]. Вся сумма этих факторов отражается, в итоге, в профессиональном росте студента и его удовлетворенностью полученным образованием.

3.7.Выбор программной технологии

Для создания программного средства будет использована технология Microsoft .Net Framework. В данной технологии используется промежуточный язык – CIL (Common Intermediate Language) или просто IL (Intermediate Language), что определяет наличие свойства кроссплатформенности на уровне скомпилированного проекта (в терминах .NET: сборка), а не только на уровне исходного текста, как, например, в С. Принцип работы .NET приложения представлен на рис 22



Рис 22. Принцип работы .NET приложения

Центральной элементом, обеспечивающим описанный принцип работы .NET среды является его общезыковая исполняющая среда, известная как Common Language Runtime (CLR). Код, выполняемый под управлением CLR, часто называют управляемым кодом. Тем не менее, следует отметить, что первым шагом перед выполнением в CLR, исходный текст программы должен быть скомпилирован в IL. Таким образом, компиляция в .NET состоит из двух шагов:

1. Компиляция исходного кода в IL
2. Компиляция IL в специфичный для платформы код с помощью CLR

Intermediate Language (промежуточный язык Microsoft) имеет общую с байт-кодом Java идею низкоуровневого языка, который впоследствии может быть транслирован в машинный код.

Как следствие, во время выполнения может быть проведена финальная стадия компиляции программы, что позволяет запустить и выполнить код на любой платформе. Другими словами, именно компиляция в IL обеспечивает платформенную независимость .NET — во многом так же, как компиляция в байт-код Java обеспечивает независимость от платформы программам на Java.

Возможности, предоставляемые данной технологией так же увеличивают ее привлекательность. Версия, которую будем использовать – 4.5.

3.8. Выводы по главе

Для решения задачи управления индивидуальными учебными планами студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе, были успешно применены генетические алгоритмы. Наибольшая точность была достигнута при размере популяции 150 особей и вероятности мутации 0,6. Средняя точность при этом равна 0,870793, а медиана точности равна 0,883466. Дальнейшее увеличение числа особей в популяции приводит уже к снижению точности.

Следует отметить, что решение, полученное при помощи генетических алгоритмов в условиях данной задачи, с вероятностью 90% не является допустимым, если множество допустимых значений имеет мощность, существенно меньшую множества всех возможных значений (например, $2,56 \cdot 10^{-5} \%$).

При низком размере популяции (например, менее 50 особей) имеет место скорее стохастический перебор значений, в результате чего точность зависит от вероятности мутации: чем выше вероятность мутации, тем выше точность решения.

Описанный генетический алгоритм составления ИУП студентов был реализован в виде информационной системы. В её основу легла трёхуровневая архитектура и паттерн проектирования MVC. Первым уровнем ИС является web-браузер, в котором пользователь работает в своем рабочем web-кабинете. Вторым уровнем является web-сервер, на котором выделяется модель данных, слой бизнес-логики и выполнения бизнес-операций, а также механизм формирования представлений для пользователей. Третьим уровнем в архитектуре является централизованная база данных, хранящая сведения об образовательных программах, вузах, студентах, истории их обучения, их предпочтениях и сформированных индивидуальных учебных планах.

Разработанная информационная система была зарегистрирована в государственном Реестре программ для ЭВМ, включена в состав коммерческого продукта и процесс управления ИУП студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе в ПНИПУ.

В качестве программной технологии для реализации ИС была выбрана технология Microsoft .NET 4.5. Выбор данной технологии связан с её обширными возможностями, которые предоставляются разработчику, а также с кроссплатформенностью разрабатываемых приложений. Кроссплатформенность .NET-приложений обусловлена двухшаговой компиляцией: вначале исходный код компилируется в промежуточный IL-язык, а в момент выполнения происходит компиляция в машинные команды, которые уже исполняются CPU.

Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения генетических алгоритмов для задачи оптимального составления индивидуальных учебных планов студентов при сетевом управлении при условии подбора таких параметров алгоритма, как размер популяции и вероятность мутации. Существует и потребность вузов в таком алгоритме. Однако требуется провести испытания алгоритма в реальных условиях, т.к. текущие выводы были сделаны на основании демонстрационного примера.

4. Апробация применения информационной системы принятия решений при управлении индивидуальными учебными планами студентов

4.1. Описание сетевой образовательной программы

Работа описанного ранее генетического алгоритма и разработанной информационной системы будет рассмотрен на примере решения задачи построения ИУП студентов, обучающихся в международной магистратуре «Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия», в рамках международного проекта «Успех» («Success») (544019-TEMPUS-1-2013-1-ATTEMPUS-JPCR), проектирование согласованного учебного плана которой приведено в [75].

Условия данной задачи можно сформулировать следующим образом. Пусть сетевую магистерскую программу реализуют 4 вуза: ВУ31 (Пермский национальный исследовательский политехнический университет), ВУ32 (Национальный исследовательский Санкт-Петербургский государственный политехнический университет), ВУ33 (Томский политехнический университет), ВУ34 (Южно-Уральский государственный университет). Сама сетевая программа состоит из 4 модулей, каждый из которых имеет трудоемкость 30 зачетных единиц и реализуется в течение одного семестра. По договоренности между вузами в рамках данной сетевой программы студенты могут пройти только один – третий по счету модуль в любом вузе-партнере, остальные модули должны были быть изучены в базовом вузе.

Также вузами принято решение об образовательной цели данного модуля, которая определяется формированием профессиональных компетенций ПК–4, 6, 7, 9 из федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлению «Конструкторско-

технологическое обеспечение машиностроительных производств», соответствующих двум видам профессиональной деятельности выпускника вузов: проектно-технологической и научно-исследовательской.

Для формирования базовой части совместного учебного модуля каждый вуз было предложено три дисциплины или практических раздела, которые поддерживаются в нем высокопрофессиональными педагогическими кадрами, необходимым методическим, информационным и материально-техническим обеспечением:

ВУЗ 1:

- Системы автоматизированного проектирования NX Unigraphics и ProEngineer и их практическое применение
- Междисциплинарный конструкторско-технологический проект, выполняемый в автономных исследовательских группах
- Управление качеством продукции и промышленной безопасностью машиностроительных производств

ВУЗ 2:

- Методология инженерной деятельности
- Технологии разработки программного обеспечения машиностроения
- Метрологическое обеспечение машиностроительных производств

ВУЗ 3:

- Управление данными об изделии PlanningTeamcenter Scheduler
- Автоматизированное проектирование, моделирование и прототипирование изделий с использованием систем Siemens NX и SolidWorks
- Автоматизированное управление технологическим оборудованием с использованием систем Siemens NX и CamWorks

ВУЗ 4:

- Математическое моделирование технологических процессов и производств
- Методология проектирования эффективных технологий изготовления машиностроительных изделий
- Средства и методы управления качеством жизненного цикла изделия в машиностроении

После согласования представителями вузов в базовую часть учебного модуля были включены следующие дисциплины общей трудоемкостью 13 зачетных единиц:

- Системы автоматизированного проектирования NX Unigraphics и ProEngineer и их практическое применение.
- Методология инженерной деятельности.
- Управление данными об изделии Planning-Teamcenter Scheduler.
- Математическое моделирование технологических процессов и производств.

Т.к. эти дисциплины входят в базовую часть учебного модуля, они будут являться обязательными для всех студентов, участвующих в освоении данной СОП. Вариативную часть рассматриваемого учебного модуля каждый из вузов-партнеров формирует самостоятельно исходя из полноты формирования заявленной образовательной цели и с учетом особенностей профиля вузовской образовательной программы и традиций университета.

По договоренности каждый вуз набрал по 10 студентов. Таким образом, общее количество студентов, обучающихся на сетевой программе – 40 человек, каждый из которых должен изучить 1 модуль в другом вузе (третий по счету). Каждый вуз установил ограничения на количество студентов, которые в нем могут изучать согласованный учебный модуль: от 8 до 12. Каждый студент определил свои предпочтения по изучению модуля в каждом из вузов. Данные предпочтения представлены в таблице (таблица 11),

где 1 соответствует наибольшему желанию студента изучить модуль в вузе, а 0 - наименьшему:

Таблица 11. Предпочтения студентов

Студент	Базовый вуз	Приоритет студента	ВУЗ1	ВУЗ2	ВУЗ3	ВУЗ4
1.	ВУЗ1	2	-	0,6	0,1	0,1
2.	ВУЗ1	2	-	0,8	0,6	0,3
3.	ВУЗ1	2	-	0,5	0,6	0,6
4.	ВУЗ1	2	-	0,4	0,3	0,5
5.	ВУЗ1	2	-	0,1	0,2	0,7
6.	ВУЗ1	2	-	0,3	0,5	0,4
7.	ВУЗ1	2	-	0,6	0,2	0,3
8.	ВУЗ1	2	-	0,2	0,4	0,6
9.	ВУЗ1	2	-	0,6	0,6	0,5
10.	ВУЗ1	2	-	0,5	0,7	0,4
11.	ВУЗ2	1	1	-	0,6	0,1
12.	ВУЗ2	2	1	-	0,8	0,6
13.	ВУЗ2	1	1	-	0,5	0,6
14.	ВУЗ2	2	1	-	0,4	0,3
15.	ВУЗ2	2	1	-	0,1	0,2
16.	ВУЗ2	2	1	-	0,3	0,5
17.	ВУЗ2	2	1	-	0,6	0,2
18.	ВУЗ2	2	1	-	0,2	0,4
19.	ВУЗ2	2	1	-	0,6	0,6
20.	ВУЗ2	2	1	-	0,5	0,7
21.	ВУЗ3	2	1	0,6	-	0,1
22.	ВУЗ3	2	1	0,8	-	0,6
23.	ВУЗ3	2	1	0,5	-	0,6
24.	ВУЗ3	2	1	0,4	-	0,3

Студент	Базовый вуз	Приоритет студента	ВУЗ1	ВУЗ2	ВУЗ3	ВУЗ4
25.	ВУЗ3	2	1	0,1	-	0,2
26.	ВУЗ3	2	1	0,3	-	0,5
27.	ВУЗ3	2	1	0,6	-	0,2
28.	ВУЗ3	2	1	0,2	-	0,4
29.	ВУЗ3	2	1	0,6	-	0,6
30.	ВУЗ3	2	1	0,5	-	0,7
31.	ВУЗ4	2	1	0,6	0,1	-
32.	ВУЗ4	2	1	0,8	0,6	-
33.	ВУЗ4	2	1	0,5	0,6	-
34.	ВУЗ4	2	1	0,4	0,3	-
35.	ВУЗ4	2	1	0,1	0,2	-
36.	ВУЗ4	2	1	0,3	0,5	-
37.	ВУЗ4	2	1	0,6	0,2	-
38.	ВУЗ4	2	1	0,2	0,4	-
39.	ВУЗ4	1	1	0,6	0,6	-
40.	ВУЗ4	2	1	0,5	0,7	-

Так как прохождение одного модуля в другом вузе является обязательным условием рассматриваемой программы, желания изучения модуля в собственном, базовом вузе не собирались и в соответствующих ячейках в таблице 11 проставлены «-».

В таблице так же отражен приоритет студента. Желания студентов с меньшим приоритетом должны быть удовлетворены в первую очередь. В каждой конкретной ситуации определение приоритета студента может осуществляться по-своему или всем студентам может быть присвоен один приоритет – тогда студенты будут считаться равными. При определении приоритета могут учитываться академические, научные, спортивные успехи студента, его социальный статус или любые другие признаки. В нашем

случае у трёх студентов (11, 13, 39) задан приоритет 1, у остальных – 2. Таким образом, студенты 11, 13 и 39 обладают более высоким приоритетом при учете предпочтений.

Требуется найти такое распределение студентов по вузам для изучения третьего модуля, которое бы удовлетворяло следующим ограничениям:

- выполняются ограничения каждого вуза на количество студентов, изучающих этот модуль в его стенах;
- минимум удовлетворенности студентов с первым приоритетом был максимален;

и при котором медиана их удовлетворенности (соответствующий коэффициент из таблицы) была бы максимальной. При этом считается, что в индивидуальном учебном плане каждого студента первый, второй и четвертый модули сетевой образовательной программы должны быть изучены в базовом для студента вузе (в который он поступил), а третий должен быть изучен в другом вузе-партнере.

4.2. Демонстрационный пример решения частной задачи управления индивидуальными учебными планами студентов

Описанная задача является частным случаем общей задачи построения ИУП студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе, которая была описана в главе 1.

В данном случае, целевая функция задачи принимает следующий вид $W = Me(w_1, \dots, w_s)$, где w_i – коэффициент удовлетворенности i -го студента текущим решением.

Под точностью решения будем понимать отношение значения целевой функции найденного решения к максимальному значению целевой функции для данной задачи, умноженное на 100%. Для оценки точности решения,

полученного при помощи генетического алгоритма, было найдено максимальное значение целевой функции описанной задачи методом полного перебора, которое оказалось равно 0,7.

Так как точность генетических алгоритмов имеет вероятностный характер, то будет выполняться ряд запусков алгоритма, на основании которых будут делаться выводы о точности решения в статистическом смысле. Будем считать приемлемой точностью для данной задачи точность не ниже 80% в 80% запусков [110].

Результат, полученный после серии запусков алгоритма, без учета приоритетов студентов представлен в таблице 12.

Таблица 12. Распределение студентов на третий модуль без учета приоритетов студентов

Студент	Базовый вуз	Выбранный вуз, коэффициент удовлетворенности студента и уровень выбранного вуза в предпочтениях студента
1	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
2	ВУ31	ВУ32 (0,8) – 1
3	ВУ31	ВУ34 (0,6) – 1
4	ВУ31	ВУ34 (0,5) – 1
5	ВУ31	ВУ34 (0,7) – 1
6	ВУ31	ВУ33 (0,5) – 1
7	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
8	ВУ31	ВУ34 (0,6) – 1
9	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
10	ВУ31	ВУ33 (0,7) – 1
11	ВУ32	ВУ33 (0,6) – 2
12	ВУ32	ВУ33 (0,8) – 2
13	ВУ32	ВУ34 (0,6) – 2

14	BY32	BY31 (1) – 1
15	BY32	BY31 (1) – 1
16	BY32	BY31 (1) – 1
17	BY32	BY33 (0,6) – 2
18	BY32	BY31 (1) – 1
19	BY32	BY33 (0,6) – 2
20	BY32	BY34 (0,7) – 2
21	BY33	BY32 (0,6) – 2
22	BY33	BY32 (0,8) – 2
23	BY33	BY34 (0,6) – 2
24	BY33	BY31 (1) – 1
25	BY33	BY31 (1) – 1
26	BY33	BY31 (1) – 1
27	BY33	BY32 (0,6) – 2
28	BY33	BY31 (1) – 1
29	BY33	BY34 (0,6) – 2
30	BY33	BY34 (0,7) – 2
31	BY34	BY32 (0,6) – 2
32	BY34	BY32 (0,8) – 2
33	BY34	BY33 (0,6) – 2
34	BY34	BY31 (1) – 1
35	BY34	BY31 (1) – 1
36	BY34	BY31 (1) – 1
37	BY34	BY32 (0,6) – 2
38	BY34	BY31 (1) – 1
39	BY34	BY33 (0,6) – 2
40	BY34	BY33 (0,7) – 2

В полученном решении значение целевой функции равно 0,7. Точность решения, при этом, равна 100%. График, отражающий вероятность достижения заданной точности для рассматриваемой задачи представлен на рис 23.

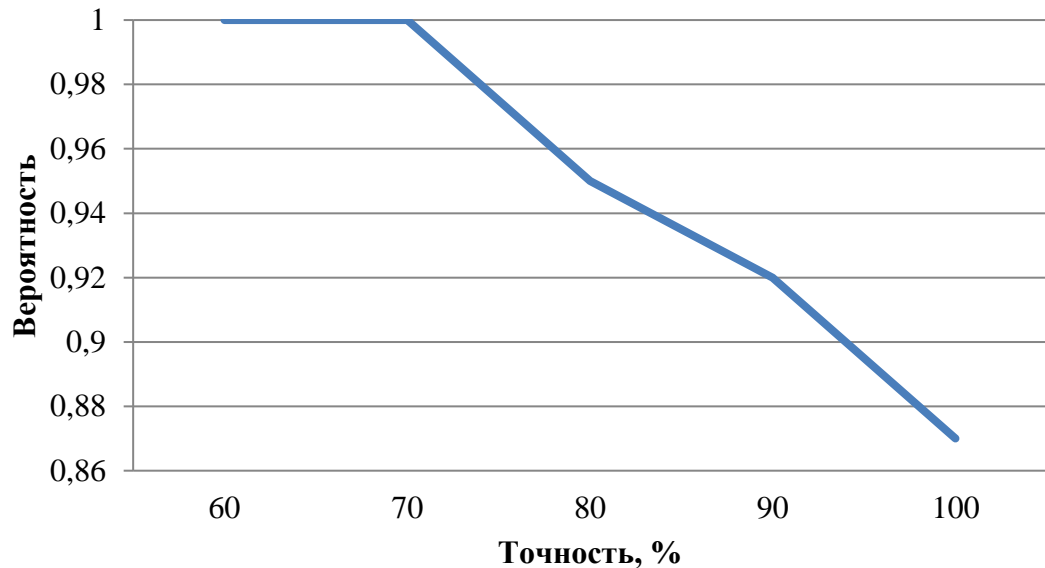


Рис 23. Вероятность достижения точности

В представленном решении распределение студентов по вузам, в которых они изучают третий модуль, выглядит следующим образом:

1. ВУЗ1 – 12
2. ВУЗ2 – 10
3. ВУЗ3 – 9
4. ВУЗ4 – 9

Из результатов, представленных в табл.2, видно, что для 22 студентов был выбран наиболее предпочтительный с его точки зрения вуз, для остальных – второй по предпочтительности. Т.е. нет ни одного студента, для которого бы был выбран наименее предпочтительный вуз.

Однако данное распределение не учитывает приоритеты студентов. Результат, полученный после серии запусков алгоритма, с учетом приоритетов студентов представлен в таблице 13.

Таблица 13. Распределение студентов на третий модуль с учетом приоритетов студентов

Студент	Базовый вуз	Выбранный вуз, коэффициент удовлетворенности студента и уровень выбранного вуза в предпочтениях студента
1	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
2	ВУ31	ВУ32 (0,8) – 1
3	ВУ31	ВУ34 (0,6) – 1
4	ВУ31	ВУ34 (0,5) – 1
5	ВУ31	ВУ34 (0,7) – 1
6	ВУ31	ВУ33 (0,5) – 1
7	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
8	ВУ31	ВУ34 (0,6) – 1
9	ВУ31	ВУ32 (0,6) – 1
10	ВУ31	ВУ33 (0,7) – 1
11	ВУ32	ВУ33 (0,6) – 2
12	ВУ32	ВУ33 (0,8) – 2
13	ВУ32	ВУ34 (0,6) – 2
14	ВУ32	ВУ31 (1) – 1
15	ВУ32	ВУ31 (1) – 1
16	ВУ32	ВУ31 (1) – 1
17	ВУ32	ВУ33 (0,6) – 2
18	ВУ32	ВУ31 (1) – 1
19	ВУ32	ВУ33 (0,6) – 2
20	ВУ32	ВУ34 (0,7) – 2
21	ВУ33	ВУ32 (0,6) – 2
22	ВУ33	ВУ32 (0,8) – 2
23	ВУ33	ВУ34 (0,6) – 2

24	ВУ33	ВУ31 (1) – 1
25	ВУ33	ВУ31 (1) – 1
26	ВУ33	ВУ31 (1) – 1
27	ВУ33	ВУ32 (0,6) – 2
28	ВУ33	ВУ31 (1) – 1
29	ВУ33	ВУ34 (0,6) – 2
30	ВУ33	ВУ34 (0,7) – 2
31	ВУ34	ВУ32 (0,6) – 2
32	ВУ34	ВУ32 (0,8) – 2
33	ВУ34	ВУ33 (0,6) – 2
34	ВУ34	ВУ31 (1) – 1
35	ВУ34	ВУ31 (1) – 1
36	ВУ34	ВУ31 (1) – 1
37	ВУ34	ВУ32 (0,6) – 2
38	ВУ34	ВУ31 (1) – 1
39	ВУ34	ВУ33 (0,6) – 2
40	ВУ34	ВУ33 (0,7) – 2

В полученном решении значение целевой функции также равно 0,7. Точность решения, при этом, равна 100%. На этом примере можно видеть, что может существовать несколько возможных распределений студентов с максимальным значением целевой функции. Такая ситуация дает возможность выбора из множества оптимальных решений, полученных с помощью генетического алгоритма, необходимого распределения студентов лицом, принимающим решения (ЛПР). При этом ЛПР при выборе «наилучшего» решения может учитывать дополнительные приоритеты студентов, например, их успехи в обучении в базовом вузе, материальные возможности студентов и т.п. Такой подход делает полученное решение более «справедливым» и максимально учитывает предпочтения студентов.

4.3. Демонстрационный пример применения информационной системы для решения общей задачи управления индивидуальными учебными планами студентов

На практике решение подобной задачи осуществляют сотрудники вузов, которым необходим как инструмент, выполняющий расчет, так и удобный инструмент для занесения первичных данных. Как уже было описано, в рамках данной работы такие инструменты были созданы и собраны в программном средстве SopSuite, реализующем описанный выше алгоритм построения индивидуальных учебных планов студентов и интерфейс для занесения необходимых для расчета данных.

Рассмотрим сценарий работы с SopSuite на примере решения задачи составления индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся в международной магистратуре «Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия», в рамках международного проекта «Успех» («Success») (544019-TEMPUS-1-2013-1-ATTEMPUS-JPCR).

В первую очередь, в систему заносятся перечень вузов. В соответствии с условиями задачи, их 4: вуз 1, вуз 2, вуз 3, вуз 4. Интерфейс их занесения представлен на рис 24.

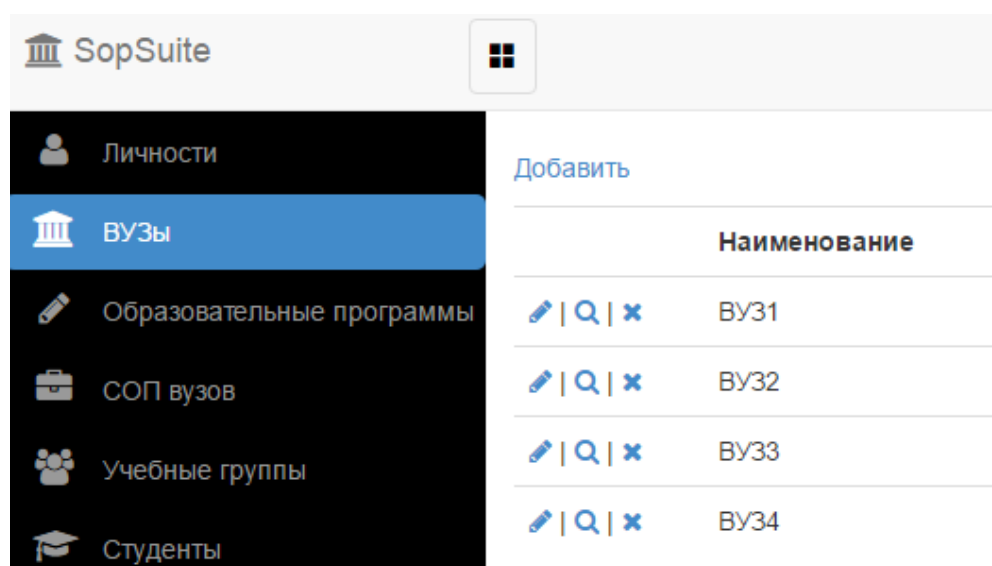


Рис 24. Интерфейс занесения вузов

Система SopSuite позволяет одновременно работать с различными сетевыми образовательными программами. Данная возможность особенно актуальна для вузов, участвующих сразу в нескольких СОП. В соответствии с условиями задачи, осуществляется ввод образовательной программы «Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия» и входящих в нее модулей. Интерфейс ввода сетевой образовательной программы изображен на рис 25.

Наименование	Модули						
Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Наименование</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>✗ Первый</td> </tr> <tr> <td>✗ Второй</td> </tr> <tr> <td>✗ Третий</td> </tr> <tr> <td>✗ Четвертый</td> </tr> <tr> <td>+ Добавить</td> </tr> </tbody> </table>	Наименование	✗ Первый	✗ Второй	✗ Третий	✗ Четвертый	+ Добавить
Наименование							
✗ Первый							
✗ Второй							
✗ Третий							
✗ Четвертый							
+ Добавить							

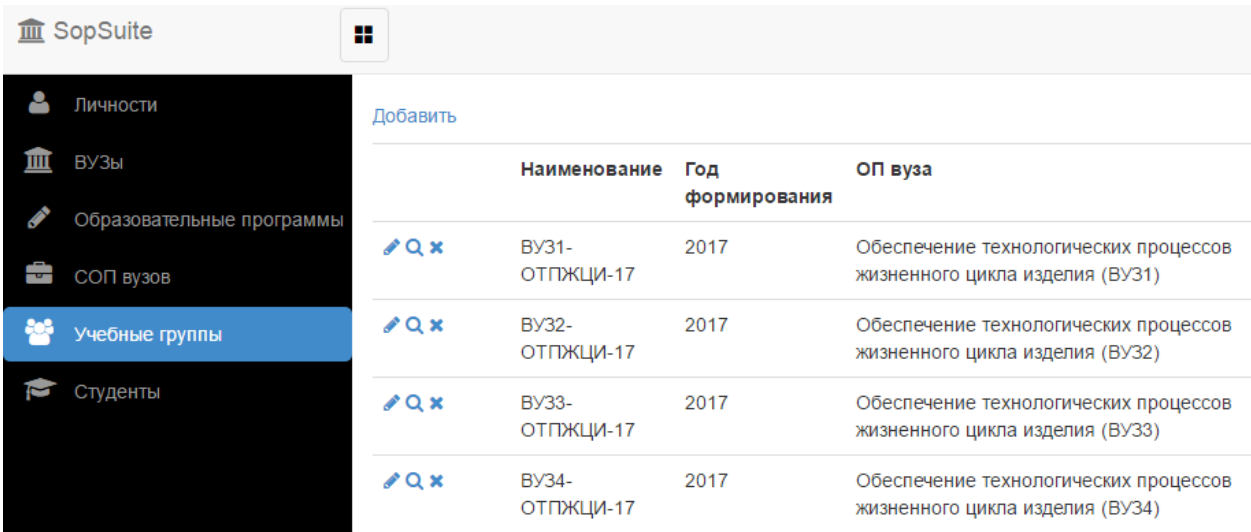
Рис 25. Интерфейс ввода сетевой образовательной программы

Как уже говорилось, один и тот же вуз может участвовать в реализации различных СОП, система также позволяет производить поддержку принятия решений при составлении индивидуальных учебных планов студентов для нескольких образовательных программ. В соответствии с этим, требуется указать соответствие вузов и сетевых образовательных программ. Интерфейс указания такого соответствия представлен на рис 26.

ВУЗ	Образовательная программа
ВУ31	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия
ВУ32	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия
ВУ33	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия
ВУ34	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия

Рис 26. Интерфейс указания соответствия вузов и СОП

При определении условия реализации СОП может быть принято соглашение о возможности набора каждым вузом не одной, а сразу нескольких учебных групп. Следующим шагом в работе с информационной системой SopSuite является создание соответствующих учебных групп вузов. При этом, есть возможность занесения нескольких учебных групп для одного вуза. В рамках рассматриваемой задачи, было создано 4 учебных группы – по одной на каждый вуз. Интерфейс создания учебных групп изображен на рис 27.















SopSuite			
Добавить			
	Наименование	Год формирования	ОП вуза
  	ВУ31-ОТПЖЦИ-17	2017	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия (ВУ31)
  	ВУ32-ОТПЖЦИ-17	2017	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия (ВУ32)
  	ВУ33-ОТПЖЦИ-17	2017	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия (ВУ33)
  	ВУ34-ОТПЖЦИ-17	2017	Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия (ВУ34)

Рис 27. Интерфейс занесения учебных групп

После создания учебных групп, появляется возможность занесения студентов. Для занесения потребуется указать группу каждого студента. Одновременно с этим есть возможность сразу указать предпочтения студентов для изучения каждого модуля в рамках сетевой образовательной программы. Следует отметить, что в данном примере рассматривается работа с SopSuite представителей вузов (ЛПР). Для упрощения работы сотрудников вузов, архитектура системы позволяет реализовать личные кабинеты студентов, в которых они смогут самостоятельно указать все свои предпочтения. Ввод предпочтений осуществляется на уровне нечетких категорий: «Очень хочу», «Хочу», «Не очень хочу», «Не хочу». Далее осуществляется перевод предпочтений из таких категорий при помощи

аппарата нечетких множеств в соответствующие коэффициенты. Интерфейс ввода данных о студентах представлен на рис 28.

Скриншот интерфейса ввода данных о студентах в системе SopSuite. Интерфейс включает панель навигации с меню: Личности, ВУЗы, Образовательные программы, СОП вузов, Учебные группы, Студенты. Основная форма для студента содержит поля для: Личность (Студент № 11), Учебная группа (ВУЗ2-ОТПЖЦИ-17). Ниже расположена таблица выбора модулей для четырех вузов (ВУЗ1, ВУЗ2, ВУЗ3, ВУЗ4).

	ВУЗ1	ВУЗ2	ВУЗ3	ВУЗ4
Первый модуль	Не хочу ▾	Очень хочу ▾	Не хочу ▾	Не хочу ▾
Второй модуль	Не хочу ▾	Очень хочу ▾	Не хочу ▾	Не хочу ▾
Третий модуль	Очень хочу ▾	Не хочу ▾	Хочу ▾	Не хочу ▾
Четвертый модуль	Не хочу ▾	Очень хочу ▾	Не хочу ▾	Не хочу ▾

В нижней части формы находится кнопка "Сохранить".

Рис 28. Интерфейс ввода данных о студентах

После внесения данных о студентах, система получила всю информацию, необходимую для осуществления расчета. Соответственно, на следующем шаге можно выполнить сам расчет. При разработке информационной системы было учтено, что выполнение расчета, может занимать продолжительное время. Поэтому выполнение расчета происходит в асинхронном режиме. Это означает, что пользователь ставит в очередь задачу на осуществление расчета и далее может выполнять в системе любые другие действия, в том числе и выйти из нее. Расчет, в этом случае, осуществляется на сервере и не зависит от текущего сеанса пользователя и его последующих действий. После получения решения, пользователь получает оповещение и может просмотреть результат в виде, представленном на рис 29.

Расчет от 5 октября 2016

Дата 05.10.2016

Вариант 1 Вариант 2 Вариант 3

Показатель удовлетворенности студентов 0,7

Студент	Индивидуальный учебный план			
	ВУ31	ВУ31	ВУ32	ВУ31
Студент №1 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №2 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №3 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №4 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №5 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №6 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №7 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №8 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №9 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №10 (ВУ31-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №11 (ВУ32-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4
Студент №12 (ВУ32-ОТПЖЦИ-17)	Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4

Рис 29. Интерфейс просмотра результатов расчета

Результат расчета представляет собой несколько наборов индивидуальных учебных планов студентов, имеющих наибольшее значение целевой функции. Как видно из рис 29, пользователю доступно переключение между различными наборами (на рисунке – кнопки «Вариант 1», «Вариант 2», «Вариант 3»). Выбор конкретного варианта в качестве решения поставленной задачи осуществляется лицом, принимающим решение. ЛПР выбирает наиболее подходящий вариант из предложенных на основании различной дополнительной информации, такой как успехи студента, его материальное положение, социальный статус или различные семейные обстоятельства.

На рассмотренном примере решения реальной задачи управления индивидуальными учебными планами студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе можно увидеть все шаги от занесения справочной информации (перечень вузов, сведения об образовательной программе) до осуществления окончательного построения индивидуальных учебных планов студентов. Построение ИУП студентов осуществляется при помощи ранее рассмотренного метода, базирующегося на генетических алгоритмах. Архитектура, лежащая в основе информационной системы SopSuite позволяет создавать дополнительные модули для упрощения работы ЛПР: личные кабинеты студентов для самостоятельного занесения предпочтений и программные интерфейсы (API) для интеграции с существующими системами вузов и получения всех сведений о группах и студентах из них.

4.4. Выводы по главе

В данной главе было рассмотрено применение описанного в главе 3 метода построения индивидуальных учебных планов студентов в условиях сетевого взаимодействия вузов, в основе которого лежит генетический алгоритм. Условия задачи взяты из задачи построения ИУП студентов, обучающихся в международной магистратуре «Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия», в рамках международного проекта «Успех» («Success») (544019-TEMPUS-1-2013-1-ATTEMPUS-JPCR).

При этом распределение студентов с максимальным значением целевой функции может оказаться не единственным. В таком случае, лицо, принимающее решение, может выбрать окончательное распределение из набора найденных решений. В основу выбора «наилучшего» решения может

быть положен принцип учета приоритетов студентов. Приоритет студента может вычисляться, к примеру, на основании их успехов в учебе, материальные возможности студентов и т.п. Такой подход делает полученное решение более «справедливым».

Результаты применения описанного в главе 3 метода являются приемлемыми (точность 100% достигается в 87% случаев, точность 90% достигается в 92% случаев, точность 80% достигается в 95% случаев). Следует отметить, что точность на практическом примере оказалась выше, чем на тестовом примере (точность 80% достигалась в 90% случаев). Из этого можно сделать вывод о применимости в реальных условиях метода для решения задач составления индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе.

Заключение

В результате диссертационной работы решена актуальная научно-практическая задача разработки моделей и программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении сетевым взаимодействием вузов в условиях реализации сетевых образовательных программ. Решение данной задачи позволяет повысить эффективность управления сетевым взаимодействием вузов в современной системе высшего образования за счет применения интеллектуальных средств поддержки принятия решений при построении и корректировке индивидуальных учебных планов студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе и определении наиболее оптимальной совокупности индивидуальных учебных планов с точки зрения удовлетворения потребностей студентов и выполнения ограничений на ресурсы вузов.

В соответствии с целями и задачами исследования получены следующие основные результаты диссертационной работы:

1. С позиции системной методологии осуществлен анализ проблемы управления взаимодействием вузов при реализации сетевых образовательных программ. Показано, что для эффективной реализации сетевого взаимодействия вузов необходимо осуществление некоторых необходимых условий, в частности, модульная структура сетевой образовательной программы и формирование индивидуальных учебных планов студентов с учетом их предпочтений и возможностей каждого вуза-участника. Определены основные функции и предложена концептуальная модель системы управления сетевой образовательной программой, предусматривающая необходимость интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений при формировании и корректировке

индивидуальных учебных планов студентов с учетом их нечетких предпочтений и ограничений на ресурсы вузов.

2. Осуществлена математическая постановка задачи управления индивидуальными учебными планами студентов, обучающихся на сетевой образовательной программе, с учетом нечеткости исходной информации в виде предпочтений студентов. В качестве критерия оптимальности в задаче управления была использована медиана полноты учета предпочтений студентов, а ограничения задачи выступали структурно-логические связи между учебными модулями СОП и ресурсы каждого вуза. Для поставленной задачи при большом количестве возможных вариантов решений в качестве метода решения был выбран генетический алгоритм, для которого обоснованы параметры настройки, позволяющие при малых затратах машинного времени определять оптимальные учебные траектории обучения каждого студента с учетом всех предпочтений и ограничений со стороны вузов.
3. Предложена структурная модель системы управления сетевой образовательной программой, в которой распределены роли каждого участника сети при построении и согласовании индивидуальных учебных планов. Разработано программное обеспечение, реализующее предложенные модели и алгоритмы в виде прототипа автоматизированной системы управления сетевой образовательной программой. Разработанное программное обеспечение зарегистрировано в государственном Реестре программ для ЭВМ, внедрено в процесс управления ИУП студентов, обучающихся по сетевой образовательной программе в ПНИПУ, и включено в состав коммерческого программного продукта ИАС «Университет».

4. Осуществлена апробация разработанного прототипа информационной системы при управления учебным процессом в рамках сетевого взаимодействия вузов, в качестве одного из участников которого выступает ПНИПУ. Показано, что при внедрении разработанной автоматизированной системы управления повысилось качество планирования учебного процесса реализации сетевой образовательной программы за счет более полного удовлетворения предпочтений студентов и снизились временные и материальные затраты на формирование и корректировку индивидуальных учебных планов.

Список литературы

1. Абрамов М.В., Шек В.М. Трехуровневая архитектура современных информационных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2003. – №4. – С.124-126.
2. Авдеев А.А. Применение генетических алгоритмов к задачам оптимизации // Доклады «ТУСУР». – 2008. – №2(18), часть I. – С. 110-111.
3. Алескерев Ф. Т., Кисельгоф С. Г. Лауреаты Нобелевской премии – 2012: Ллойд Шепли и Элвин Рот // Экономический журнал ВШЭ. – 2012. – № 4. – С. 433–442.
4. Андреев В.В., Герова Н.В. Требования к информационной системе управления учебным процессом вуза // Программные продукты и системы. – 2010. – №1. – С. 135-137.
5. Антонов А.С. Введение в параллельные вычисления (методическое пособие). – М.: Изд-во Физического факультета МГУ, 2002.
6. Антух А.Э., Карпенко А.П. Глобальная оптимизация на основе гибридизации методов роя частиц, эволюции разума и клональной селекции // Наука и образование. – 2012. – № 8. – С. 379-416.
7. Артамонова Ю.Д., Демчук А.Л., Караваева Е.В. Совместные образовательные программы вузов: состояние, проблемы, перспективы — М. : КДУ, 2011. — 56 с.
8. Асадуллин Р.М., Васильев Л.И. Принципы построения индивидуальных образовательных траекторий на основе самоорганизации студентов // Педагогический журнал Башкортостана. – 2012. – №5 (42). – С. 58-66.
9. Асадуллин Р.М. Сетевое взаимодействие вузов: опыт региона // Педагогический журнал Башкортостана. – 2015. – №2. – С. 7-9.
10. Бабкина Т.С. Задача составления расписаний: решение на основе многоагентного подхода // Бизнес-информатика. – 2008. – №1. – С. 23-28.

11. Баркалов С.А., Первалова О.С., Санина Н.В. Модель определения последовательности выполнения проектов инвестиционной программы, дающей максимальную социально-экономическую результативность // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – №2.2. – С. 243-248.
12. Баталов А.Э., Синева И.С. Алгоритмы генетического кодирования при различных конфигурациях пространства источника // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №7. – С. 53-59.
13. Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике». – Нижний Новгород, 2007, 85 с.
14. Бахвалов С.В., Берестнева О.Г., Марухина О.В. Применение онтологического моделирования в задачах организации учебного процесса вуза // Онтология проектирования. – 2015. - № 4(18). – С. 387-398.
15. Беляков В.С. Методы и средства индивидуализации образования в распределенном университете: диссертация кандидата экономических наук. – Москва, 2005. – 188 с.
16. Белянова М.А. Метод имитации отжига и его применение при решении оптимизационных задач // Молодежный научно-технический вестник. – 2016. – №3. – С. 26.
17. Бильтрикова А.В. Статистика бедности: региональные показатели // Социодинамика. – 2016. – №11. – С. 22-27.
18. Бондаренко Е.Н. Технологии и методы обучения студентов в зарубежном педагогическом вузе // Высшее образование в России. – 2009. – №6. – С.132-138.
19. Бондарик В.Н., Коргин Н.А. Механизмы распределения ресурсов на основе неманипулируемых симметричных анонимных процедур

- голосования с делегированием // Проблемы управления. – 2012. – № 5. – С. 26-32.
20. Бочарников В.П. Fuzzy-технология: математические основы, практика моделирования в экономике. – С.Пб: Наука РАН, 2001. – 328 с.
21. Бурков В.Н., Адамец Д.Ю., Баркалов С.А., Насонова Т.В. Модели назначения в задачах календарного планирования // Экономика и менеджмент систем управления. – 2018. – №1. – С. 54-64.
22. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Чу Донг Сюань. Механизмы согласованного планирования // Экономика и менеджмент систем управления. – 2017. – №2.2. – С. 248-254.
23. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.
24. Бурков В.Н., Ловецкий С.Е. Эвристический подход к решению динамических задач распределения ресурсов // Автоматика и телемеханика. – 1966. – №5. – С. 82-90.
25. Варламов О.О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. – М: Радио и связь, 2002. – 286 с.
26. Верещагина Н.О., Харитонов О.В. Сетевое взаимодействие Герценовского университета: от разработки к реализации // Современный университет: теория и практика. – 2013. – №4. – С. 13-22.
27. Весна Е.Б., Гусева А.И. Оценка результативности и эффективности сетевых образовательных программ // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scienceeducation.ru/113-11000> (дата обращения: 07.02.2017).
28. Весна Е.Б., Гусева А.И. Модели взаимодействия организаций при сетевой форме реализации образовательных программ // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/113-10934 (дата обращения: 07.02.2017).

- 29.Власенко А.А., Шашкин А.И. Разработка алгоритма построения учебного плана в рамках адаптивной системы дистанционного образования // Вестник Воронежского государственного университета, серия: системный анализ и информационные технологии. – 2014. – №1. – С. 109-116.
- 30.Галузин К.С., Столбов В.Ю. Гибридный алгоритм решения задачи составления оптимального учебного расписания//Информационные технологии в образовании: Сб. трудов XIII международной конференции-выставки. – М., 2003. – С. 130-131.
- 31.Гараба И. В. Сравнительный анализ методов решения задачи коммивояжера для выбора маршрута прокладки кабеля сети кольцевой архитектуры // Молодежный научно-технический вестник. – 2013. – № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/636966.html> (дата обращения: 04.02.2017).
- 32.Гитман М.Б., Данилов А.Н., Столбов В.Ю., Южаков А.А. Модели сетевого взаимодействия вузов при подготовке кадров высшей квалификации // Университетское управление : практика и анализ. – 2012. – №3. – С. 69-73.
- 33.Глущенко А.И. Автоматизированное адаптивное управление процессом обучения в ВУЗе: монография [Текст] / А.И. Глущенко, Ю.И. Еременко, И.В. Уварова. – Старый Оскол: ООО «Тонкие наукоемкие технологии», 2009. – 152 с.
- 34.Глущенко А.И. Информационная система принятия решений по формированию индивидуальных учебных планов // Управление большими системами. – Вып.15. – М: ИПУ РАН,2006. – С.79-91.
- 35.Гончарова Е.В., Чумичева Р.М. Организация индивидуальной образовательной траектории обучения бакалавров // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2012. – №2. – С. 1-9.
- 36.Гречин И.В., Сороколетов П.В. Проектирование вычислительного комплекса для принятия решений // Известия Южного федерального

- университета. Технические науки. – 2007. – Выпуск №2, том 77. – С. 191-194
37. Гурьянова Т.Н., Каримова Л.К. Применение информационных систем в образовательной, научной и административной деятельности вуза (на примере КФУ) // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №8. – С. 381-383.
38. Дворянкин А.М., Чалышев В.С. Обзор методов составления расписания вузов // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – №9. – С. 110-113.
39. Денкс К.А., Якунин Ю.Ю., Ярещенко Д.И. Задача синтеза индивидуальных учебных планов обучения в пространстве виртуальных учебных групп // Прикладная информатика. – 2015. – №6. – С. 118-127.
40. Дли М.И., Гимаров В.В., Глушко С.И., Иванова И.В. Нечетко-продукционный муравьиный алгоритм оптимизации транспортной сети предприятия // Транспортное дело России. – 2013. – №5. – С.135-136.
41. Додонова, М. М. Изучение различных постановок задачи о рюкзаке и методов их решения // Молодежь и наука: сборник материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2014 [Электронный ресурс]. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html> (дата обращения: 17.03.2017)
42. Егоров Д.В. Решение оптимизационной задачи коммивояжера с использованием интеллектуального муравьиного алгоритма // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки: сб. ст. по мат. IV междунар. студ. науч.-практ. конф. № 4. URL: <http://sibac.info/archive/technic/4.pdf> (дата обращения: 14.02.2017)
43. Ермаков А.В. Оценка экономической эффективности использования мультисервисной информационной системы вуза // Научный результат. Серия «Экономические исследования». – 2015. – №3. – С. 88-94.

44. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. О случайном поиске глобального экстремума // Теория вероятностей и ее применения. – 1983. – № 1. – С. 129–136.
45. Ефремов А.П. «Кредиты» и учебный процесс // Проблемы введения системы зачетных единиц в высшем профессиональном образовании / Под ред. В.Н. Чистохвалова. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 100 с.
46. Ехлаков Ю.П., Силич М.П., Ахметов Б.С. Методология моделирования информационной образовательной среды вуза. – Алматы: ТОО «Издательство LEM», 2008. – 336 с.
47. Жирабок А.Н. Нечеткие множества и их использование для принятия решений // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – №2. – С. 109-115.
48. Зайцев И.Д. Верификация мультиагентных систем с помощью цепей Маркова: оценка вероятности нахождения агентами оптимального решения // Программные продукты и системы, Тверь. – 2013. – том 4. – С. 89-93.
49. Заседатель В.С., Лощилова М.А. Особенности сетевого взаимодействия в образовательном процессе технического вуза // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Развитие единой образовательной информационной среды». Томск. – 2015. – С. 99-103.
50. Заседатель В.С., Лощилова М.А. Особенности сетевого взаимодействия в образовательном процессе технического вуза // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Развитие единой образовательной информационной среды». Томск. – 2015. – С. 99-103.
51. Зимин С.Н. Составление учебного расписания, используя теорию графов // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – № 11. – С. 89-90.
52. Зеер Э.Ф., Сыманюк Э.Э. Индивидуальные образовательные траектории в системе непрерывного образования // Педагогическое образование в России. – 2014. – С. 74-82.

- 53.Иваницкая А.В., Едемская Е.Н. Решение задачи маршрутизации в среде VBA // 2 всеукраинская студенческая научно-техническая конференция «Современные информационные технологии в образовании и научных исследованиях (СИТОНИ-2011) 13-14 октября 2011г. Сборник научных трудов студентов, магистров и преподавателей. – Донецк, 2011.- С.17 -22.
- 54.Иванов С.В. Преимущества генетических алгоритмов и их применение в медицине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. - №10. – С. 44-47.
- 55.Ильин В.А., Леонидова Г.В., Попова В.И. Научно-образовательный центр ИСЭРТ РАН – точка роста научно-технического потенциала региона // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – №6 (30). – С. 32-44.
- 56.Кажаров А. А., Курейчик В. М. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач. // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2010. – № 1. – С. 32-45.
- 57.Каирова Н.Х. Анализ интегральных и материальных показателей уровня жизни населения региона (на примере Кабардино-Балкарской республики) // Успехи современной науки и образования. – 2016. – №10. – С. 35-41.
- 58.Казённов А.М. Основы технологии CUDA // Компьютерные исследования и моделирование. – 2010. – Т. 2, № 3. – С. 295-308.
- 59.Калашников А.В., Костенко В.А. Параллельный алгоритм имитации отжига для построения многопроцессорных расписаний // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2008. – № 3. – С.101–110.
- 60.Карпенко А.П., Селиверстов Е.Ю. Обзор методов роя частиц для задачи глобальной оптимизации (particle swarm optimization) // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2009. – № 3. – С. 11-18.
- 61.Килин Г.А., Кавалеров Б.В., Один К.А. Применение генетического алгоритма в задачах настройки и оптимизации систем управления

- газотурбинными установками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – №10. – С. 7-19.
- 62.Кириенкова Н.В., Свиридов А.Н. Индивидуальный образовательный маршрут в системе психолого-педагогического сопровождения студентов вуза // Мир науки, культуры, образования. – 2015. – №2 (51). – С. 10-13.
- 63.Кисельгоф С.Г. Обобщенные паросочетания при предпочтениях, являющихся простейшими полупорядками: стабильность и оптимальность по Парето // Автоматика и телемеханика. – 2014. – №6. – С. 103-114.
- 64.Климов А.А. Нормативно-подушевое финансирование вузов // Методология, теория и методика экономики образования. – 2007. – №3. – С. 22-27.
- 65.Князев Е.А., Дрантусова Н.В. Сети в профессиональном образовании // Университетское управление: практика и анализ. – 2010. - №5. – С. 24-31.
- 66.Козлов В.Н. Системный анализ, оптимизация и принятие решений. – М.: Проспект, 2010. – 173 с.
- 67.Коновалова Ю.В., Сатыбалдина Е.В. Развитие сетевых форм реализации образовательных программ на примере опыта Уральского федерального университета // Социум и власть. – 2015. - №5(55). – С. 26-30.
- 68.Коновалова Ю.В., Сатыбалдина Е.В. Разработка и реализация совместных образовательных программ как фактор повышения качества результатов обучения // Дискуссия. – Ноябрь 2015. - № 10 (62) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.journal-discussion.ru/publication.php?id=1493> (дата обращения: 15.01.2017).
- 69.Коргин Н.А. Неманипулируемые механизмы планирования в организационных системах при нетрансферабельной полезности: новые результаты и перспективы // XII всероссийское совещание по проблемам

- управления ВСПУ-2014: сборник трудов конференции, г. Москва, 16-19 июля 2014 г. — Москва. — 2014. — С. 5325-5331
70. Косолапова Л.А. Специфика образовательной деятельности педагогического вуза // Высшее образование сегодня. — 2015. — №2. — С. 19-25.
71. Кошур В.Д. Глобальная оптимизация на основе гибридного метода усреднения координат и метода роя частиц // Вычислительные технологии. — 2013. — Т. 18. № 4. — С. 36-47.
72. Курейчик В.М., Кажаров А.А. Использование роевого интеллекта в решении пр-трудных задач // Известия Южного федерального университета. — 2011. — №7, том 120. — С. 30-36.
73. Лазарев Е.А., Шапошников Д.Е., Мисевич П.В. Метод ветвей и границ для оптимизации структуры сети передачи данных // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2012. — №14. — С. 189-193.
74. Лебедев Б.К., Лебедев О.Б., Лебедева Е.М. Муравьиный алгоритм построения бинарного дерева решений // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2016. — №7 (180). — С. 74-88.
75. Лобов Н.В., Столбов В.Ю., Гитман М.Б. Сетевое взаимодействие вузов: методика проектирования совместной образовательной программы // Высшее образование сегодня. — 2014. — №5. — С.40-45.
76. Логиновский О.В., Максимов А.А., Халдин К.С. Управление материальными ресурсами промышленного предприятия в современных условиях // Динамика сложных систем – XXI век. — 2016. — №2. — С. 33-38.
77. Лопатин А.С. Метод отжига // Стохастическая оптимизация в информатике. — СПб. : Изд-во СПбГУ, 2005. Вып. 1. С. 133–149.
78. Ляхов А.В., Свистун Е.А. Информационные системы планирования ресурсов предприятия // Экономика промышленности. — 2007. — №3 (38). — С. 99-106.

79. Матушкин Н.Н., Кузнецова Т.А., Пахомов С.И. О междисциплинарных образовательных программах подготовки кадров высшей квалификации // Университетское управление: практика и анализ. – 2010. – № 4. – С. 55-59.
80. Мицель А.А., Черняева Н.В. Методы управления траекторией обучения // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт. – 2015. – С. 262-266.
81. Минаков И.А., Сравнительный анализ некоторых методов случайного поиска и оптимизации // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 1999. – №2. Том 1. – С. 286-293.
82. Новиков А.М., Новиков Д.А. Модернизация управления образованием // Народное образование. – 2005. – №5. – С. 74.
83. Новиков Д.А. Модели и механизмы управления развитием региональных образовательных систем (концептуальные положения). – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2001. – 83 с.
84. Новиков Д.А. Общие принципы управления региональными образовательными системами // Профессионал. – 2001. – №4. – С. 30.
85. Новиков Д.А. Сетевые структуры и организационные системы. – М.: ИПУ РАН (научное издание), 2003. – 102 с.
86. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 [3] с.
87. Пестриков Д.В. Модели взаимодействия организаций при сетевой форме реализации образовательных программ на психологическом факультете Академии ФСИН России // Сборник материалов по итогам научно-методической конференции «Сетевое взаимодействие образовательных организаций ФСИН России при организации образовательной и научной деятельности». Рязань, 26-27 марта 2015 г., С. 6 – 14.

88. Пешкова О.В. Об одном подходе к оценке эффективности автоматизации управления ресурсами предприятия // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2007. – №6. – С. 110-112.
89. Подлазова А.В. Генетические алгоритмы на примерах решения задач раскрытия // Проблемы управления. – 2008. – №2. – С. 57-63.
90. Полутин С.В., Маколов В.И. Мониторинг удовлетворенности студентов обучением в вузе в системе менеджмента качества университета // Интеграция образования. – 2007. – №1. – С. 29-35.
91. Похолков Ю.П., Корнева О.Ю. Интеграция знаний в области науки и образования как часть международных миграционных процессов // Особенности миграционной политики. Проблемы, поиски, решения: научно-методические материалы международной молодежной конференции, г. Томск, 12-15 сентября 2012 г. — Томск. – 2012. — С. 57-73
92. Похолков Ю.П., Рожкова С.В., Толкачева К.К. Применение практико-ориентированных образовательных технологий при подготовке инженерных кадров // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – №16. – С. 56-59.
93. Пушкарев Д.Н. Сетевое взаимодействие в сфере образования: модели и опыт применения // Сборник материалов по итогам научно-методической конференции «Сетевое взаимодействие образовательных организаций ФСИИ России при организации образовательной и научной деятельности». Рязань, 26-27 марта 2015 г., С. 6 – 14.
94. Пытьев Ю.П. Возможность как альтернатива вероятности. Математические и эмпирические основы, применение. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 464 с.
95. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польского И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006 – 452 с.

96. Савин А.Н., Тимофеева Н.Е. Применение алгоритма оптимизации методом отжига на системах параллельных и распределенных вычислений // Известия Саратовского университета. Серия математика. Механика. Информатика. – 2012. – №1. Том 12. – С. 110-116.
97. Сальников А.М., Ярошенко Е.А., Гребенник О.С., Спиридонов С.В. Введение в параллельные вычисления. Основы программирования на языке Си с использованием интерфейса MPI. – М.: ИПУ РАН, 2009. – 123 с.
98. Сидорин А.Б., Ликучева Л.В., Дворянкин А.М. Методы автоматизации составления расписания занятий. Часть 2. Эвристические методы оптимизации // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – № 12. Том №7. – С. 120-123.
99. Соколев А.Б. Проблемы и перспективы сетевого взаимодействия // Universum: Вестник Герценовского университета. – 2014. – № 3-4. – С. 3-11.
100. Соколова И.Ю. Структурно-логические схемы – дидактическое основание информационных технологий, электронных учебников и комплексов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=7920> (дата обращения: 28.01.2017).
101. Судаков С.П., Аверьянова И.Э., Воротынцев А.Ю. Основные принципы модульного учебного процесса // Методы обучения и организация учебного процесса в ВУЗе – Рязань.: Изд-во Медиа-Рос, 2011 – с. 9-11
102. Суханова Е.А. Разработка и реализация сетевых образовательных программ как проблема организационных изменений в системе образования // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – №358. – С.206-210.
103. Троценко Р.В., Посашенко А.В. Обзор метода имитации отжига и его модификаций в аспекте применимости к решению задачи комплектации вычислительной системы минимальной стоимости в условиях дефицита

- времени // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XI междунар. науч.-практ. конф. № 4(11). – Новосибирск: СибАК, 2014.
104. Ускова Е.О. Интеграционные процессы в современном образовании // Культура и образование. – Сентябрь 2014. – № 9 [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-rzi.ru/2014/09/2271> (дата обращения: 15.01.2017).
105. Федеральный закон РФ от 29 декабря 2012 г (ред. от 03.07.2016) N 273 ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // Российская газета от 6 июня 2016 г. N 121.(с изм. и доп., вступающими в силу с 01.09.2016).
106. Хасухаджиев А.С., Сибикина И.В. Обобщенный алгоритм составления расписания в вузе с учетом новых требований федеральных государственных образовательных стандартов // Вестник АГТУ. Сер: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – №3. – С.78-86.
107. Чириков И. С. Академическое развитие в университетах: опыт зарубежных // Университетское управление: практика и анализ. – 2010. – № 5. – С. 15-23.
108. Чугунов А. П. Задача управления сетевым взаимодействием вузов // Материалы XI Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами», 9-12 сентября 2014 г. [Электронный ресурс]. URL: www.ipu.ru/sites/default/files/youngUBS2014.zip (дата обращения 20.10.2015 г.)
109. Чугунов А.П. Модернизация генетического алгоритма для решения задачи построения ИУП студентов в условиях межвузовской кооперации // Материалы XII Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Управление большими системами», Волгоград, 10-13 сентября 2015 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ipu.ru/sites/default/files/youngUBS2015.zip> (дата обращения 23.05.2017)
110. Чугунов А.П., Столбов В.Ю. Применение генетического алгоритма для решения задачи построения индивидуальных учебных планов студентов в

- условиях сетевого взаимодействия вузов // Системы управления и информационные технологии, – 2016. – №4(66). – С. 101-106.
111. Чугунов А.П., Столбов В.Ю. Управление взаимодействием вузов при реализации сетевых образовательных программ // Университетское управление: практика и анализ. – 2014. – № 3(91). – С. 126-132.
112. Чучалин А.И., Петровская Т.С., Чернова О.С. Сетевое взаимодействие образовательных организаций высшего и среднего профессионального образования при реализации программ прикладного бакалавриата // Высшее образование в России. – 2013. – №11. – С. 3-10.
113. Шамова. Т.И., Давыденко Т.М., Шибанова Г.Н. Управление образовательными процессами. – М.: Академия, 2002. – 384 с.
114. Шелехова Л.В., Персонологическая стратегия математического образования будущего учителя: монография. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 384 с.
115. Шестаков А.Л., Шефер Л.А. Модернизация образовательной структуры высшего учебного заведения // Современное образование: содержание, технологии, качество. – 2017. – Том №1. – С. 17-18.
116. Шипулин В.И. Индивидуализация образовательной траектории студентов в Северо-Кавказском федеральном университете // Материалы I Международной научно-методической конференции. ФГАОУ ВПО "Северо-Кавказский федеральный университет" "Проектирование образовательных траекторий студентов в ВУЗе". Ставрополь. – 2014. – С. 149-155.
117. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – №4. – С.70-75.
118. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы. М.: Лаборатория знаний, 2016. – 221 с.
119. Ясницкий Л.Н., Кузнецов А.Г., Селезнева С.М., Солохина А.Д., Тюлькина Д.В., Черепанов Ф.М. Применение нейросетевых технологий в изучении акмеологического потенциала студентов вуза // Вестник

- Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2014. – № 4 (27). – С. 120-126.
120. Angel E., Vampis E., Kononov A. On the approximate tradeoff for bicriteria batching and parallel machine scheduling problems // *Theoretical Computer Science*. – 2003. – V. 306, N 1-3. – P. 319–338.
121. Forman M.C. Compression of Integral Three Dimensional Television Pictures // Ph. D. Thesis at De Montfort University Leicester. 2000. United Kingdom.
122. Forman M.C., Aggoun A., McCormick M. Simulated Annealing for Optimisation and Characterisation of Quantisation Parameters in Integral 3D Image Compression // *The Institute of Mathematics and its Applications*. Horwood. – 2000. – P. 393-413.
123. Gale D., Shapley L.S. College Admissions and the Stability of Marriage // *The American Mathematical Monthly*. 1962. № 69 (1). P. 9–15.
124. George C. Scott, Ross D. Shachter Individualizing generic decision models using assessments as evidence // *Journal of Biomedical Informatics*. – 2005. – №38. – P. 281-297.
125. Goldberg D. E. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading. – MA: Addison-Wesley, 1989.
126. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems // *The University of Michigan Press*, 1975, P. 228
127. Ingber L., Mondescu R. P. Optimization of Trading Physics Models of Markets // *IEEE Trans. Neural Networks*. 12(4). 2001. P. 776-790.
128. Ingber L., Wilson J. K. Statistical mechanics of financial markets: Exponential modifications to Black-Scholes // *Mathematical Computer Modelling*. 31(8/9). – 2000. – P. 167-192.
129. J Kennedy, R Eberhart. Particle swarm optimization. // *Proceedings of IEEE International conference on Neural Networks*. – 1995. – P. 1942–1948

130. Jeong C., Kim M. Fast Parallel Simulated Annealing for Traveling Salesman Problem on SIMD Machines with Linear Interconnections // *Parallel Computing*. – 1991. – N 17. – P. 221-228.
131. Jerald J., Asokan P., Prabakaran G., Saravanan R. Scheduling optimization of flexible manufacturing systems using particle swarm optimization algorithm // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2005. – N 25. – P. 964-971.
132. Karoon Suksonghong, Kittipong Boonlong, Kim-Leng Goh Multi-objective genetic algorithms for solving portfolio optimization problems in the electricity market // *Electrical power and energy systems*. – 2014. – N 58. – P. 150-159.
133. Kellerer H., Pferschy U., Pisinger D. *Knapsack Problems* // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004. – 548 p.
134. Marjan Laal, Knowledge management in higher education // *Procedia Computer Science*. – 2011. – N 3. – P. 544-549.
135. Michael Held, Alan J. Hoffman, Ellis Lane Johnson, Philip Wolfe, Aspects of the traveling salesman problem // *IBM Journal of Research and Development*. – 1984. – V. 28 Issue 4. – P. 476-486.
136. Roth A.E., Sotomayor M.A.O. *Two-sided Matching: A Study in Game-Theoretic Modeling and Analysis*. Cambridge University Press, 1990.
137. Ruiz Corbella, Marta, Garcia Aretio, Lorenzo Virtual mobility in higher education (chance or utopy) // *Revista española de pedagogia*. – 2010. – V 68. – P. 243-259.
138. Wiesemann W., Kuhn D., Rustem B. Ann Multi-resource allocation in stochastic project scheduling // *Annals of Operations Research*. – 2012. - №193. – P. 193-220.

Приложение 1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017613465

«Система интеллектуальной поддержки принятия решений
при управлении сетевыми образовательными программами
вузов» (SopCure)

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Пермский
национальный исследовательский политехнический
университет» (RU)*

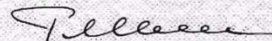
Авторы: *Чугунов Александр Петрович (RU),
Столбов Валерий Юрьевич (RU)*

Заявка № 2017610795

Дата поступления 01 февраля 2017 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 23 марта 2017 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



Приложение 2. Акт внедрения результатов диссертационной работы в коммерческий продукт

ООО «ПроИнфоСервис»

Тимирязева ул., д. 24а, Пермь, 614007

Тел. (342) 238-53-00, 238-53-80

ОГРН 1095904005097, ИНН 5904206332, КПП 590401001

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы
Чугунова Александра Петровича на тему
«Модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений при
управлении сетевыми образовательными программами вузов с учетом
индивидуальных предпочтений студентов»
в состав информационной системы КИС «Университет»

Сетевая форма реализации образовательных программ является сравнительно новой в Российской Федерации. В связи с этим, существующие решения автоматизации деятельности вузов не имеют функционала по информационной поддержке данной формы реализации образовательных программ. Однако с каждым годом количество сетевых образовательных программ в России увеличивается, что обуславливает наличие ниши на рынке в этом сегменте.

Работа Александра Чугунова включает в себя концептуальное описание проблемы взаимодействия вузов при реализации сетевых образовательных программ, алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений, позволяющий работать с нечеткими предпочтениями студентов, а также его программная реализация.

С учетом описанной ситуацией на рынке, работу А.П. Чугунова можно отнести к классу наиболее востребованных и перспективных на текущий момент как с точки зрения научной, так и с точки зрения коммерческой, практической составляющей.

Внедрение результатов работы А.П. Чугунова в состав КИС «Университет» позволяет:

1. Получить конкурентное преимущество нашего продукта на рынке систем автоматизации деятельности вузов;
2. Автоматизировать новую для Российской Федерации деятельность, связанную с организацией сетевой формы реализации образовательных программ;
3. Использовать программное решения совместно с существующими системами вузов, что повышает его привлекательность для заказчиков.

Таким образом, результаты исследований А.П. Чугунова внедрены в КИС «Университет» в качестве дополнительного модуля, также проведены работы по интеграции с существующими модулями.

Директор ООО «ПроИнфоСервис»



А.В. Шлыков

Приложение 3. Акт внедрения результатов диссертационной работы в ПНИПУ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет» (ПНИПУ)



УТВЕРЖДАЮ
Директор по учебной работе
Н.В. Лобов
« » _____ 20__ г.

АКТ

о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы
аспиранта кафедры «Вычислительная математика и механика»
А.П. Чугунова на тему «Модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки
принятия решений при управлении сетевыми образовательными
программами вузов с учетом индивидуальных предпочтений студентов»
в систему управления учебным процессом

В период 2012 – 2016 гг. в рамках мероприятия 1.1. программы развития ПНИПУ как национального исследовательского университета на 2009 – 2018 г.г. осуществлялись работы по совершенствованию системы управления учебным процессом, в том числе по разработке и внедрению сетевых образовательных программ. За данный период разработано несколько сетевых образовательных программ, спроектированных совместно с отечественными и зарубежными вузами, в том числе в рамках международного проекта «Успех» («Success») (544019-TEMPUS-1-2013-1-ATTEMPUS-JPCR) разработана международная магистерская программа «Обеспечение технологических процессов жизненного цикла изделия», в реализации которой участвуют 4 российских и 3 зарубежных вуза.

Основной целью разработки межвузовских образовательных программ являлось повышение качества подготовки выпускников и эффективности использования существующей материально-технической базы вузов, участвующих в сетевом взаимодействии.

В диссертационной работе А.П. Чугунова (научный руководитель – В.Ю. Столбов, д.т.н., профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета), предлагаются модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений, учитывающие нечеткие предпочтения студентов при реализации сетевых образовательных программ вуза, а также их программная реализация в виде прототипа информационной системы управления сетевыми образовательными программами вуза.

В рамках данной работы построена концептуальная модель взаимодействия вузов при реализации сетевой образовательной программы с учетом ее модульной

структуры и требований ФГОС ВО, а также разработан эффективный алгоритм управления индивидуальными учебными планами студентов при сетевом взаимодействии вузов, реализованный в виде прототипа автоматизированной системы поддержки принимаемых управленческих решений.

Внедрение результатов работы А.П. Чугунова в систему управления учебным процессом университета позволяет:

- более полно учитывать интересы студентов, участвующих в освоении сетевой образовательной программы, за счет учета их предпочтений при формировании индивидуальных учебных планов;
- оценивать возможности каждого вуза при реализации сетевой образовательной программы;
- управлять учебным процессом освоения студентами межвузовской образовательной программы путем корректировки индивидуальных учебных планов при изменении предпочтений студентов и возможностей вузов;
- повысить уровень автоматизации процесса формирования и корректировки индивидуальных учебных планов студентов на различных этапах реализации сетевых образовательных программ.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс подготовки студентов по направлению 27.04.04 – Управление в технических системах. В рамках магистерской программы – Информационные технологии в управлении производственными процессами, реализуемой на кафедре «Автоматика и телемеханика», полученные результаты использовались при чтении дисциплин: «Управление проектами», «Управление в условиях неопределенности» и «Проектирование интеллектуальных информационных систем», а также при выполнении научно-исследовательской работы студентов и проведении научно-исследовательского семинара.

С использованием разработанного прототипа сформированы индивидуальные образовательные траектории студентов, участвующих в сетевых образовательных программах вуза, с учетом их предпочтений по выбору вуза, в котором возможно освоение соответствующего учебного модуля.

Начальник управления образовательных программ,
канд. техн. наук, доцент

/Д.С. Репецкий/

Зав. кафедрой «Автоматика и телемеханика»,
докт. техн. наук, профессор

/А.А. Южаков/