

ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

Киселева Екатерина Игоревна

**РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ И  
АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ С  
ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ МЕТОДОВ**

Специальность 05.13.17

Теоретические основы информатики  
диссертация на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор Астахова И. Ф.

**ВОРОНЕЖ – 2018**

## Оглавление

Введение.....	5
Глава 1. Анализ существующих подходов к созданию обучающих средств с использованием компьютерных технологий.....	11
1.1. Проблема использования компьютерных технологий в обучении.....	11
1.2. Классификация средств обучения, созданных с применением компьютерных технологий.....	14
1.3. Обзор современных средств обучения с использованием компьютерных технологий.....	17
1.4. Использование технологий искусственного интеллекта в обучающих системах.....	26
1.5. Выводы.....	30
Глава 2. Разработка и исследование математической модели обучающей системы.....	32
2.1. Структурная модель обучающей системы.....	32
2.2. Математическая модель обучающей системы .....	35
2.3. Исследование модели обучающей системы с использованием теории алгебр.....	42
2.4. Выводы.....	50
Глава 3. Использование различных технологий для оптимизации компонентов обучающей системы.....	51
3.1. Оптимизация структуры теоретической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы.....	51
3.2. Сравнение результатов выполнения предложенного алгоритма оптимизации структуры теоретической части курса с использованием	

искусственной иммунной системы с аналогичными, полученными другими авторами.....	64
3.3. Алгоритм оптимизации содержания практической части курса с использованием искусственной иммунной системы.....	74
3.4. Оценка знаний обучающихся с использованием нейронной сети.....	77
3.5. Выводы.....	79
Глава 4. Программная реализация предложенных алгоритмов.....	80
4.1. Интерфейс пользователя.....	80
4.2. Организация работы с базой данных.....	82
4.3. Организация модулей, предназначенных для работы обучающихся с системой.....	85
4.4. Схема работы модуля оптимизации.....	86
4.4.1. Описание работы модуля, реализующего оптимизацию структуры теоретической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы.....	87
4.4.2. Описание работы модуля, реализующего оптимизацию содержания практической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы.....	89
4.5 Инструкция по работе с программным комплексом.....	93
4.6. Выводы.....	97
Заключение.....	99
Литература.....	100

Приложение 1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.....	112
Приложение 2. Акт об использовании результатов диссертационной работы.....	113

## Введение

**Актуальность.** Развитие компьютерных технологий предоставляет большие возможности для модернизации процесса обучения. В современную практику вошло множество новых понятий: единое образовательное пространство, единая образовательная информационная среда, виртуальный университет, массовые открытые онлайн курсы.

В разработке и реализации алгоритмов функционирования обучающих систем с применением компьютерных технологий приняли участие Г.А. Балл, Е.И. Машбиц, Л.В. Зайцева, Л.П. Новицкий, Л.А. Растрин, Эренштейн М.Х., Ю.И. Лобанов А.Д. Селиванов, В.В. Съедин, Токарева В.С., Е.Н. Пасхин, А.Н. Печников. Развитие сетевых технологий и распространение сети Интернет открыло новые образовательные возможности, создав предпосылки для развития дистанционного обучения и интеллектуальных обучающих систем. Появились и вошли в практику образования массовые открытые онлайн курсы и платформы, предоставляющие возможности для разработки программ дистанционного обучения.

Одними из современных средств обучения с применением компьютерных технологий являются сетевые банки практических заданий, которые широко используются при подготовке школьников к ОГЭ и ЕГЭ. Однако решение всех заданий, содержащихся в подобном банке, требует больших временных затрат из-за большого количества однотипных заданий. В настоящее время отсутствуют алгоритмы выбора оптимального набора заданий, достаточного для достижения поставленных целей.

Интенсивное развитие электронного образования (Electronic learning, E-learning) обусловлено его доступностью, гибкостью, разнообразием используемых средств. Созданы системы, позволяющие организовать и управлять процессом электронного обучения (Learning management systems, LMS – системы управления обучением).

Среди таких обучающих систем можно выделить систему КАДИС, которая используется в настоящее время в некоторых высших учебных заведениях, систему АОСМИКРО, которая предоставляет возможность удаленного доступа, возможность автоматического анализа ответов, позволяет собирать и обрабатывать статистику работы в системе.

Широкую известность получили информационные решения Blackboard Learn, программные продукты E-Learning Server 4G, которые позволяют создавать учебные курсы, тесты, учебные модули, проводить вебинары и видеоконференции, мотивировать обучающихся, отслеживать их активность.

Системы такого рода независимы от конкретной предметной среды обучения. Однако их универсальность не позволяет учитывать индивидуальные особенности учащихся и преподавателей при организации занятий. Разработка обучающих курсов и поддержание работы системы требуют значительных временных и финансовых затрат. Эффективность созданных курсов зависит от возможностей его разработчиков и может быть исследована только в процессе их функционирования.

Другим недостатком современных автоматизированных обучающих систем является их ориентированность на теоретический материал, недостаточное разнообразие дидактических средств, необходимость привлечения программистов для адаптации и видоизменения системы, что снижает ее доступность и экономическую целесообразность.

Современные адаптивные обучающие системы, основанные на применении интеллектуальных технологий, не обладают этими недостатками, однако они имеют ограниченную сферу применения, так как процесс обучения в различных предметных областях существенно отличается.

В настоящее время существуют исследования, направленные на автоматизацию организации и управления обучением в системе дистанционного образования на основе технологий искусственного интеллекта. Для организации работы обучающих систем широко применяются методы

нечеткой логики и искусственных нейронных сетей, генетические алгоритмы. Г. А. Самигулиной разработана экспертная система на основе искусственных иммунных систем, которая позволяет оценивать интеллектуальный потенциал обучающегося, и на этой основе предлагать индивидуальную программу обучения. А.В. Зубовым и Т.С. Денисовой предложена разработка экспертной интернет системы для дистанционного обучения, имеющей возможность анализировать его эффективность на основе тестов, разработанных специалистами в этой области. В.Г. Никитиным и Е.Ю. Бердниковичем разработаны мультимедийные курсы с элементами адаптивного тестирования.

Существующие в настоящее время методы автоматизации разработки и оптимизации обучающих курсов в системах являются недостаточно эффективными и характеризуются узкой направленностью, связанной с конкретной предметной областью. В виду исключительного многообразия практических ситуаций, возникающих при решении задачи создания и оптимизации обучающих курсов, первостепенное значение приобретает исследование системных связей между параметрами с целью построения модели обучающей системы и синтеза информационных технологий, обеспечивающих гибкую настройку для различных предметных областей.

Так же возникают проблемные вопросы разработки алгоритмического и программного обеспечения процедур автоматизации создания и оптимизации учебных курсов в рамках системы с применением компьютерных технологий.

Актуальность исследования определяется необходимостью повышения эффективности решения задачи автоматизации разработки и оптимизации обучающих курсов на основе внедрения новых информационных технологий в различные сферы человеческой жизнедеятельности.

В настоящее время отсутствует единая теория формализации учебного процесса по многим компонентам. Настоящее исследование направлено на решение задачи формализации учебного процесса по нескольким

составляющим с использованием алгоритмов и методов искусственного интеллекта.

**Цель работы и основные задачи.** Целью работы является разработка и исследование модели формализации учебного процесса с использованием методов и алгоритмов искусственного интеллекта. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать математическую модель обучающей системы.
2. Создать алгоритмы оптимизации структуры теоретической и содержания практической частей учебного курса и искусственные иммунные системы для их реализации.
3. Разработать специальное программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы.

**Методы исследования.** При решении поставленных задач использовались методы дискретной математики, нейронных сетей, искусственной иммунной системы, методы математического моделирования и объектно-ориентированного программирования.

**Научная новизна.** Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана математическая модель обучающей системы, отличающаяся формализацией учебного процесса и позволяющая получать новые учебные курсы.
2. Разработаны алгоритмы оптимизации структуры теоретической и содержания практической составляющих учебного курса, отличающиеся использованием искусственной иммунной системы и позволяющие определить их наилучшую структуру.
3. Создано специальное программное обеспечение, отличающееся объединением описанных методов в единую систему, что позволило упростить задачу разработки и оптимизации учебных курсов и оценки результатов тестирования обучающихся.



**Личный вклад автора.** Основные результаты исследований по теме диссертации были получены лично автором и опубликованы в соавторстве с научным руководителем. Научным руководителем определены основные направления исследования.

**Теоретическая и практическая ценность.** Работа имеет теоретический и практический характер. В работе создана математическая модель обучающей системы, проведено исследование модели с использованием теории алгебр и бинарных отношений, разработаны алгоритмы оптимизации ее отдельных компонентов.

Практическая ценность работы состоит в возможности использования разработанных алгоритмов в программном обеспечении для обучающей системы на основе интеллектуальных методов. Результаты работы используются и тестируются в процессе организации самостоятельной работы студентов в Воронежском государственном педагогическом университете. По результатам работы получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017661540 «Система организации и контроля самостоятельной работы студентов по теме «Элементы теории множеств» от 16 октября 2017 г.

**Апробация работы.** Результаты, представленные в диссертации, докладывались и обсуждались на XI Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии и ИТ-образование", (Москва, 2016), на III международной конференции «Информационные технологии и нанотехнологии», (Самара, 2017), на XII Международной научно-практической конференции "Современные информационные технологии и ИТ-образование", (Москва, 2017).

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы в 7 работах. 3 работы опубликованы в журналах, индексируемых в ВАК. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Из

совместных работ в диссертацию вошли только результаты, принадлежащие лично диссертанту.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, разбитых на параграфы, заключения, списка используемой литературы из 113 источников, 2 приложений. Общий объем диссертации 113 страниц. Работа содержит 24 рисунка и 15 таблиц.

**Область исследования.** Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.13.17 – Теоретические основы информатики:

1. Исследование, в том числе с помощью средств вычислительной техники, информационных процессов, информационных потребностей коллективных и индивидуальных пользователей.

13. Применение бионических принципов, методов и моделей в информационных технологиях.

**На защиту выносятся:**

1. Математическая модель формализации учебного процесса.

2. Алгоритмы оптимизации структуры теоретической и содержания практической составляющих курса.

3. Программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы в обучающей системе.

## **Глава1 Анализ существующих подходов к созданию обучающих средств с использованием компьютерных технологий**

### **1.1 Проблема использования компьютерных технологий в обучении**

Развитие аппаратных и программных средств предоставляет большие возможности для модернизации процесса обучения. Появляется все больше методических понятий, связанных применением компьютерных технологий в обучении: единое образовательное пространство, единая образовательная информационная среда, виртуальный университет, массовые открытые онлайн курсы. Термин электронное обучение (Electronic learning, E-learning) интегрирует различные понятия, связанные с использованием информационно-коммуникационных технологий в обучении (таких как компьютерное обучение, адаптивная обучающая система, автоматизированная обучающая система, дистанционное обучение, интерактивное обучение, онлайн-обучение и т.п.).

Интенсивное развитие электронного образования обусловлено его доступностью, гибкостью, разнообразием используемых средств. Обучающимся предлагается большое количество информационных ресурсов: обучающие и контролирующие системы, видеозаписи, электронные библиотеки и многое другое. Электронные средства обучения применяются не только в учебных заведениях, но и там, где ведется специальная подготовка кадров: на крупных предприятиях, военных и гражданских организациях.

Первые обучающие системы появились практически сразу после распространения компьютеров. Первые учебные курсы, созданные с использованием компьютерных технологий, характеризовались небольшим количеством методических функций, делегированием руководящей роли в учебном процессе педагогу [11, 15].

На следующем этапе развития компьютерных обучающих систем поиск исследователей был направлен создание моделей обучения на основе когнитивной психологии и программированного обучения, созданного Б. Скиннером и Н. Краудером [33]

Создание современных автоматизированных обучающих систем (АОС) стало важнейшим этапом в развитии компьютерных средств обучения. Были достигнуты значительные успехи в реализации алгоритмов управления обучением, обеспечения диалогового взаимодействия в учебном процессе.

В этот период большое внимание уделяется поиску путей оптимизации управления автоматизированной обучающей системой, с целью повышения эффективности ее работы. Эти проблемы остаются в центре внимания разработчиков компьютерных систем обучения и в настоящее время [65].

В 70-х годах ведутся исследования возможностей использования при создании автоматизированных обучающих систем идей и методов, разработанных к тому времени в области искусственного интеллекта. Был достигнут успех в исследовании способов представления знаний в предметной области на основе идей искусственного интеллекта.

В начале 80-х годов появились компьютерные системы обучения, основанные на технологиях искусственного интеллекта, содержащие, кроме формализованных предметных знаний, экспертные знания из выбранной области [20]. Применение интеллектуальных технологий изменило подход к проектированию обучающих систем: возникла необходимость в построении модели обучаемого, процесса обучения, предметной области как основы построения процесса обучения. Сложность разработки и реализации таких систем являлась до недавнего времени препятствием в их распространении. Появившиеся в это же время мультимедиа средства способствовали распространению обучающих систем, использующих в обучении звуковые файлы и графику.

В разработке и реализации адаптивных алгоритмов функционирования АОС приняли участие Г.А. Балл, Е.И. Машбиц [63], Л.В. Зайцева, Л.П. Новицкий [38], Л.А. Растрин, Эренштейн М.Х. [79], Ю.И. Лобанов А.Д. Селиванов, В.В. Съедин, Токарева В.С. [66], Е.Н. Пасхин [72], А.Н. Печников [74]. Под адаптацией в автоматизированных обучающихся системах

понимается построение учебного процесса оптимальным образом на основе учета индивидуальных особенностей пользователей.

Продолжалось развитие инструментальных средств разработки систем обучения, проведены исследования по моделям объяснения, автоматическому формированию предметной области [21, 76, 94].

Расширение возможностей персональных компьютеров и систем связи обусловили появление мультимедиа, гипермедиа и сетевых технологий обучения. [2, 61, 86].

К середине 90-х годов наметилось отставание методического обеспечения обучающих систем от уровня развития технических средств обучения. Большинство исследователей указывают на этот разрыв как на причину недостаточного использования возможностей компьютерного обучения [19, 52, 63].

Развитие сетевых технологий и распространение сети Интернет открыло новые образовательные возможности, создав предпосылки для развития дистанционного обучения и интеллектуальных обучающих систем. Появились сетевые библиотеки, Интернет учебники и средства тестирования. Появились виртуальные учебные лаборатории, ресурсы, предоставляющие сетевой доступ к уникальному оборудованию и различным средствам обработки данных, Интернет порталы, интегрирующие сетевые ресурсы, предназначенные для электронного обучения.

Начало 2000-х годов ознаменовалось интенсивными исследованиями методической сферы электронного обучения, рассмотрению вопросов стандартизации и унификации средств и технологий электронного обучения [1, 14, 16, 37, 50, 51]. Появились и вошли в практику обучения массовые открытые онлайн курсы и платформы, предоставляющие возможности для разработки курсов дистанционного обучения. Современные адаптивные системы, основанные на применении технологий искусственного интеллекта, формируют

модель обучаемого и адаптируют образовательный процесс к его индивидуальным потребностям.

## **1.2. Классификация средств обучения, созданных с применением компьютерных технологий**

Существуют различные термины, обозначающие обучающую систему, созданную с применением компьютерных технологий. Встречаются такие термины, как «виртуальная среда обучения», «информационно-предметная среда», «предметная обучающая среда», «информационно-обучающая среда» и др. Наибольшее распространение получил термин «автоматизированная обучающая система». Авторы конкретных систем наполняют это понятие различным содержанием. Часть исследователей акцентируют внимание на автоматизации процесса обучения, другая часть рассматривает АОС как инструмент управления процессом обучения, третья группа исследователей считает назначением автоматизированной системы – оптимизацию процесса обучения.

В настоящее время автоматизированная обучающая система понимается как комплекс технических, лингвистических учебно-методических и программных средств, предназначенных для организации диалога в учебном процессе, образующих среду, заполнение которой не требует специальных знаний в программировании [29]. Этому определению удовлетворяют практически все имеющиеся на сегодняшний день средства поддержки и организации дистанционного обучения.

Обучающие системы делятся на две группы по признаку постановки целей и управления процессом обучения. К одному классу относятся системы, цели в которых ставятся пользователем, и соответственно, управление процессом обучения так же возложено на него, так как системе цели пользователя неизвестны. Такая система содержит изложение учебного материала в различных форматах. К этому классу можно отнести электронный учебник или

учебный курс, полнотекстовую базу данных, которая дает возможность работать с текстами различных авторов. Электронная библиотека представляет совокупность электронных средств обучения в различных предметных областях, поддерживающая функцию поиска информации (по ключевым словам, по предметной области). В мультимедийном электронном учебнике изложение учебной дисциплины в виде текста дополнено файлами в аудио, видео форматах. Это позволяет визуализировать изучаемые процессы и наблюдать их в динамике. Электронные учебник или методическое пособие может содержать средства самоконтроля после окончания каждого раздела учебной дисциплины.

Обучающие системы другого класса характеризуются наличием встроенных целей и детерминированной схемы их достижения. Содержательный материал структурирован, в конце каждого раздела предполагается контроль усвоения, который определяет дальнейшую последовательность обучения. Системы такого класса обладают в разной степени свойствами адаптивности и детерминированности учебного процесса. Автоматизированная обучающая система (АОС) такого типа имеет последовательную схему изложения учебного материала. В зависимости от результатов тестирования обучающемуся может быть предоставлен доступ к следующему разделу, в случае неудовлетворительных результатов предлагается вернуться к изучению текущего раздела.

Если система характеризуется разветвленной структурой обучения, обучающийся в процессе работы с каждым разделом имеет возможность выбирать глубину изложения учебного материала и уровень сложности итогового тестирования. Часто пользователь имеет возможность выбора из текстового, аудио, видео формата изложения учебного материала, выбирая оптимальный с учетом индивидуальных предпочтений.

По принципам взаимодействия обучающих средств и обучаемого программные средства можно разделить на учебные среды и обучающие

программы. Учебная среда предполагает, что обучающий ставит собственные цели обучения и достигает их с помощью программы. Для таких систем характерно отсутствие контроля, так как программе неизвестны цели обучающегося. Для обучающих программ, напротив характерна детерминированность в постановке целей и наличие контроля их достижения.

А.О. Кривошеев [53] предлагает следующую классификацию обучающих программ:

- компьютерные (электронные) учебники обеспечивают возможность самостоятельно изучать учебное содержание;
- предметно ориентированные среды [59, 97, 109] представляют пакеты программ, оперирующих объектами определенного класса;
- лабораторные практикумы дают возможность выполнять лабораторные работы по различным дисциплинам;
- тренажеры служат для отработки практических навыков;
- контролирующие программы предназначены для оценки знаний обучающихся;
- инструментальные системы [10, 17, 68, 93, 112] предназначены для создания учебных программ;
- справочники, базы данных предоставляют студенту различные сведения справочного характера.

Недостатком данной классификации является то, что современные компьютерные системы обучающего назначения содержат черты нескольких классов из указанных.

А.Я. Савельев [82] выделяет автоматизированные обучающие системы, которые определяются как системы, которые позволяют преподавателю собственные курсы в системе и программировать алгоритм их изучения и отдельные пакеты программ, предназначенные для автоматизации трудоемких процессов, оптимизации, исследования математических моделей.



А.В. Соловов [89] предлагает делить программные продукты на две группы. Первую составляют любые программные средства, применяющиеся в обучении. Ко второй группе относятся инструментальные системы, предназначенные для разработки обучающих программ и создания учебных курсов. Однако современные системы имеют признаки как первой, так и второй группы.

В работе [42] предложен многомерный подход к классификации компьютерных учебных систем, предложены следующие качественные показатели: открытость (возможность подключать внешние модули, изменять предметную область, изменять модели и методы обучения в соответствии с пожеланиями преподавателя, адаптироваться к уровню подготовки и цели обучения), тип настройки, наличие обратной связи с обучаемым (контекстная помощь, контроль знаний, учет реакции обучаемого на действия системы), распределенность (поддержка удаленного доступа, поддержка распределенной информации), наличие встроенных возможностей по организации адаптивного управления обучением.

### **1.3 Обзор современных средств обучения с использованием компьютерных технологий**

Современные средства обучения с использованием компьютерных технологий, можно классифицировать следующим образом: мультимедийные энциклопедии, компьютерные системы тестирования, тренажеры и учебно - лабораторные классы, средства разработки обучающих систем. Рассмотрим некоторые из них.

Мультимедийные энциклопедии, справочники, словари обеспечивают мгновенный доступ к требуемой информации, статьи содержат аудио и видео фрагменты, анимацию. Наиболее значимыми энциклопедиями являются созданная компанией «Майкрософт» «Encarta», электронная версия «Британники» (1994). На русском языке в 1996 начала выходить «Большая

энциклопедия Кирилла и Мефодия», в 2000 году появился портал «Рубрикон». К недостаткам такого рода систем можно отнести отсутствие средств формирования практических навыков при обучении, инструментов контроля знаний и навыков.

Компьютерные системы тестирования созданы для контроля знаний обучающихся. Наиболее развитые системы предоставляют пользователю определять параметры теста, создавать тесты с различными типами вопросов, обрабатывать статистику тестирования, оформлять отчеты по различным критериям.

Примером такой системы является созданная в Пензенском государственном университете «Ellecta», которая используется как в дистанционном обучении, так и в учебном процессе. Система позволяет проводить междисциплинарное тестирование, оптимизируя количество заданий теста на основе разработанного алгоритма. Системы тестирования широко применяются в коммерческих организациях, автоматизируя таким образом подбор и аттестацию персонала. Широко известные системы компании TestGold AveLife TestGold Studio предоставляют возможность определять уровень профессиональных знаний и психологические характеристики сотрудников, проводить дистанционное тестирование.

Достоинством таких систем является возможность быстрой проверки знаний пользователей, недостатком, отсутствие обучающих функций, возможности устранения найденных недостатков в системе знаний пользователей.

Соединяют возможности двух предыдущих классов систем так называемые компьютерные обучающие средства, (в переводной литературе E-Learning, Electronic Learning). Современные информационные технологии позволяют интегрировать обучающие системы с информационными системами учебного заведения, предоставляя возможности управления процессом обучения.

Большинство авторских обучающих систем предлагают пользователям набор шаблонов, реализующих различные компоненты процесса обучения, не требуют знания языков программирования. Некоторые АОС имеют специально разработанный язык программирования, что позволяет реализовывать более сложные дидактические схемы.

Среди таких систем можно выделить систему КАДИС, разработанную в центре новых информационных технологий Самарского Государственного Аэрокосмического университета [89,90], которая используется в настоящее время в некоторых учебных заведениях РФ. Технология этой системы включает методику проектирования учебно-методических комплексов и технологических авторских средств их подготовки и эксплуатации. Работа в этой системе строится следующим образом: обучающийся знакомится с теорией в процессе использования различных материалов, дальнейшее закрепление и осмысление учебного материала происходит путем использования электронных учеников, виртуальных учебных кабинетов, контроля знаний путем тестирования. Практические знания обучающихся формируются при работе в виртуальных учебных лабораториях, тренажерах, компьютерных системах автоматизации профессиональной деятельности.

Система включает в себя методику проектирования учебных комплексов по дисциплине, пополняющийся набор учебных комплексов по различным дисциплинам, инструментальную среду для автоматизации процесса разработки. К преимуществам системы относятся четкая дидактическая основа построения учебного комплекса, простота использования, поддержка разработки и использования на всех этапах. Однако не достаточно средств автоматизированных средств оптимизации разработанных курсов, оптимальность его структуры определяется возможностями разработчика.

Система АОСМИКРО [27] предоставляет возможность удаленного доступа, возможность программирования адаптации курса к целям обучаемого и преподавателя, программирования контроля, контроля определения причин

ошибок, автоматического анализа ответов, позволяет использовать при тестировании математические и химические формулы в качестве ответов, собирать и обрабатывать статистику работы в системе. К недостаткам этой системы можно отнести необходимость владения навыками программирования для реализации ее возможностей.

Автоматизированная система обучения ЭКСТЕРН [72,73] предоставляет возможность программирования адаптивного управления обучением, адаптивного контроля, содержит алгоритм формирования модели обучаемого на основе статистического набора встроенных параметров. К недостаткам системы относится необходимость владения навыками программирования, ограниченности форм предоставления ответов обучаемых.

Распространение также получила обучающая система КОБРА [27], которая характеризуется наличием различных возможностей предоставления информации, средств настройки, возможностью сбора статистики обучения. Однако отсутствуют возможности адаптивного управления обучением и контроля знаний.

Широкую известность получило информационное решение Blackboard Learn от компании Blackboard. Его состав включает Blackboard Course Delivery – платформу управления виртуальной обучающей средой для курсов дистанционного обучения, Blackboard Content Management – хранилище электронных образовательных ресурсов, Blackboard Community Engagement – учебный портал, обеспечивающий коммуникацию пользователей.

Система позволяет создать интерактивную среду, организующую образовательный процесс и поддержку взаимодействия между его участниками в образовательном учреждении, в том числе управление образовательным контентом, средствами общения, тестирования, интеграции различных приложений с платформой Blackboard.

Программный продукт нового поколения E-Learning Server 4G для организации дистанционного обучения создан компанией HyperMethod

(ГиперМетод) в 2011 году. Его инструменты позволяют создавать учебные курсы, тесты, учебные модули, проводить вебинары и видеоконференции, мотивировать обучающихся, отслеживать их активность. Программный продукт обладает интуитивно понятным интерфейсом, совместим с Web 2.0 и SCORM, социальными сетями.

Система дистанционного обучения «Прометей» разработанная фирмой «Виртуальные технологии в образовании», позволяет построить полный цикл дистанционного обучения. Достоинствами системы является простота освоения и эксплуатации, возможности подключения дополнительных модулей, интеграции с различными приложениями, разнообразные формы представления информации в процессе тестирования обучающихся. Однако отсутствует возможность оптимизации загруженных курсов, адаптации содержания и методов обучения к обучаемым.

Система Moodle – среда дистанционного обучения с открытым исходным кодом. Преимуществами этой системы являются возможность произвольно выбирать время, место, длительность процесса обучения, преподаватель может своевременно изменять курсы в соответствии с потребностями учащихся, поддерживать связь с учащимися. Существует возможность преобразования текстовых значений в мультимедиа и гипертекстовое представление.

К недостаткам относится необходимость специальных знаний в программировании для добавления дополнительных модулей, сложность для неопытных пользователей, отсутствие автоматических средств адаптации учебного процесса.

Среди других программных продуктов класса ИС и АОС достаточно высокого качественного уровня, предназначенных для создания компьютерных обучающих курсов (АОС), можно назвать следующие:

- система «Дельфин»: разрабатывалась в течение длительного времени в ЦНИТ МЭИ, в настоящее время доступны версии как для MS-DOS, так и для

операционной среды WINDOWS с широкими мультимедийными возможностями;

- мультимедиа курс “1С: Школа. Вычислительная математика и программирование ” разработан компанией “1С” по заказу Министерства Образования Российской Федерации и состоит из уроков по вычислительной математике и алгоритмике, средам программирования VB.NET, Turbo Pascal, Borland Delphi, по системе программ “1С:Предприятие”. В данном курсе имеются тестовые задания по каждому из разделов, по программированию есть практикумы. Учебный материал включает в себя: уроки, тесты, практикумы, контрольные, списки рекомендуемой литературы, ссылки на ресурсы Интернета. В особый раздел внесен “Журнал” – средство для отслеживания индивидуальной траектории прохождения предметных курсов (для пользователей с правами ученика – “Дневник”);

- авторские средства создания электронных книг в среде MathCad: в этом продукте мультимедийными возможностям уделено меньшее внимание, но имеются мощные средства для решения математических задач;

- обучающий автоматизированный компьютерный курс «Основные информационные ресурсы WWW», разработанный на кафедре Прикладной математики МЭИ средствами современных Internet-технологий, предназначенный для первоначального ознакомления учащихся со структурой INTERNET и со средствами поиска необходимой информации в Word Wide Web;

- автоматизированная обучающая система для среды Internet, разработанная в рамках независимого проекта E-TEACHER, первоначально предназначенная для обучения специалистов программированию;

- электронный обучающий курс, созданный в среде интегрированной обучающей системы Learning Space;

- проект “Dynamic”–удобное средство для объяснения пользователю достаточно сложного раздела вузовского курса информатики –

«Программирование на языке Pascal». В рамках данного проекта хорошо реализована визуализация различных структур данных и отображение оператора программы пользователя, выполняемого в текущий момент.

Основными свойствами, которыми обладают эти АОС, являются следующие:

- наличие теоретического материала,
- наличие справочной информации,
- наличие тестов для проверки усвоения теоретического материала,
- наличие заданий для самостоятельной работы студента,
- наличие демонстрационных примеров.

Рассмотренные системы отличаются гибкостью и универсальностью, позволяя адаптировать ее под конкретные нужды образовательной организации, применение модульной архитектуры позволяет модернизировать и расширять систему.

Одним из недостатков современных АОС является ориентированность на конкретную предметную область, многие системы трудно применить вне стен учебного заведения, в котором они были разработаны. Недостатком является ориентированность на теоретический материал, недостаточное разнообразие дидактических средств. Другой проблемой является необходимость привлечения программистов для адаптации и видоизменения системы, что снижает ее доступность и экономическую целесообразность.

Учебные курсы во всех системах по сути, являются электронными учебниками, дополненными тестовой системой. Передача информации происходит по односторонней схеме, от системы к обучаемому, эффективность курса определяется возможностями его разработчика, статистические данные, накапливающиеся в ходе работы системы интерпретируются преподавателем так, как позволяет его опыт и подготовка. Разработка курса, таким образом, не может быть названа автоматизированной, так как все операции аналогичны тем, которые выполняются преподавателем при разработке обычных курсов.

Работы в области разработки компьютерных средств учебного назначения направлены на создание узкоспециальных обучающих программ, либо разрабатываются технические средства обучения в рамках уже существующих обучающих систем.

Преодоление недостатков современных автоматизированных обучающих систем исследователи видят в интеграции в их состав экспертных систем. Под экспертными системами обычно понимают набор программ, выполняющих функции эксперта при решении задач в некоторой предметной области [97]. Каждая экспертная система включает базу знаний, подсистему формирования вопросов и совокупность правил, позволяющих выполнять логический вывод.

Современные исследования применения экспертных систем в образовании прежде всего касаются теоретико-педагогических аспектов проблемы. Разработаны вопросы конструирования содержания обучения с использованием экспертной системы [99], разработана технология формирования методических умений [4], разработана модель экспертной системы для диагностики знаний студентов [45]. И.В. Гречиным [31] предложена экспертная система, которая генерирует и отслеживает цепочку рассуждений в процессе обучения. Экспертные системы используются также для анализа знаний обучающихся [68], для выбора учебного заведения с учетом потенциала обучающихся.

Вторая группа исследований посвящена разработке экспертных систем в конкретных предметных областях. Е.Ю. Левиной [58] разработана экспертная система, предназначенная для диагностики качества учебного процесса в вузе, позволяющая анализировать статистику результатов учебного процесса и управлять повышением качества учебного процесса. М.А. Смирновой [87] разработана экспертная система, позволяющая определить качественный уровень подготовленности выпускника педагогического вуза. Л. С. Болотовой, О.Г. Берестневой и О.В. Марухиной предложены различные варианты использования экспертных систем в процессе принятия решений [18, 23]. Е.Ф.



Снижко рассмотрена методика применения экспертных систем для корректировки процесса обучения и оценки эффективности обучающих программ [88].

Рассмотренные примеры использования экспертных систем в образовании показывают, насколько сложно реализовать экспертную систему полностью, и как тесно она связана с областью своего применения. Эти обстоятельства побуждают исследователей искать новые подходы к построению и реализации экспертных систем.

И.В. Солодовников, О.В. Рогозин, О.В. Шуруев рассматривают применение нечеткой логики в экспертной системе, предназначенной для оценки знаний учащихся [98]. О.А. Мелихова [64] рассматривает возможность проектирования и реализации экспертной системы мониторинга образовательного процесса в вузе на основе нечеткого подхода к моделированию интеллектуальных систем. Д.А. Попов [75] рассматривает интеллектуальную систему дистанционного обучения, которая позволяет осуществлять сбор данных о студентах, статистики обучения. Оценка знаний производится путем адаптивного тестирования, основанного на алгоритмах нечеткой логики.

Использование экспертных систем в современных системах дистанционного обучения пока недостаточно развито. Исследования по данному направлению носят прогнозный характер или сводятся к предложению отдельных методов организации такой системы. В настоящее время существуют исследования, направленные на автоматизацию организации и управления обучением в системе дистанционного образования. Так, Г. А. Самигулиной разработана интеллектуальная экспертная система на основе искусственных иммунных систем [84], которая позволяет оценивать интеллектуальный потенциал обучающегося и на этой основе предлагать индивидуальную программу обучения, А.В. Зубовым и Т.С. Денисовой [39] предложена разработка экспертной интернет системы для дистанционного

обучения, в которой имеется возможность разработки учебных курсов, проводить обучение и анализировать его эффективность на основе тестов, разработанных специалистами в этой области. В.Г. Никитиным и Е.Ю. Бердниковичем [70] разработаны мультимедийные курсы с применением дистанционного обучения, которые содержат элементы адаптивного тестирования.

Анализ публикаций показывает, что применение экспертных систем в дистанционном обучении представляет сложную задачу, так как процесс обучения в различных предметных областях существенно отличается, что позволяет создавать системы с ограниченной сферой применения. Одним из путей решения этой проблемы может быть создание обучающей системы на основе применения технологий искусственного интеллекта, сочетающей в себе преимущества экспертной системы и автоматизированной обучающей системы.

#### **1.4 Использование технологий искусственного интеллекта в обучающих системах**

Современные автоматизированные обучающие системы представляют сложные программные комплексы, функционирование которых требует обработки больших массивов данных в режиме реального времени. Это требование обусловило необходимость применения нетрадиционных технологий, прежде всего технологий с использованием искусственного интеллекта.

Технологии искусственных нейронных сетей относятся к технологиям искусственного интеллекта, в основе которых лежит имитация принципов функционирования человеческого мозга. Современные нейронные сети широко применяются для решения задач классификации, распознавания, предсказания, управления процессом в тех случаях, когда условие задачи трудно или невозможно формализовать.

В обучающих системах нейросетевые технологии используются для создания программных продуктов, в основе которых лежит технология нейронных сетей, для автоматизации создания и оптимизации функционирования различных составляющих образовательного процесса. Нейронные сети применяются для оценки результатов тестирования студентов. Применение нейронных сетей позволяет получить более точную картину знаний обучающихся, выявить пробелы в знаниях обучающихся, повысить объективность тестирования.

Нейронные сети в образовании так же используются для решения задач, близких к задачам классификации, в которых необходимо выполнить анализ большого числа трудно формализуемых факторов. К числу таких задач относится задача составления достоверного рейтинга преподавателей на основе опроса студентов [12], задача оценки деятельности и классификации учреждений высшего образования [13].

Другим классом задач, в решении которых нейросети показали свою эффективность, является управление процессом обучения. Нейронная сеть имеет возможность агрегировать данные о процессе обучения и на их основе определять очередное событие в генерируемом сценарии процесса обучения [13]. При обучении сети в качестве входных сигналов рассматриваются данные о текущем состоянии процесса обучения, выходные данные представляют информацию о следующем состоянии системы. Успешность применения нейронных сетей в процессе обучения зависит от многих факторов: выбора оптимальной архитектуры нейронной сети [95], определения структуры и размерности входных и выходных параметров сети и обучающей выборки, выбор эффективного алгоритма обучения сети.

Одним из актуальных современных направлений исследований в области искусственного интеллекта являются искусственные иммунные системы. Методы искусственных иммунных систем относятся к классу биоинспирированных алгоритмов и основаны на принципах функционирования

иммунной системы человека. Алгоритмы искусственной системы имеют много общего с классическими генетическими алгоритмами, их преимуществом является способность к обучению и наличие памяти.

В настоящее время создано множество моделей, использующих искусственные иммунные системы, которые успешно применяются в процессе оптимизации [22,93], классификации [12], сжатия информации, кластеризации [91], поиска аномалий [103], машинного обучения [104], обработки данных [106], компьютерной безопасности [107], адаптивного управления [108].

Искусственные иммунные системы представляют набор В-антител, которые могут подвергаться операциям клонирования и мутации.

Применение искусственных иммунных систем в образовании ограничено, так как эта область исследований является новой по сравнению с классическим генетическим алгоритмом и технологиями нейронных сетей.

В работе [83] иммунная система применяется для управления процессом дистанционного обучения. Созданная автором дистанционная образовательная технология включает создание эффективных алгоритмов обучения искусственных иммунных сетей на основе факторного анализа данных, устранение погрешностей оценок искусственной иммунной системы производится на основе свойств гомологичных белков [112].

Предложенная технология является основой работы интеллектуальной экспертной системы, способной обрабатывать многомерные данные в масштабе реального времени. Входной характеристикой искусственной иммунной системы является временной ряд, составленный из характеристик обучаемого, которые определены путем входного тестирования. Оценка интеллектуального потенциала учащегося на основе исходных данных позволяет искусственной иммунной системе разработать индивидуальную программу обучения. Выходными данными системы являются комплексная оценка знаний обучающихся, их группировка, прогноз качества обучения. Особенности искусственных иммунных систем позволяют учитывать при организации

адаптивного обучения достаточно большое число признаков, что позволяет осуществить индивидуальный подход к каждому обучаемому.

Одним из направлений исследований по повышению эффективности управления образовательным процессом является применение методов нечеткой логики. Нечеткая логика применяется для решения задач, трудно поддающихся формализации, при принятии решений на основе неточной или неполной информации.

В образовании модели нечеткой логики используются для управления образовательным процессом [77]. Создается набор нечетких правил, в которых условиями и выводами являются ситуации образовательного процесса, и производится корректировка ситуации в образовательном процессе, позволяющая распределить ресурсы всех его участников оптимальным образом [54].

Методы нечеткой логики также используются для оценки эффективности образовательного процесса [71, 17, 57, 67]. С этой целью для выбранных параметров, используемых для оценки, производится фаззификация и формулируются лингвистические правила. Затем с использованием правил нечеткого вывода, вычисляется эффективность по каждому правилу и результаты агрегируются.

Особенно эффективным такой подход оказывается при оценке сформированности компетенций обучающихся в образовательном процессе, так как задача формирования каждой компетенции является надпредметной, и точно оценить вклад каждой дисциплины в формирование компетенций математическими методами не представляется возможным [49,64].

В работе [96] показано, что использование теории нечетких множеств при проектировании дистанционной системы обучения позволяет привнести в ее структуру отдельные элементы экспертной системы, что способствует повышению эффективности процесса обучения.

### 1.5 Выводы

1. Автоматизированные обучающие программы, предназначенные для организации процесса обучения, и обеспечивающие возможность создания учебных курсов для преподавателя, не владеющего специальными знаниями в области программирования, имеют сложную структуру, что часто делает их эксплуатацию нецелесообразной вне организации полного цикла дистанционного обучения.
2. Такие системы отличаются односторонним диалогом, простотой алгоритма организации обучения, не предоставляют пользователю менять стратегию обучения.
3. Эффективность конкретного учебного курса в рамках системы целиком зависит от опыта знаний и возможностей преподавателя, который является разработчиком этого курса.
4. Адаптивные системы обучения, созданные с использованием различных интеллектуальных технологий, неизбежно ориентированы на конкретные предметные области, так как процесс обучения в каждой области имеет специфические черты. В этом можно усмотреть причину большего распространения систем дистанционного обучения по сравнению с адаптивными системами, область использования которых как правило не выходит из круга их разработчиков.
5. Анализ публикаций показывает, что применение экспертных систем в дистанционном обучении представляет сложную задачу, так как процесс обучения в различных предметных областях существенно отличается, что позволяет создавать системы с ограниченной сферой применения. Одним из путей решения этой проблемы может быть создание системы на основе применения технологий искусственного интеллекта, сочетающей в себе

преимущества экспертной системы и автоматизированной обучающей системы.

6. Можно установить, таким образом, существование необходимости создания системы, сочетающей в себе универсальность автоматизированной обучающей системы с возможностями оптимизации на основе обратной связи пользователь – учебная система. Одним из возможных решений этой задачи является использование различных технологий искусственного интеллекта.

## **Глава 2. Разработка и исследование математической модели обучающей системы, использующей методы искусственного интеллекта**

В настоящее время широкое распространение получили системы обучения с применением компьютерных технологий. Дистанционное обучение прочно вошло в образовательную практику, для его поддержки созданы системы управления обучением. Образовательные системы с использованием компьютерных технологий отличаются степенью распределения функции управления между системой и пользователем, степенью сочетания теоретического и практического аспектов образовательного процесса, наличию средств контроля обучения.

Назначение системы определяет ее параметры. В процессе функционирования всех обучающих систем накапливается статистическая информация об учебном процессе. Как правило, разработчики предоставляют доступ к статистике, однако интерпретация данных зависит от возможностей пользователя. Между тем, такая информация может быть использована эффективным образом для оптимизации процесса обучения.

Одной из задач при проектировании подобной системы является построение математической модели обучающей системы и выбор средств ее оптимизации.

В данной главе рассматривается построение и исследование математической модели обучающей системы, элементами которой являются множества и их наборы. Подобный подход ранее был использован в работе [28] при проектировании электронных учебных пособий.

### **2.1 Структурная модель обучающей системы**

В первой главе были рассмотрены информационные системы, используемые в образовательном процессе, и сделан вывод о необходимости создания обучающей системы, сочетающей принципы системы управления обучением с применением интеллектуальных технологий для оптимизации компонентов процесса обучения.



Система управления обучением (Learning Management System, LMS) – информационная система, создающая условия для всестороннего и полного информационно-коммуникационного обеспечения всех субъектов учебно-воспитательного процесса, направленная на достижение поставленных образовательных и воспитательных целей, с реализацией функции документооборота.

Система управления обучением основана на следующих принципах:

- модульности, расширяемости (возможности варьировать подключаемые сервисы);
- минимальной достаточности (используются только необходимые сервисы);
- функциональной полноты (обеспечение всех составляющих процесса обучения);
- независимости системы от специфики учебного содержания;
- кросс-платформенности;
- интегрируемости (возможности использования инструментов из сторонних серверов).

Автоматизированная система управления обучением реализует функции планирования, организации работы, координации и регулирования взаимодействия участников, учета и анализа результатов процесса обучения. Система инструментов коммуникации реализует взаимодействие различных модулей системы управления и общение участников процесса обучения. Система создания и хранения контента предоставляет участникам возможности создания и хранения учебных курсов, система сбора и хранения результатов обучения предназначена для сбора статистической информации о процессе обучения, автоматизированная система организации контроля обучения предназначена для автоматизации создания, проверки и обработки результатов тестирования обучающихся (рисунок 2.1).

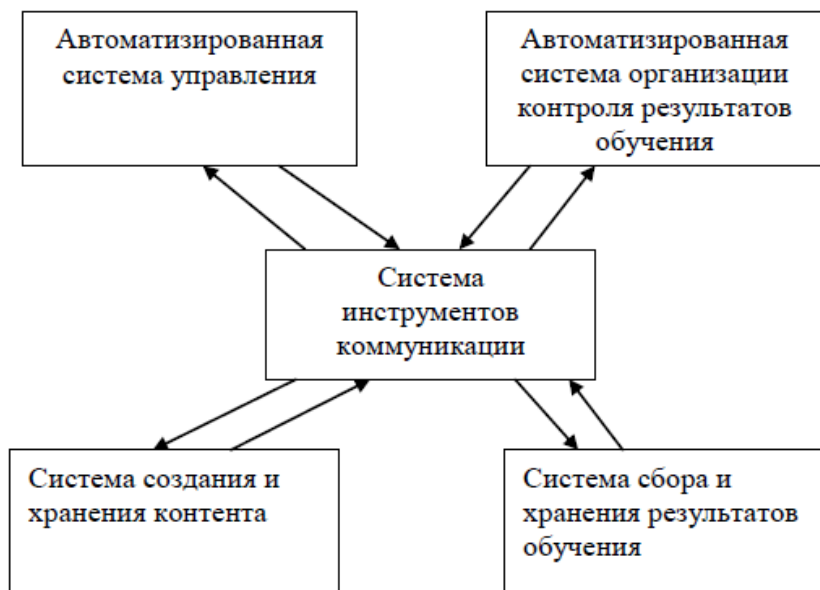


Рисунок 2.1 – Структура системы управления обучением

Основой для создания структурной модели обучающей системы являлась структурная модель системы управления обучением и структурная модель учебного процесса. Структурная модель обучающей системы представлена на рисунке 2.2.

Цели обучающей системы представляют основу деятельности преподавателя в системе, определяющего содержание и организацию процесса обучения.

Деятельность обучающегося в системе определяется содержательным и организационным компонентом, а также деятельностью преподавателя. Наличие обратной связи между участниками образовательного процесса может являться причиной изменений в содержании и организации процесса обучения с целью их адаптации к потребностям обучающегося. Компонент контроля определяет факт достижения обучающимся поставленных целей. Компонент сбора и анализа данных позволяет собирать и сохранять статистические данные о деятельности учащегося в системе, результаты контроля достижения поставленных целей и использовать их для оптимизации процесса обучения.



Рисунок 2.2 – Структурная модель обучающей системы.

Компонент сбора и анализа статистики использует данные о результатах контроля и о деятельности обучающихся в системе. Затем эти данные могут быть предъявлены преподавателю по запросу или переданы компоненту оптимизации для внесения изменений в содержание и методы обучения.

## 2.2 Математическая модель обучающей системы

На основе структурной модели была разработана математическая модель обучающей системы, которая может быть представлена следующим образом:

$$URS = \langle K, C, PP, PO \rangle, \quad (2.1)$$

где  $URS$  - обучающая система,  $K$  – множество учебных курсов обучающей системы,  $C$  – множество компетенций, формируемых у обучающихся в результате освоения курсов системы,  $PP$  – множество профилей преподавателей системы,  $PO$  – множество профилей обучающихся в системе.

Множество учебных курсов представляет следующее:

$$K = \{K_i\}, i = 1, \dots, n, \quad (2.2)$$

где  $K_i$  – учебный курс системы, имеющий номер  $i$ ,  $n$  – количество учебных курсов в системе.

$$K_i = \langle G_i, CT_i, EM_i, Q_i \rangle, i = 1, \dots, n, \quad (2.3)$$

где  $G_i$  – множество компетенций, формируемых в результате изучения данного курса,  $CT_i$  – граф содержания курса с номером  $i$ ,  $EM_i$  – множество элементов учебного контента  $i$  – того курса,  $Q_i$  – фонд оценочных средств курса с номером  $i$ .

$$G_i = \{g_{ij}\}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m, \quad (2.4)$$

где  $G_i$  – множество компетенций, формируемых в результате изучения  $i$ -го курса, множество  $G_i$  является подмножеством множества  $C$  компетенций обучающей системы,  $g_{ij}$  – компетенция, формируемая в процессе изучения данного курса,  $n$  – количество учебных курсов в системе,  $m$  – количество компетенций, формируемых в процессе изучения курса с номером  $i$ .

Множество компетенций формируется при проектировании учебного процесса, реализуемого обучающей системой.

Компонент модели  $CT_i$  курса с номером  $i$  представляет граф, заданный множеством вершин, каждая из которых представляет наименование дидактической единицы содержания курса, и множеством ребер  $CTR_i$ , отражающих связи между ними.

$$CT_i = \langle CTN_i, CTR_i \rangle \quad CTN_i = \{ctn_{ij}\}, i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, l; \quad (2.5)$$

$$CTR_i = \{(ctn_{it}, ctn_{if})\}, ctn_{it}, ctn_{if} \in CTN_i, \quad (2.6)$$

где  $CTN_i$  – множество вершин графа учебного курса, представляющих наименования дидактических единиц указанного курса,  $CTR_i$  – множество ребер графа, отражающих связи между дидактическими единицами содержания учебного курса с номером  $i$ ,  $(ctn_{it}, ctn_{if})$  – элемент множества  $CTR_i$ , указывающий на наличие связи (дуги графа) между элементами

содержания  $ctn_{it}$  и  $ctn_{if}$ ,  $n$  – количество учебных курсов в системе,  $l$  – количество элементов множества  $CTN_i$  (количество дидактических единиц курса).

Например, граф курса  $K_1$  «элементы теории множеств» представлен следующим образом:  $CTN_1 = \{ctn_{1t}\}$ ,  $t = 1..17$ . Так как курс содержит 17 дидактических единиц, граф содержания содержит 17 вершин:  $ctn_{11}$  = «множество»,  $ctn_{12}$  = «способы задания множеств»,  $ctn_{13}$  = «отношения между множествами»,  $ctn_{14}$  = «подмножество»,  $ctn_{15}$  = «операции над множествами»,  $ctn_{16}$  = «объединение множеств»,  $ctn_{17}$  = «пересечение множеств»,  $ctn_{18}$  = «разность множеств»,  $ctn_{19}$  = «декартово произведение множеств» и т.д.

Множество	ребер	графа	содержания:
$CTR_1 = \left\{ \begin{array}{l} (ctn_{11}, ctn_{12}), (ctn_{11}, ctn_{13}), (ctn_{11}, ctn_{14}), (ctn_{13}, ctn_{15}), (ctn_{14}, ctn_{16}), \\ (ctn_{14}, ctn_{17}), (ctn_{14}, ctn_{18}), (ctn_{14}, ctn_{19}), (ctn_{18}, ctn_{110}), (ctn_{19}, ctn_{111}), \\ (ctn_{19}, ctn_{112}), (ctn_{111}, ctn_{113}), (ctn_{112}, ctn_{114}), (ctn_{113}, ctn_{115}), (ctn_{113}, ctn_{116}), \\ (ctn_{15}, ctn_{119}) \end{array} \right\}$			

Граф содержания курса «элементы теории множеств» представлен на рисунке 2.3.

Учебный контент курса с порядковым номером  $i$  определяется с помощью следующей формулы:

$$EM_i = \langle P_i, E_i \rangle, P_i = \{PK_{ij}\}, i = 1, \dots, n, j = 1..l, \quad (2.7)$$

где  $P_i$  – множество содержательных разделов курса,  $PK_{ij}$  – содержательный раздел курса,  $E_i$  – множество единиц учебного контента,  $l$  – количество дидактических единиц курса, являющихся вершинами графа курса. Каждой дидактической единице курса соответствует содержательный раздел (учебная тема курса).

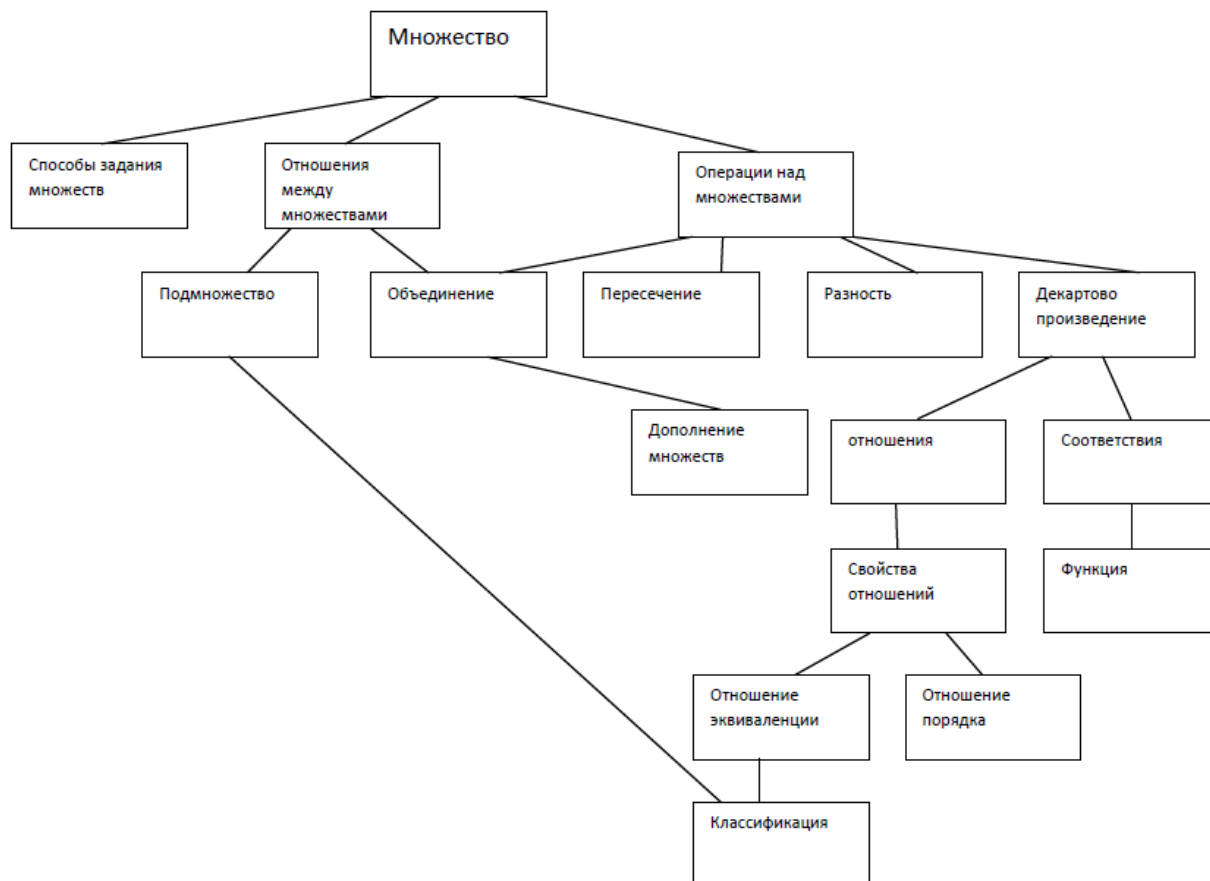


Рисунок 2.3 – Граф содержания курса «Элементы теории множеств».

Под содержательным разделом курса понимается следующее:

$$PK_{ij} = \langle pknm_{ij}, u_t, E_{pk_{if}} \rangle, \quad u_t \in U, E_{pk_{if}} \subset E_i, \\ i = 1, \dots, n, j = 1..l, t = 1, 2, f = 1 \dots l1,$$

где  $PK_{ij}$  – содержательный раздел курса, соответствующий дидактической единице  $ctn_{ij}$  учебного курса с номером  $i$ ;  $pknm_{ij}$  – наименование содержательного раздела;  $u_t$  – уровень подробности изложения учебного материала,  $U$  – множество уровней подробности изложения материала,  $E_{pk_{if}}$  – множество единиц образовательного контента, соответствующих данному содержательному разделу,  $l1$  – количество единиц образовательного контента, предлагаемых пользователям в рамках изучения соответствующего раздела.

Уровень подробности изложения учебного материала  $U$  представляет множество, содержащее два элемента:  $u_1$  – уровень изложения содержания раздела курса, соответствующий государственному образовательному

стандарту,  $u_2$  – уровень изложения раздела курса, содержащий материал, выходящий за рамки образовательного стандарта.

$$E_i = \langle ETS_i, ETU_i, EPS_i, EPU_i \rangle, i = 1, \dots, n,$$

где  $n$  – количество учебных курсов в системе,  $ETS_i$  – множество единиц теоретического контента курса, соответствующих представлению учебного материала курса на уровне требований образовательного стандарта,  $ETU_i$  – множество единиц теоретического контента, соответствующих представлению курса на уровне выше требуемого образовательным стандартом,  $EPS_i$  – множество практических заданий курса, выполнение которых требует знаний на уровне образовательного стандарта,  $EPU_i$  – множество практических заданий курса, выполнение которых требует знаний повышенного уровня.

Множество  $ETS_i$  определяется следующим образом:

$$ETS_i = \{ets_{if}\}, \quad ets_{ij} = \langle \{g_{ij}\}, se_{if} \rangle, i = 1, \dots, n, j = 1..m, f = 1..p4,$$

где  $ets_{ij}$  – единица образовательного контента курса, содержащая теоретический материал,  $\{g_{ij}\}$ , – множество компетенций обучающего курса, на формирование которых направлено изучение данной единицы теоретического контента,  $\{g_{ij}\} \subset G_i$ ,  $G_i$  – множество компетенций курса,  $se_{if}$  – учебный материал (файлы), соответствующий данной единице теоретического контента,  $p4$  – количество единиц теоретического контента курса с номером  $i$ , соответствующих представлению материала на уровне требований образовательного стандарта.

Множество  $ETU_i$  определяется аналогичным образом.

Множество  $EPS_i$  практических заданий курса определяется следующим образом:

$$EPS_i = \{eps_{if}\}, \quad eps_{if} = \langle \{g_{ij}\}, sp_{if}, un_{if}, \{ets_{it}\} \rangle, i = 1, \dots, n; \\ j = 1, \dots, m; f = 1, \dots, p5; t = 1, \dots, p6, \quad (2.8)$$

где  $eps_{if}$  – практическое задание  $i$ -го курса, имеющее номер  $f$ ,  $\{g_{ij}\}$  – множество компетенций обучающего курса, на формирование которых

направлено выполнение данного практического задания,  $\{g_{ij}\} \subset G_i$ ,  $G_i$  – множество компетенций курса,  $sp_{if}$  – формулировка практического задания,  $un_{if}$  – верное решение практического задания,  $\{ets_{it}\}$  – множество единиц теоретического контента курса, изучение которых необходимо для выполнения данного практического задания,  $p5$  – количество практических заданий курса,  $p6$  – количество единиц теоретического контента курса, изучение которых необходимо для выполнения данного практического задания.

Множество  $EPU_i$  определяется аналогичным образом.

Фонд оценочных средств  $Q_i$  определяется как множество контрольных заданий следующим образом:

$$Q_i = \langle QB_i, QS_i \rangle, i = 1..n, \quad (2.9)$$

где  $QS_i$  – множество тестовых заданий;  $QB_i$  – множество тестов. Тест представляет диагностическую самостоятельную работу, предназначенную для определения факта сформированности компетенций учебного курса, множество тестовых заданий состоит из всех заданий, которые могут быть использованы для этой цели.

$$QS_i = \{q_{ij}\}, i = 1..n, j = 1 \dots p7,$$

где  $QS_i$  – множество тестовых заданий, каждое из которых может быть использовано для диагностики сформированности компетенций  $i$ -го курса,  $q_{ij}$  – тестовое задание,  $p7$  – количество тестовых заданий.

Тестовое задание определяется следующим образом:

$$q_{it} = \langle qt_{it}, a_{it}, g_{ij}, \{ets_{if}\} \rangle, i = 1..n, t = 1, \dots, p7, f = 1, \dots, p8,$$

где  $i$  – номер курса,  $j$  – номер компетенции курса, сформированность которой проверяет данное практическое задание,  $qt_{it}$  – текст вопроса;  $a_{it}$  – правильный вариант ответа на контрольный вопрос;  $g_{ij}$  – компетенция, для диагностики сформированности которой предназначено данное задание,  $\{ets_{if}\}$  – множество единиц теоретического контента курса с которыми необходимо ознакомиться для успешного решения задания,  $p8$  – количество единиц



теоретического контента курса с которыми необходимо ознакомиться для успешного решения задания.

Множество тестов определяется следующим образом:

$$QB_i = \{qb_{ij}\}, i = 1..n, j = 1 \dots m,$$

где  $qb_{ij}$  - тест, предназначенный для диагностики факта сформированности компетенции  $g_{ij}$ ,  $m$  – количество компетенций  $i$ -го курса.

Если обучающийся выполнил тест  $qb_{ij}$ , и получил за него положительную оценку, факт сформированности компетенции  $g_{ij}$  считается установленным. Тест представляет подмножество набора контрольных заданий  $QS_i$ , при этом количество заданий из каждого набора в тесте определяется разработчиком [28].

Профиль обучающегося определяется следующим образом:

$$PO = \{PO_i\}, PO_i = \langle PO_{nm}_i, PO_{lgn}_i, PO_{lpwd}_i, PO_p, TR_i, CK_i \rangle, i = 1..p9,$$

где  $PO_i$  – профиль;  $PO_{nm}_i$  – имя обучаемого;  $PO_{lgn}_i$  – идентификатор для работы с обучающей системой;  $PO_{lpwd}_i$  – пароль для работы с обучающей системой;  $PO_p$  – признак профиля обучаемого,  $TR_i$  – сведения о работе обучающегося с системой,  $CK_i$  – сведения о работе обучающегося с учебными курсами,  $p9$  – количество обучающихся в системе.

Все данные о работе обучающегося в системе сохраняются в компоненте  $TR_i$ , который определяется следующим образом:

$$TR_i = \langle PO_{lgn}_i, \{do_{ij}\} \rangle, i = 1..n, j = 1, \dots, p10,$$

где  $PO_{lgn}$  – идентификатор обучающегося для работы с системой;  $do_i$  – действие обучающегося в системе,  $p10$  – количество действий, совершенных обучающимся в системе.

$$do_{ij} \subset DO, DO = \{wt_i, wq_i\}, i = 1..l, j=1, \dots, m,$$

где  $DO$  – множество действий обучающихся в системе,  $wt_i$  – действие, связанное с просмотром теоретического контента  $i$ -го раздела учебного курса,

$wq_j$  – выполнение теста, предназначенного для установления факта сформированности компетенции  $g_{ij}$ .

Сохранение сведений о работе обучающегося с учебными курсами происходит в компоненте  $СК$ :

$$СК_i = \langle СКU_i, СКR_i, СКF_i \rangle, i = 1, \dots, p_9, \quad (2.10)$$

где  $СКU_i$  - множество учебных курсов, не востребованных данным пользователем;  $СКR_i$  - множество курсов, которые не завершены;  $СКF_i$  – множество курсов, которые данный пользователь завершил успешно,  $p_9$  – количество пользователей.

$$PP = \{PP_i\}, PP_i = \langle PPnm_i, PPlgn_i, PPpwd_i, PPt_i \rangle, i = 1..p_{11},$$

где  $PP$  - множество профилей ;  $PP_i$  –профиль  $i$ -го преподавателя;  $PPnm_i$  - имя преподавателя;  $PPlgn_i$  – идентификатор для работы с обучающей системой;  $PPpwd_i$ - пароль для работы с обучающей системой;  $PPt_i$  -признак профиля преподавателя,  $p_{11}$  – количество преподавателей, зарегистрированных в системе.

### **2.3 Исследование модели обучающей системы с использованием теории алгебр**

Разработанная модель позволяет осуществлять описание курса, сохранять описание процесса обучения в профиле обучающегося. Однако часто возникает необходимость создания интегрированных обучающих курсов, выделение подразделов курса в самостоятельный курс. Работа преподавателя по созданию курса может быть оптимизирована, если существует механизм его создания на основе уже имеющихся. Работа обучающихся в процессе освоения курса также может быть оптимизирована. Для решения этих задач необходимо исследовать формализованную модель обучающей системы с использованием элементов теории алгебр.

*Операция объединения* на множестве учебных курсов рассматривается следующим образом:

$$K_{un} = K_i \cup K_j = \langle G_i \cup G_j, CT_i \cup CT_j, EM_i \cup EM_j, Q_i \cup Q_j \rangle. \quad (2.11)$$

Так как  $G_i$  и  $G_j$  представляют множества, то операция их объединения

$$G_{un} = G_i \cup G_j.$$

Компоненты  $CT_i$  и  $CT_j$  представляют граф содержания. Их объединение определяется на основе [69] следующим образом: в множестве вершин графа (элементы содержания курса)  $CTN_i$  и  $CTN_j$  происходит объединение вершин.

Для нахождения объединения множеств ребер графа выполняется объединение множеств ребер двух курсов.

$$CTR_{un} = CTR_i \cup CTR_j,$$

где  $i, j$  – номера объединяемых курсов.

*Пример.* Пусть задан граф содержания курса  $CT_i$  (рисунок 2.4):

$$CTN_i = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}, CTR_i = \{(a_1, a_2), (a_1, a_3), (a_3, a_4), (a_3, a_5)\}.$$

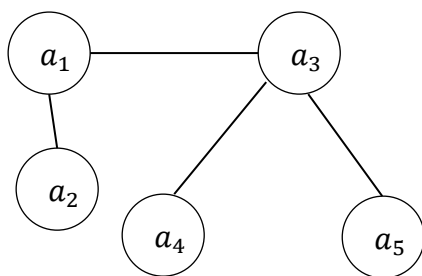


Рисунок 2.4 – Граф содержания курса  $CT_i$ .

Граф содержания курса  $CT_j$  задан следующим образом (рисунок 2.5):

$$CTN_j = \{a_1, a_7, a_3, a_6, a_5, a_8\},$$

$$CTR_j = \{(a_1, a_7), (a_1, a_3), (a_3, a_6), (a_3, a_5), (a_7, a_8)\}.$$

Объединением графов содержания курсов  $i$  и  $j$  является следующее множество (рисунок 2.6):

$$CTN_{un} = CTN_i \cup CTN_j = \{a_1, a_2, a_3, a_7, a_6, a_5, a_8, a_4\},$$

$$CTR_{un} = CTR_i \cup CTR_j = \{(a_1, a_2), (a_1, a_3), (a_3, a_4), (a_3, a_5), (a_1, a_7), (a_1, a_3), (a_3, a_6), (a_7, a_8)\}.$$

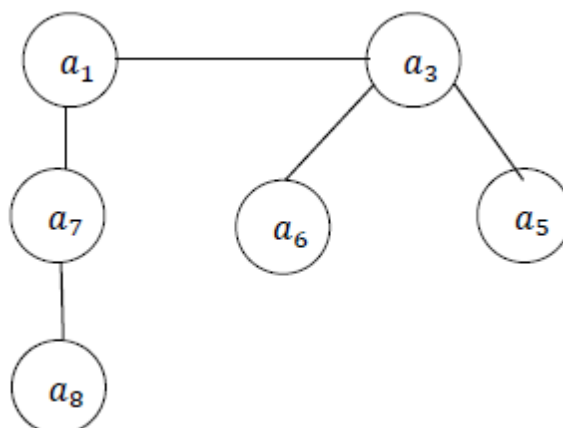
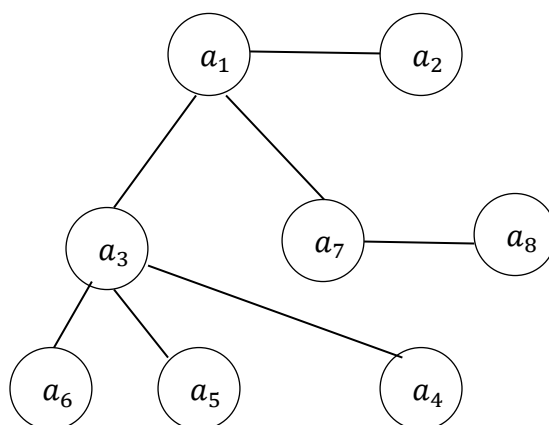
Рисунок 2.5 – Граф курса  $CT_j$ .

Рисунок 2.6 – Граф содержания объединения курсов.

Объединение элементов модели  $EM_i$  и  $EM_j$  (учебный контент курсов) находится следующим образом:

$$EM_{un} = EM_i \cup EM_j = \langle P_i \cup P_j, E_i \cup E_{ij} \rangle.$$

Аналогично определяется компонент  $Q_{int}$  (фонд оценочных средств) объединения курсов:

$$Q_{un} = Q_i \cup Q_j = \langle QB_i \cup QB_j, QS_i \cup QS_j \rangle.$$

Операция объединения курсов используется в тех случаях, когда требуется создать интегрированный учебный курс на основе уже существующих в системе.

Введем понятие интегрированного курса. Интегрированным учебным курсом  $K_{int}(K_i, K_j)$ , созданным на базе курса  $K_i$  путем присоединения курса  $K_j$ , назовем курс, полученный с помощью операции объединения курсов  $K_i, K_j$ .

Операция пересечения курсов определяется так:

$$K_{sec} = K_i \cap K_j = \langle G_i \cap G_j, CT_i \cap CT_j, EM_i \cap EM_j, Q_i \cap Q_j \rangle.$$

Так как  $G_i$  и  $G_j$  представляют множества, то пересечения их выполняется как пересечение соответствующих множеств:

$$G_{sec} = G_i \cap G_j.$$

Компоненты  $CT_i$  и  $CT_j$  представляют графы. Их пересечение определяется на основании операции пересечения графов [69].

Каждый из элементов  $CT_i$  и  $CT_j$  представляет граф, заданный множеством вершин  $CTN_i$  и множеством ребер  $CTR_i$ , состоящим из пар элементов  $\{(ctn_{ij}, ctn_{it})\}$ . Согласно определению операции пересечения графов:

$$CTN_{sec} = CTN_i \cap CTN_j,$$

$$CTR_{sec} = CTR_i \cap CTR_j,$$

где  $CTN_{sec}$  – множество вершин графа курса, полученного пересечением курсов  $i$  и  $j$ ,  $CTR_{sec}$  – множество ребер этого графа.

Пример. Граф содержания курса  $CT_i$  задан следующим образом:

$$CTN_i = \{a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\},$$

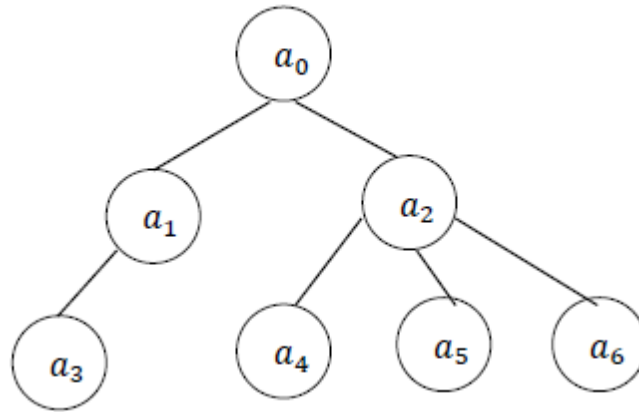
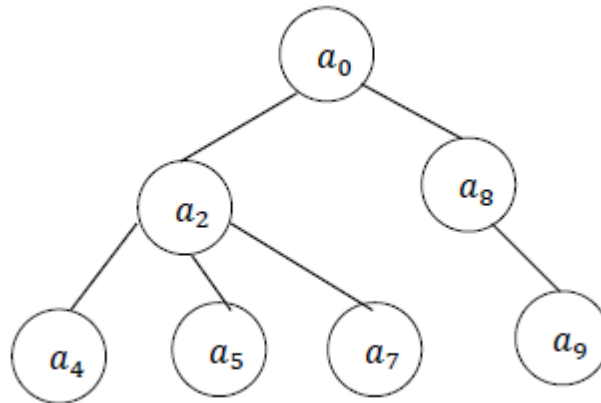
$$CTR_i = \{(a_0, a_1), (a_1, a_3), (a_2, a_4), (a_2, a_5), (a_2, a_6), (a_0, a_2)\}.$$

Граф содержания курса  $CT_i$  представлен на рисунке 2.7.

Граф содержания курса  $CT_j$  задан следующим образом (рисунок 2.8):

$$CTN_j = \{a_0, a_2, a_4, a_5, a_7, a_8, a_9\},$$

$$CTR_j = \{(a_0, a_2), (a_0, a_8), (a_2, a_4), (a_2, a_5), (a_2, a_7), (a_8, a_9)\}.$$

Рисунок 2.7 – Граф содержания курса  $CT_i$ .Рисунок 2.8 – Граф содержания курса  $CT_j$ .

Пересечением графов содержания курсов  $i$  и  $j$  является следующее множество (рисунок 2.9):

$$CTN_{sec} = CTN_i \cap CTN_j = \{a_0, a_2, a_4, a_5\},$$

$$CTR_{sec} = CTR_i \cap CTR_j = \{(a_0, a_2), (a_2, a_4), (a_2, a_5)\}.$$

Пересечение элементов модели  $EM_i$  и  $EM_j$  (учебное содержание курсов) находится следующим образом:

$$EM_{sec} = EM_i \cap EM_j = \langle P_i \cap P_j, E_i \cap E_j \rangle.$$

Компонент  $Q_{sec}$  (фонд оценочных средств) пересечения курсов:

$$Q_{sec} = Q_i \cap Q_j = \langle QB_i \cap QB_j, QS_i \cap QS_j \rangle.$$

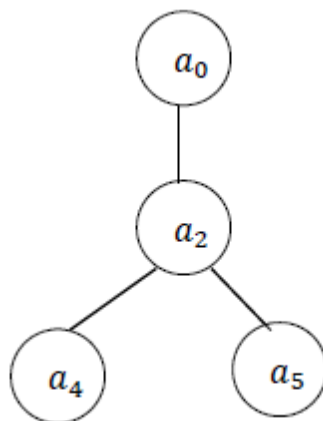


Рисунок 2.9 – Граф содержания пересечения курсов.

Операция пересечения используется в тех случаях, когда требуется выделить общий раздел нескольких учебных курсов.

*Утверждение 2.1* Операция объединения курсов обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

*Доказательство*

Согласно введенному определению, операция объединения курсов осуществляется путем объединения компонентов курса. Компонент  $G_i$  и  $G_j$  представляют множества компетенций курса, следовательно, выполнение следующих равенств  $G_i \cup G_j = G_j \cup G_i$  и  $(G_i \cup G_j) \cup G_k = G_j \cup (G_i \cup G_k)$  следует из свойств операций над множествами. Компоненты  $CT_i$  и  $CT_j$  представляют графы,  $CT_i = \langle CTN_i, CTR_i \rangle$ , в которых объединение осуществляется по следующему правилу: происходит объединение множеств  $CTN_i$  и  $CTN_j$  вершин графа и объединение множеств ребер графов  $CTR_i$  и  $CTR_j$ . На основе свойств операций над множествами:

$$CTN_i \cup CTN_j = CTN_j \cup CTN_i,$$

$$(CTN_i \cup CTN_j) \cup CTN_k = CTN_i \cup (CTN_j \cup CTN_k),$$

$$CTR_i \cup CTR_j = CTR_j \cup CTR_i,$$

$$(CTR_i \cup CTR_j) \cup CTR_k = CTR_i \cup (CTR_j \cup CTR_k).$$

Следовательно, операция объединения компонентов  $CTN_i$  и  $CTR_i$  обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

$EM_i \cup EM_j = \langle P_i \cup P_j, E_i \cup E_j \rangle$ . Так как  $P_i, P_j, E_i, E_j$  множества, то операция их объединения представляет операцию объединения множеств, следовательно, объединение компонентов  $EM_i$  и  $EM_j$  обладает свойствами ассоциативности и коммутативности.

Для фонда оценочных средств курсов объединение задано следующим образом:

$$Q_i \cup Q_j = \langle QB_i \cup QS_i, QB_j \cup QS_j \rangle.$$

Так как  $QB_i, QS_i, QB_j, QS_j$  – множества, то операция их объединения представляет операцию объединения множеств, следовательно, объединение компонент  $Q_i, Q_j$  обладает свойствами ассоциативности и коммутативности.

Как было показано, для всех компонентов модели курса операция объединения обладает свойствами коммутативности и ассоциативности, следовательно, операция объединения учебных курсов обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

*Утверждение 2.2* Интегрированный курс  $K_{int}(K_i, K_j)$ , созданный на базе курса  $K_i$  путем присоединения курса  $K_j$ , совпадает с интегрированным курсом  $K_{int}(K_j, K_i)$ , созданным на базе курса  $K_j$ , путем присоединения курса  $K_i$ , то есть  $K_{int}(K_i, K_j) = K_{int}(K_j, K_i)$ .

Указанное следует из доказанного свойства коммутативности операции объединения курсов.

*Утверждение 2.3* Операция пересечения курсов обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

Компонент  $G_i$  и  $G_j$  представляют множества компетенций курса, следовательно, выполнение следующих равенств  $G_i \cap G_j = G_j \cap G_i$  и  $(G_i \cap G_j) \cap G_k = G_j \cap (G_i \cap G_k)$  следует из свойств операций над множествами. Компоненты  $CT_i$  и  $CT_j$  представляют графы, в которых пересечение осуществляется по следующему правилу: выполняется пересечение множеств вершин графов (элементов содержания курсов)  $CTN_i$  и  $CTN_j$ , пересечение



множеств ребер графов  $CTR_i$  и  $CTR_j$ . На основе свойств операций над множествами и определения операции пересечения компонентов  $CTN_i$  и  $CTN_j$ :

$$CTN_i \cap CTN_j = CTN_j \cap CTN_i,$$

$$(CTN_i \cap CTN_j) \cap CTN_k = CTN_i \cap (CTN_j \cap CTN_k).$$

Так как операция пересечения структур  $CTR_i$  и  $CTR_j$  определяется как операция пересечения множеств, то верны следующие равенства:

$$CTR_i \cap CTR_j = CTR_j \cap CTR_i,$$

$$(CTR_i \cap CTR_j) \cap CTR_k = CTR_i \cap (CTR_j \cap CTR_k).$$

$EM_i \cap EM_j = \langle P_i \cap P_j, E_i \cap E_j \rangle$ . Так как  $P_i, P_j, E_i, E_j$  представляют множества, то пересечение компонентов  $EM_i$  и  $EM_j$  обладает свойствами ассоциативности и коммутативности.

Для фондов оценочных средств курсов пересечение задано следующим образом:

$$Q_i \cap Q_j = \langle (QB_i \cap QB_j), (QS_i \cap QS_j) \rangle.$$

$$\begin{aligned} Q_i \cap Q_j &= \langle (QB_i \cap QB_j), (QS_i \cap QS_j) \rangle = \\ &= \langle (QB_j \cap QB_i), (QS_j \cap QS_i) \rangle = Q_j \cap Q_i. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (Q_i \cap Q_j) \cap Q_k &= \langle (QB_i \cap QB_j), (QS_i \cap QS_j) \rangle \cap \langle QB_k, QS_k \rangle = \langle (QB_i \cap \\ &QB_j) \cap QB_k, (QS_i \cap QS_j) \cap QS_k \rangle = \langle QB_i \cap (QB_j \cap QB_k), QS_i \cap (QS_j \cap QS_k) \rangle = \\ &Q_i \cap (Q_j \cap Q_k). \end{aligned}$$

Следовательно, операция пересечения фондов оценочных средств учебных курсов  $Q_i \cap Q_j$  так же обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

Как было показано, для всех компонентов модели учебного курса операция пересечения обладает свойствами коммутативности и ассоциативности, следовательно, операция пересечения учебных курсов обладает свойствами коммутативности и ассоциативности.

*Утверждение 2.4* Операция объединения курсов дистрибутивна относительно их пересечения.

Указанное следует из определения операций объединения и пересечения курсов и свойств операций над множествами и графами.

*Утверждение 2.5* Операция пересечения курсов дистрибутивна относительно их объединения.

Указанное следует из определения операций объединения и пересечения курсов и свойств операций над множествами и графами.

## **2.4 Выводы**

1. Разработана структурная модель обучающей системы.
2. На основе структурной модели разработана формализованная модель обучающей системы, которая включает: модель учебного курса обучающей системы, модель целевого компонента обучающей системы, модель профиля преподавателей системы, модель профиля обучающегося в системе.
3. Проведено исследование модели обучающей системы с использованием теории алгебр. Введены операции объединения, пересечения учебных курсов, позволяющие получать новые курсы на основе уже существующих в обучающей системе.

### Глава 3. Использование различных технологий для оптимизации компонентов обучающей системы

#### 3.1 Оптимизация структуры теоретической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы

Предложенная во второй главе математическая модель обучающей системы позволяет создавать программным путем новые учебные курсы на основе уже существующих, что приводит к уменьшению затрат на поддержание работы системы и ее развитие. Однако курсы, полученные автоматическим путем, далеко не всегда являются оптимальными по таким параметрам, как структура содержания, количество затрачиваемого времени на их изучение и т.д.

Рассмотрим граф содержания  $i$ -го учебного курса:  $CT_i = \langle CTN_i, CTR_i \rangle$ , где  $CTN_i = \{ctn_{ij}\}$ , индекс  $j$  определяет номер дидактической единицы в данном курсе.

Задача заключается в определении оптимальной последовательности изучения дидактических единиц. Особенностью задачи является необходимость учета взаимосвязей, определяемых ребрами графа  $CT_i$ .

Для формализации задачи будем считать, что порядок изучения элементов содержания курса можно представить в виде вектора

$$A = (A_1, \dots, A_l),$$

где  $A_i$  –  $i$ -ая дидактическая единица,  $l$  – количество дидактических единиц (вершин графа). Заметим, что если дидактическая единица  $A_i$  предшествует  $A_j$  и между ними существует связь, то  $i < j$ .

Данная задача относится к классу задач комбинаторной оптимизации, поэтому для ее решения предлагается использовать бионические системы в виде искусственной иммунной системы.

Искусственная иммунная система основана на биологических принципах естественной иммунной системы человека. Как и естественные иммунные

системы, искусственные иммунные системы используют модель распознавания чужеродных структур – антигенов – специальными рецепторами – антителами. Искусственная иммунная система представляет идеализированный вариант естественного аналога и воспроизводит ключевые составляющие природного процесса: отбор лучших антител популяции в зависимости от степени их аффинитета (близости) к антигену, клонирование антител, мутация антител.

Алгоритм функционирования искусственной иммунной системы можно представить следующим образом.

1. Определение антигена.
2. Формирование первоначальной популяции антител размером  $N$ .
3. Вычисление аффинитета  $Aff$  каждого антитела текущей популяции к антигену.
4. Отбор в текущей популяции антител, имеющих наилучшие показатели аффинитета и получение некоторого количества их копий (клонирование)
5. Мутация клонов антител, заключающаяся во внесении случайным образом изменений в их структуру.
6. Вычисление аффинитета  $Aff$  клонов антител
7. Формирование новой популяции путем присоединения клонов антител к текущей популяции. Определение текущего решения – антитела с наилучшим показателем аффинитета.
8. Удаление некоторой части антител с наихудшими показателями аффинитета.
9. Генерация новых случайно сформированных антител и их присоединение к популяции до восстановления ее численности  $N$ .
10. Условием окончания алгоритма является стабилизация популяции на протяжении некоторого количества циклов. Если условие выполнено, решением является антитело с наилучшим показателем аффинитета, если не выполнено, переход к шагу 3.

Приведенная схема реализуется следующим образом. Система связей между элементами содержания может быть задана с помощью графа. Для характеристики системы связей используются следующие показатели, предложенные С.В. Васекиным [25].

Длина существующей связи (имеется соответствующее ребро в графе содержания)  $A_i A_j$  определяется следующим образом [25]:

$$P(A_i, A_j) = j - i. \quad (3.1)$$

Эффективностью связи называется величина, обратная ее длине [26]:

$$T(A_i, A_j) = \frac{1}{P(A_i, A_j)}. \quad (3.2)$$

Средняя длина связи определяется С.В. Васекиным [25]:

$$p_{\text{ср}} = \frac{\sum P(A_i, A_j)}{m_1}, \quad (3.3)$$

где  $\sum P(A_i, A_j)$  сумма длин всех существующих связей, а  $m_1$  – количество связей.

Эффективность системы связей определена как величина, обратная средней длине и может быть выражена в процентах:

$$E(A) = \frac{100}{p_{\text{ср}}} \%. \quad (3.4)$$

В обучающей системе для оптимизации структуры теоретической части курса использовалась искусственная иммунная система.

Компоненты вектора  $A$  удовлетворяют следующему условию: если дидактическая единица содержания курса  $A_i$  используется при изучении дидактической единицы  $A_j$ , то  $i < j$ . (3.5)

Требуется определить вектор  $A$ , такой, что  $E(A) \rightarrow \max$ , при ограничении, заданном условием (3.5).

Алгоритм оптимизации структуры теоретической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы

1. Определение антигена. В качестве антигена  $A_g$  рассматривается ориентированный граф содержания курса, в котором ориентация ребер

осуществлена экспертом. Если знакомство с дидактической единицей курса  $A_i$  необходимо для изучения  $A_j$ , то в графе существует ребро  $(A_i, A_j)$ .

2. Формирование популяции антител. Антитело  $Ab = (Ab_1, \dots, Ab_l)$  представляет вектор элементов содержания курса, пронумерованных в порядке изучения. При генерации антитела порядок изучения элементов формируется случайным образом, с учетом требований к последовательности изучения элементов, заданной графом содержания курса (антигеном). Размерность популяции  $Np$  определяется экспертом.

3. Вычисление аффинитета  $Aff$  антител. Аффинитет показывает соответствие антитела антигену. Мерой аффинитета  $Aff$  антитела антигену (целевой функцией) является эффективность системы связей, вычисляемая по формулам (3.1)-(3.4):

$$Aff(Ab) = E(Ab). \quad (3.6)$$

4. Отбор антител с наилучшими показателями аффинитета и их клонирование (создание копий). Выбирается  $k_1$  антител ( $k_1 < Np$ ) и создается  $p_1$  копий каждого экземпляра.

5. Оператор мутации. В диссертации предложен оператор мутации, заключающийся в изменении порядка изучения отдельных элементов курса. С этой целью выбираются два компонента антитела, между которыми отсутствует связь в антигене и меняются местами их значения (изменяется порядок изучения дидактических единиц курса). Этим достигается соответствие полученных антител ограничениям задачи. Оператор мутации применяется к клонам антител. Для каждого из вновь полученных экземпляров вычисляется аффинитет.

6. Формирование новой популяции. Полученные на предыдущем шаге клоны антител присоединяются к популяции. Затем удаляется  $r_1$  ( $k_1 \cdot p_1 < r_1 < Np$ ) антител с наихудшими показателями аффинитета. Для восстановления численности генерируется и присоединяется к популяции  $r_1 - k_1 \cdot p_1$  новых антигенов.

Шаги 3-6 повторяются. Условием окончания алгоритма является стабилизация популяции на протяжении некоторого количества циклов. Если условие выполнено, решением является антитело с наилучшим показателем аффинитета, то есть вектор дидактических единиц курса с наибольшей эффективностью системы связей.

В качестве примера рассматривается оптимизация курса «Элементы теории множеств»

Алгоритм оптимизации структуры теоретической части курса с использованием искусственной иммунной системы выглядит следующим образом:

1. Определяется антиген. В качестве антигена рассматривается граф содержания курса. Множество вершин графа курса представляет множество дидактических единиц содержания курса.

Компонент модели граф содержания курса  $CT_i$ :

$$CT_i = \langle CTN_i, CTR_i \rangle \quad CTN_i = \{ctn_{ik}\} \quad i = 1, \dots, n \quad k = 1, \dots, l; \quad (3.7)$$

$$CTR_i = \{(ctn_{it}, ctn_{if})\}, \quad ctn_{it}, ctn_{if} \in CTN_i, \quad (3.8)$$

где  $CTN_i$  – множество вершин графа учебного курса, представляющих наименования содержательных единиц указанного курса,  $CTR_i$  – множество ребер графа, отражающих связи между элементами содержания учебного курса с номером  $i$ , элемент множества  $CTR_i$ , указывающий на наличие связи (дуги графа) между элементами содержания  $ctn_{it}$  и  $ctn_{if}$ ,  $n$  – количество учебных курсов в системе,  $l$  – количество элементов множества  $CTN_i$  (количество содержательных единиц курса).

Например, для курса «элементы теории множеств» граф может быть представлен следующим образом:  $CTN_1 = \{ctn_{1t}\}$ ,  $t = 1..17$ . Курс содержит 17 дидактических единиц, следовательно граф содержания содержит 17 вершин:  $ctn_{11}$  = «множество»,  $ctn_{12}$  = «способы задания множеств»,  $ctn_{13}$  = «отношения между множествами»,  $ctn_{14}$  = «подмножество»,  $ctn_{15}$  = «операции над множествами»,  $ctn_{16}$  = «объединение множеств»,  $ctn_{17}$  = «пересечение множеств»,  $ctn_{18}$  = «разность множеств»,

$ctn_{19}$  = «декартово произведение множеств»,  $ctn_{110}$  = «дополнение множеств»,  
 $ctn_{111}$  = «отношения»,  $ctn_{112}$  = «соответствия»,  $ctn_{113}$  = «свойства  
отношений»,  $ctn_{114}$  = «функция»,  $ctn_{115}$  = «отношение эквиваленции»,  
 $ctn_{116}$  = «отношение порядка»,  $ctn_{117}$  = «классификация».

$CTR_1$

$$= \left\{ \begin{array}{l} (ctn_{11}, ctn_{12}), (ctn_{11}, ctn_{13}), (ctn_{11}, ctn_{14}), (ctn_{13}, ctn_{15}), (ctn_{14}, ctn_{16}), \\ (ctn_{14}, ctn_{17}), (ctn_{14}, ctn_{18}), (ctn_{14}, ctn_{19}), (ctn_{18}, ctn_{110}), (ctn_{19}, ctn_{111}), \\ (ctn_{19}, ctn_{112}), (ctn_{111}, ctn_{113}), (ctn_{112}, ctn_{114}), (ctn_{113}, ctn_{115}), (ctn_{113}, ctn_{116}), \\ (ctn_{15}, ctn_{119}) \end{array} \right\}.$$

Структура учебного курса «Элементы теории множеств» была представлена в виде графа (рисунок 3.1).

В процессе анализа этого графа дидактические единицы содержания курса были разбиты на несколько уровней по приоритету изучения: для дидактических единиц нулевого уровня нет предшествующих элементов, для элементов первого уровня необходимо предварительное изучение как минимум одной дидактической единицы нулевого уровня.

Алгоритм выделения уровней дидактических единиц содержания:

1. Выделяются единицы содержания, которые не являются первым компонентом никакой пары в множестве связей графа, помещаются в отдельное подмножество и временно исключаются из рассмотрения.
2. Эти пары временно исключаются из рассмотрения в множестве связей графа  $CTR_i$ .
3. Шаги 1 и 2 повторяются до тех пор, пока в множестве связей графа остаются дидактические единицы для рассмотрения.
4. Всем единицам содержания, исключенным на последнем шаге, присваивается ранг 0. Элементом, исключенным в предыдущем цикле, присваивается ранг 1, и так далее. Дидактические единицы, исключенные первыми, имеют наивысший уровень иерархии  $k$ , который определяется количеством повторений шагов 1 и 2.



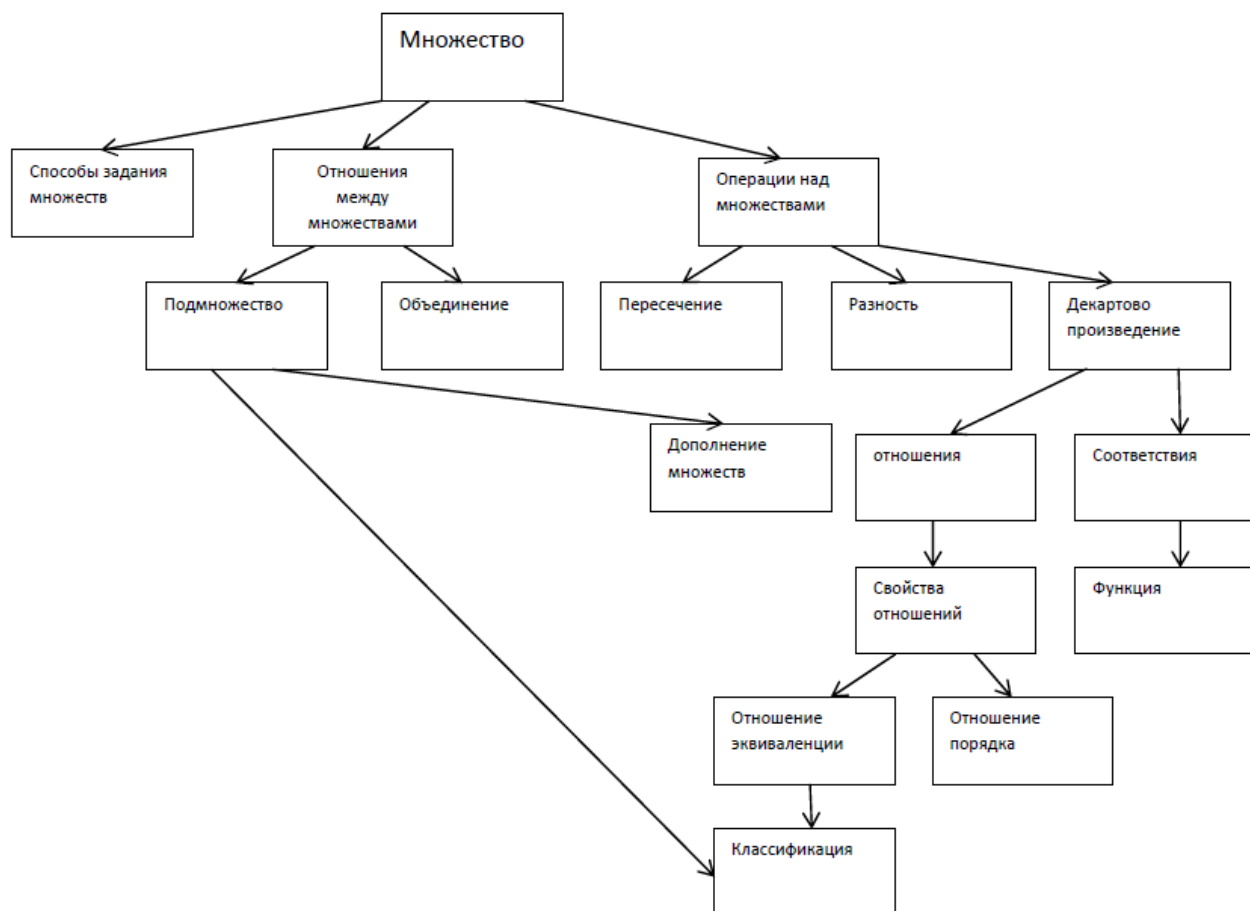


Рисунок 3.1. – Пример антигена при оптимизации структуры курса «Элементы теории множеств».

Таблица 3.1 – Уровни дидактических единиц содержания учебного курса «Элементы теории множеств».

Дидактические единицы содержания	Уровень	Обозначение
Множество	0	A0
Способы задания множеств	I	A1
Отношения между множествами	I	A2
Операции над множествами	I	A3
Подмножество	II	A4
Объединение	II	A5
Пересечение	II	A6
Декартово произведение	II	A7

Разность	II	A8
Дополнение	III	A9
Отношения	III	A10
Соответствия	III	A11
Свойства отношений	IV	A12
Функция	IV	A13
Отношение порядка	V	A14
Отношение эквиваленции	V	A15
Классификация	V	A16

Для упрощения введены обозначения элементов содержания A1, A2,...A16, так как показано в таблице. Система связей между элементами содержания, определенная на основе графа содержания, представляет следующее множество:

$$M = \{(A2,A4), (A3,A5), (A3,A6), (A3,A7), (A3,A8), (A8,A9), (A7,A10), (A7,A11), (A11,A13), (A12, A14), (A12,A15)\}$$

2. Случайным образом формируется популяция антител. Антитело представляет вектор дидактических единиц содержания курса, пронумерованных в порядке изучения ( $C_1, C_2, \dots, C_m$ ). При генерации антитела порядок их изучения формируется случайным образом, с учетом требований к последовательности изучения, заданной графом содержания курса (антигеном). Антитело генерируется следующим образом: сначала случайным образом формировался порядок изучения дидактических единиц 0 уровня, затем I уровня и т.д. (рисунок 3.2). Таким образом, получается новый вектор дидактических единиц, которые получают новые номера и для каждого антитела формируется новое множество связей.

Множество связей указанного антитела определяется следующим образом:

$$M = \{(C2,C4), (C1,C6), (C1,C5), (C1,C7), (C1,C8), (C8,C11), (C7,C10), (C7,C9), (C9,C13), (C12, C16), (C12,C15)\}.$$

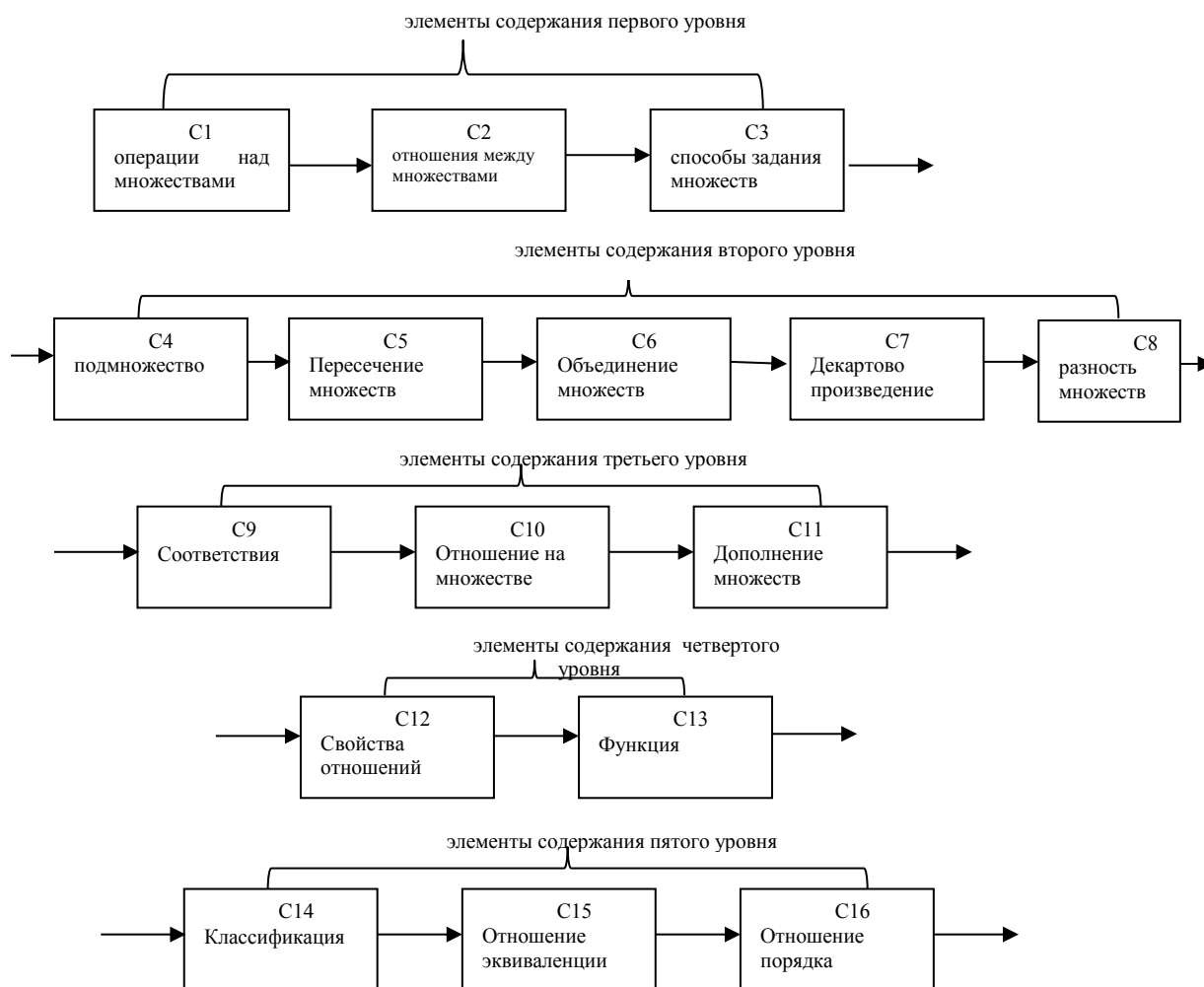


Рисунок 3.2 – Пример сгенерированного антителя.

Сравнение обозначений в сгенерированном антители и антигене представлено в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Пример сгенерированного антителя.

Дидактические единицы	Уровень	Обозначение элемента в антигене	Обозначение элемента в сгенерированном антители
Способы задания множеств	I	A1	C3
Отношения между множествами	I	A2	C2
Операции над множествами	I	A3	C1

Подмножество	II	A4	C4
Объединение	II	A5	C6
Пересечение	II	A6	C5
Декартово произведение	II	A7	C7
Разность	II	A8	C8
Дополнение	III	A9	C11
Отношения	III	A10	C10
Соответствия	III	A11	C9
Свойства отношений	IV	A12	C12
Функция	IV	A13	C13
Отношение порядка	V	A14	C16
Отношение эквиваленции	V	A15	C15
Классификация	V	A16	C14

3. Для всех антител вычисляется аффинитет.

Мерой аффинитета  $Aff$  антитела антигену (целевой функцией) является эффективность системы связей в предложенном порядке изучения:

$$Aff(A) = \frac{100}{p_{cp}} \%,$$

где  $p_{cp}$  вычисляется по формулам (3.1) – (3.4).

Например, эффективность системы связей для антитела, представленного на рисунке 3.2, определяется следующим образом.

Длины связей вычисляются по формуле (3.1):  $P(C2,C4)=j-i=4-2=2$ ;  
 $P(C1,C6)=6-1=5$ ;  $P(C1,C5)=5-1=4$ ;  $P(C1,C7)=7-1=6$ ;  $P(C1,C8)=8-1=7$ ;  
 $P(C8,C11)=11-8=3$ ;  $P(C7,C10)=10-7=3$ ;  $P(C7,C9)=9-7=2$ ;  $P(C9,C13)=13-9=4$ ;  
 $P(C12,C16)=16-12=4$ ;  $P(C12,C15)=15-12=3$ .

Средняя длина связи вычисляется по формуле 3.3:

$$P_{cp}=(2+5+4+6+7+3+3+2+4+4+3)/11=3,9.$$

Эффективность системы связей, определяемая по формуле 3.4, составляет для данного антитела  $Aff = 1/p_{cp} * 100\% = 25,64\%$ .

4. Происходит отбор антител с наилучшими показателями аффинитета и их клонирование (создание копий).

5. К клонам антител применяется оператор мутации. Используются два типа мутаций. В первом случае в случайно выбранном антителе случайным образом выбирается уровень содержания и изменяется порядок изучения элементов этого уровня. К описанному в предыдущем пункте антителу применена мутация I типа.

Случайным образом выбран II уровень, элементы которого поменяли порядок изучения. Результат представлен на рисунке 3.3 и в таблице 3.3. Соответственно изменяется множество связей мутировавшего антитела.

При мутации II типа выбираются два компонента антитела, между которыми отсутствует связь в антигене, и меняются местами их значения (изменяется порядок изучения дидактических единиц курса). Этим достигается соответствие полученных антител ограничениям задачи.

6. Вычисляется аффинитет клонов антител.

7. Формируется новая популяция путем присоединения клонов антител к уже существующей популяции. Определяется текущее решение – антитело с наилучшим показателем аффинитета.

8. Удаляется некоторая часть антител с наихудшими показателями аффинитета.

9. Генерируются новые случайно сформированные антитела и присоединяются к популяции до восстановления ее численности.

10. Условием окончания алгоритма является стабилизация популяции на протяжении некоторого количества циклов. Если условие выполнено, решением является антитело с наилучшим показателем аффинитета, если не выполнено, переход к шагу 3.

Результатом является антитело из текущей популяции с наилучшим значением аффинитета, представляющее оптимальный порядок изучения элементов содержания курса.

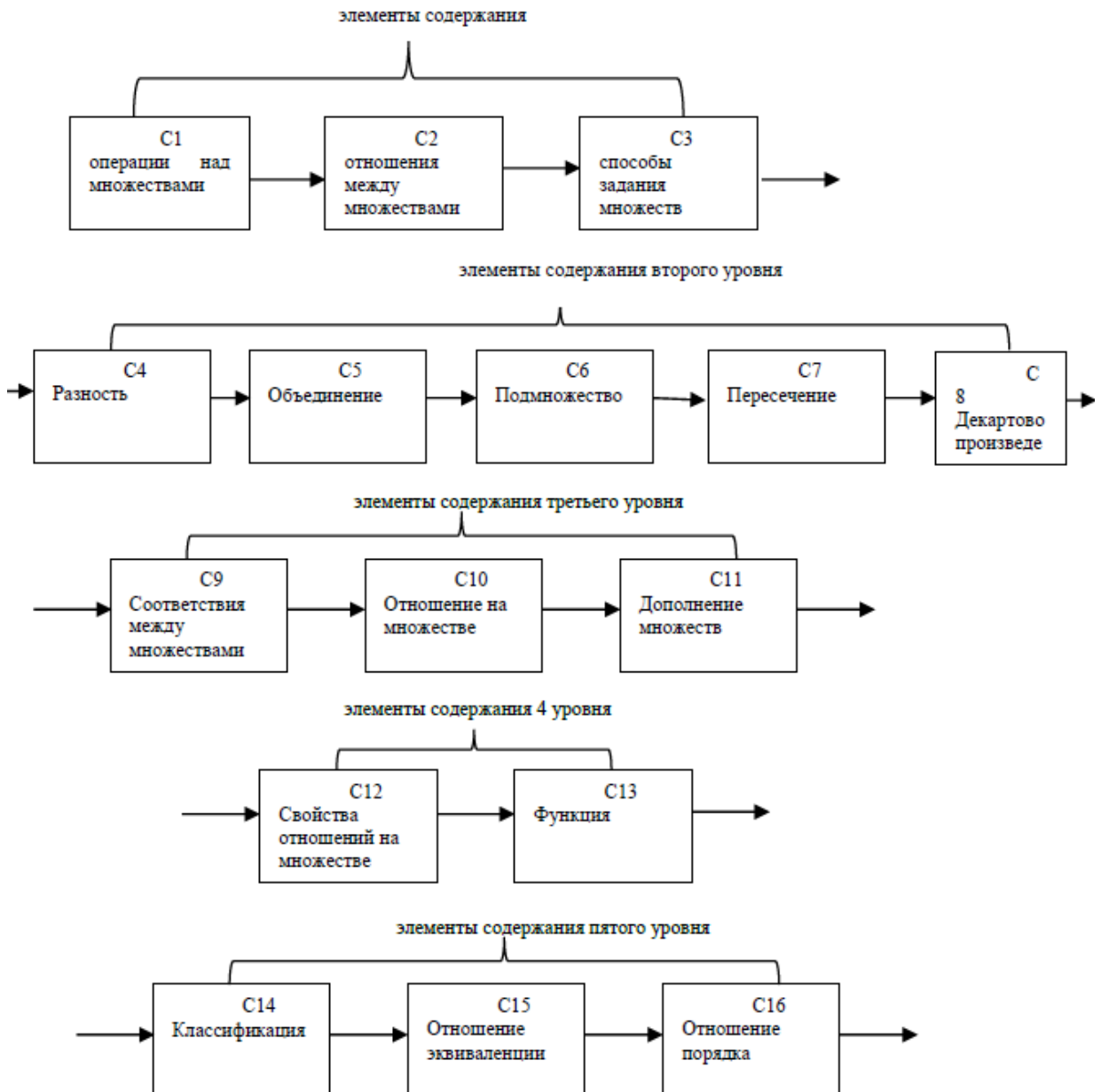


Рисунок 3.3. – Антитело после мутации I типа.

Наилучшие результаты работы алгоритма для учебного курса, содержащего 17 дидактических единиц, были получены при  $Np = 100$ ,  $k1 = 30$ ,  $p1 = 2$ ,  $r1 = 70$ . В этом случае стабилизация популяции была достигнута на 20 шаге алгоритма.

Таблица 3.3 – Мутация антитела.

Дидактические единицы содержания	Уровень	Обозначение в антигене	Обозначение элемента в антителе	Порядок изучения элементов после мутации первого типа
Способы задания множеств	I	A1	C3	C3
Отношения между множествами	I	A2	C2	C2
Операции над множествами	I	A3	C1	C1
Подмножество	II	A4	<b>C4</b>	<b>C6</b>
Объединение	II	A5	<b>C6</b>	<b>C5</b>
Пересечение	II	A6	<b>C5</b>	<b>C7</b>
Декартово произведение	II	A7	<b>C7</b>	<b>C8</b>
Разность	II	A8	<b>C8</b>	<b>C4</b>
Дополнение	III	A9	C11	C11
Отношения	III	A10	C10	C10
Соответствия	III	A11	C9	C9
Свойства отношений	IV	A12	C12	C12
Функция	IV	A13	C13	C13
Отношение порядка	V	A14	C16	C16

Отношение эквиваленции	V	A15	C15	C15
Классификация	V	A16	C14	C14

В работе [25] предложен алгоритм оптимизации содержания курса и приведен пример его выполнения для нескольких учебных тем. Оптимизация курса с использованием искусственной иммунной системы не только позволяет экономить время преподавателя, но и находить лучшие структуры изучения элементов содержания по сравнению с предложенными в этой работе.

### **3.2 Сравнение результатов выполнения предложенного алгоритма оптимизации структуры теоретической части курса с использованием искусственной иммунной системы с аналогичными, полученными другими авторами**

Работе С.В. Васекина приведены данные о результатах оптимизации структуры содержания различных учебных курсов на основе алгоритмов, представленных в [25]. Это позволило провести их сравнение с разработанным алгоритмом оптимизации на основе искусственной иммунной системы.

Пусть вектор  $A$  представляет оптимальную структуру содержания обучения, найденную с использованием процедур, описанных С.В. Васекиным, вектор  $C$  – структуру, найденную с использованием алгоритмов искусственной иммунной системы.

#### Учебная тема «Умножение и деление десятичных дробей» 5 класс.

В таблице 3.4 приведены основные дидактические единицы темы «Умножение и деление десятичных дробей» и различные варианты последовательности их изучения (структуры теоретической части учебной темы).

Таблица 3.5 содержит данные о длине связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами  $A$  и  $C$ .



Таблица 3.4 - Сравнение найденных векторов дидактических единиц

Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная вручную	Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная на основе искусственной иммунной системы
A1 Умножение десятичных дробей	C1 Умножение десятичных дробей
A2 Частные случаи умножения десятичных дробей	C2 Частные случаи умножения десятичных дробей
A3 Деление десятичной дроби на натуральное число	C3 Деление десятичной дроби на натуральное число
A4 Деление десятичных дробей на 10, 100, 1000 и т.д.	C4 Деление десятичных дробей на 10, 100, 1000 и т.д.
A5 Проценты	C5 Проценты
A6 Круговые диаграммы	C6 Круговые диаграммы
A7 Деление на десятичную дробь	C7 Деление на десятичную дробь
A8 Масштаб	C8 Задачи на проценты
A9 Среднее арифметическое	C9 Среднее арифметическое
A10 Задачи на проценты	C10 Масштаб

Таблица 3.5 содержит данные о длине связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.5 – Таблица связей

Вектор А		Вектор С	
Система связей	Длина связи	Система связей	Длина связи
(A1, A2)	1	(C1, C2)	1
(A1, A3)	2	(C1, C3)	2
(A1, A5)	4	(C1, C5)	4

(A1, A10)	9	(C1, C8)	7
(A2, A4)	2	(C2, C4)	2
(A3, A4)	1	(C3, C4)	1
(A3, A6)	3	(C3, C6)	3
(A3, A7)	4	(C3, C7)	4
(A3, A9)	6	(C3, C9)	6
(A4, A5)	1	(C4, C5)	1
(A4, A10)	6	(C4, C8)	4
(A5, A6)	1	(C5, C6)	1
(A5, A10)	5	(C5, C8)	3
(A7, A10)	3	(C7, C8)	1

Таблица 3.6 содержит числовые характеристики системы связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.6 – Таблица характеристик

Вектор А	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	48
	Количество связей	14
	Средняя длина связи $p_{cp}$	3,4
	Эффективность системы связей $E(A)$	29,4%
Вектор С	Сумма длин связей $\sum(C_i, C_j)$	40
	Количество связей	14
	Средняя длина связи $p_{cp}$	2,9
	Эффективность системы связей $E(C)$	34,5%

Как видно из данных таблицы 3.6, эффективность системы связей структуры содержания курса, найденной вручную, составляет 29,4%, найденная

же с помощью алгоритма на основе искусственной иммунной системы имеет большую эффективность, равную 34,5%.

Учебная тема «Умножение и деление обыкновенных дробей» 6 класс.

В таблице 3.7 приведены основные дидактические единицы темы «Умножение и деление обыкновенных дробей» и различные варианты последовательности их изучения (структуры теоретической части учебной темы).

Таблица 3.7. Сравнение найденных векторов дидактических единиц

Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная вручную, вектор А	Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная на основе искусственной иммунной системы, вектор С
А1 Умножение дробей	С1 Умножение дробей
А2 Нахождение заданной части числа	С2 Нахождение заданной части числа
А3 Распределительный закон умножения	С3 Взаимно-обратные числа
А4 Взаимно-обратные числа	С4 Деление дробей
А5 Деление дробей	С5 Нахождение числа по данной его части
А6 Нахождение числа по данной его части	С6 Дробные выражения
А7 Дробные выражения	С7 Распределительный закон умножения

Таблица 3.8 содержит данные о длине связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.8 – Таблица связей

Вектор А		Вектор С	
Система связей	Длина связи	Система связей	Длина связи
(A1, A2)	1	(C1, C2)	1
(A1, A3)	2	(C1, C7)	6
(A1, A4)	3	(C1, C3)	2
(A1, A5)	4	(C1, C4)	3
(A1, A7)	6	(C1, C6)	5
(A2, A6)	4	(C3, C4)	1
(A4, A5)	1	(C2, C5)	3
(A5, A6)	1	(C4, C5)	1
(A5, A7)	2	(C4, C6)	2

Таблица 3.9 содержит числовые характеристики системы связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.9 – Таблица характеристик

Вектор А	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	24
	Количество связей	9
	Средняя длина связи $p_{cp}$	2,7
	Эффективность системы связей $E(A)$	37 %
Вектор С	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	24
	Количество связей	9
	Средняя длина связи $p_{cp}$	1,4
	Эффективность системы связей $E(A)$	37%

Как видно из таблиц 3.7-3.9, с помощью алгоритма на основе искусственной иммунной системы была найдена структура содержания курса,

отличная от структуры этого же курса, найденной другими авторами. Эффективность системы связей двух структур одинакова.

Учебная тема «Линейная функция и ее график» 7 класс.

В таблице 3.10 приведены основные дидактические единицы темы «Линейная функция и ее график» и различные варианты последовательности их изучения (структуры теоретической части учебной темы).

Таблица 3.10. Сравнение найденных векторов дидактических единиц

Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная вручную, вектор А	Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная на основе искусственной иммунной системы, вектор С
А1 Аргумент	С1 Аргумент
А2 Функция	С2 Функция
А3 Область определения	С3 Область значений
А4 Область значений	С4 Область определения
А5 Формула функции	С5 Формула функции
А6 График функции	С6 График функции
А7 Прямая пропорциональность	С7 Прямая пропорциональность
А8 Угловой коэффициент	С8 Угловой коэффициент
А9 Линейная функция	С9 Линейная функция
А10 Угол наклона прямой	С10 Угол наклона прямой
А11 Пересечение графиков	С11 Параллельные графики
А12 Параллельные графики	С12 Пересечение графиков

Таблица 3.11 содержит данные о длине связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.11 – Таблица связей

Вектор А	Вектор С
----------	----------

Система связей	Длина связи	Система связей	Длина связи
(A1, A2)	1	(C1, C2)	1
(A1, A5)	4	(C1, C5)	4
(A1, A3)	2	(C1, C4)	3
(A1, A6)	5	(C1, C6)	5
(A2, A5)	2	(C2, C5)	3
(A2, A3)	3	(C2, C4)	2
(A3, A10)	7	(C4, C10)	6
(A3, A5)	2	(C4, C5)	1
(A4, A5)	1	(C3, C5)	2
(A5, A6)	1	(C5, C6)	1
(A5, A7)	2	(C5, C7)	2
(A6, A9)	3	(C6, C9)	3
(A3, A8)	5	(C4, C8)	4
(A8, A12)	4	(C8, C11)	3
(A9, A11)	2	(C9, C12)	3
(A9, A12)	3	(C9, C11)	2

Таблица 3.12 содержит числовые характеристики системы связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.12 – Таблица характеристик

Вектор А	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	47
	Количество связей	16
	Средняя длина связи $p_{\text{ср}}$	2,9
	Эффективность системы связей $E(A)$	34,5%
Вектор С	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	45
	Количество связей	16
	Средняя длина связи $p_{\text{ср}}$	2,8

	Эффективность системы связей $E(A)$	35,7%
--	-------------------------------------	-------

Как видно из данных таблицы 3.12, эффективность системы связей структуры содержания курса, найденной вручную, составляет 34,5%, найденная же с помощью алгоритма на основе искусственной иммунной системы имеет большую эффективность, равную 35,7 %.

Учебная тема «Квадратные корни» 8 класс.

В таблице 3.13 приведены основные дидактические единицы темы «Квадратные корни» и различные варианты последовательности их изучения (структуры теоретической части учебной темы).

Таблица 3.13. Сравнение найденных векторов дидактических единиц

Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная вручную, вектор А	Оптимальная последовательность дидактических единиц, найденная на основе искусственной иммунной системы, вектор С
А1 Множество рациональных чисел	С1 Представление чисел в виде десятичных дробей
А2 Представление чисел в виде десятичных дробей	С2 Бесконечная десятичная периодическая дробь
А3 Бесконечная десятичная периодическая дробь	С3 Бесконечная десятичная непериодическая дробь
А4 Бесконечная десятичная непериодическая дробь	С4 Иррациональные числа
А5 Иррациональные числа	С5 Рациональные числа
А6 Действительные числа	С6 Действительные числа
А7 Сравнение действительных чисел	С7 Сравнение действительных чисел
А8 Действия с действительными числами	С8 Квадратный корень

A9 Квадратный корень	C9 Арифметический квадратный корень
A10 Арифметический квадратный корень	C10 Извлечение арифметического квадратного корня
A11 Извлечение арифметического квадратного корня	C11 Решение уравнений вида $x^2 = a$
A12 Решение уравнений вида $x^2 = a$	C12 Нахождение приближенных значений квадратного корня
A13 Нахождение приближенных значений квадратного корня	C13 Свойства арифметического квадратного корня
A14 График функции $y = \sqrt{x}$	C14 График функции $y = \sqrt{x}$
A15 Свойства функции $y = \sqrt{x}$	C15 Свойства функции $y = \sqrt{x}$
A16 Свойства арифметического квадратного корня	C16 Действия с действительными числами

Таблица 3.14 содержит данные о длине связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.14 – Таблица связей

Вектор А		Вектор С	
Система связей	Длина связи	Система связей	Длина связи
(A2, A3)	1	(C1, C2)	1
(A3, A4)	1	(C2, C3)	1
(A3, A5)	2	(C2, C4)	2
(A4, A5)	1	(C3, C4)	1
(A1, A6)	5	(C5, C6)	1
(A5, A6)	1	(C4, C6)	2
(A3, A7)	4	(C2, C7)	5
(A4, A7)	3	(C3, C7)	4



(A9, A10)	1	(C8, C9)	1
(A10, A11)	1	(C9, C10)	1
(A5, A12)	7	(C4, C11)	7
(A10, A12)	2	(C9, C11)	2
(A11, A13)	2	(C10, C12)	2
(A11, A14)	3	(C10, C14)	4
(A14, A15)	1	(C14, C15)	1
(A10, A16)	6	(C9, C13)	4
(A11, A16)	5	(C10, C13)	3

Таблица 3.15 содержит числовые характеристики системы связей в каждой из последовательностей дидактических единиц (структур содержания темы), представленных векторами А и С.

Таблица 3.15 – Таблица характеристик

Вектор А	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	46
	Количество связей	17
	Средняя длина связи $p_{\text{ср}}$	2,7
	Эффективность системы связей $E(A)$	37%
Вектор С	Сумма длин связей $\sum(A_i, A_j)$	42
	Количество связей	17
	Средняя длина связи $p_{\text{ср}}$	2,5
	Эффективность системы связей $E(A)$	40%

Как видно из таблицы 3.15, найденная с помощью искусственной иммунной системы структура теоретического содержания курса обладает эффективностью на 3% больше, чем найденная другим способом.

Сравнение результатов оптимизации структуры содержания четырех предложенных тем, выполненных вручную различными авторами, с

результатами выполнения алгоритма оптимизации на основе искусственных иммунных систем показали преимущество последнего, так как он не только экономит время работы, но и позволяет получить лучшие результаты.

### 3.3 Алгоритм оптимизации содержания практической части курса с использованием искусственной иммунной системы

Пусть  $G_i = \{g_{ij}\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$  – множество компетенций, формируемых в результате изучения  $i$ -го курса,  $EPS_i = \{eps_{ij}\}, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, N1$  – множество практических заданий  $i$ -го курса,  $N1$  – количество практических заданий курса, причем каждое задание может быть направлено на формирование нескольких компетенций.

Каждое практическое задание учебного курса характеризуется следующими показателями.

Вес задания вычисляется по формуле [26]:

$$\mu_k = n1/m, \quad (3.9)$$

где  $n1$  – количество компетенций учебного курса, формированию которых способствует успешное выполнение данного задания,  $m$  – общее количество компетенций данного учебного курса.

Согласно классической теории тестирования, каждое задание  $eps_{ij}$  характеризуется трудностью  $\delta_j$ :

$$\delta_j = Ne_j/Nt_j, j = 1, \dots, N1, \quad (3.10)$$

где  $Ne_j$  – количество обучающихся, выполнивших задание неверно,  $Nt_j$  – количество обучающихся, выполнявших это задание,  $j$  – номер задания.

Требуется найти оптимальный набор заданий, выбранных из каждого класса, позволяющий покрыть все компетенции.

Множество практических заданий класса может быть подвергнуто дискретной кластеризации. В один класс включаются задания, направленные на достижения одинаковых компетенций курса. Затем внутри каждого из классов может быть проведена интервальная кластеризация на основе показателя

трудности заданий. После выполнения этих процедур множество заданий будет разделено на классы, близких по трудности заданий, направленных на достижение одинаковых компетенций курса.

Каждый класс характеризуется:

- 1) количеством заданий  $ke$ ,
- 2) весом заданий  $\mu_i$ , вычисленным по формуле (3.9),
- 3) коэффициентом средней трудности заданий, определяемым по формуле:

$$\delta_{imid} = (\sum_1^{ke} \delta_i) / ke, \quad (3.11)$$

где  $ke$  – количество заданий данного класса,  $\delta_i$  – трудность  $i$  задания этого класса, вычисляемая по формуле (3.10).

Для формулировки целевой функции и ограничений использовалась модель Г. Марковица. Требуется определить долю заданий каждого класса в общем количестве практических заданий, предлагаемых обучающемуся и отвечающих условиям:

$$R(X) = \sum_{i=1}^{N2} \sum_{j=1}^{N2} \sigma_{ij} x_i x_j \rightarrow \min, \quad D(X) = \sum_{i=1}^{N2} \mu_i x_i \rightarrow \max, \quad (3.12)$$

$$\text{при ограничениях } \sum_{i=1}^{N2} x_i = 1, \quad x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = 1, \dots, N2, \quad (3.13)$$

где  $N2$  – число классов заданий, которые доступны в учебном курсе;  $\mu_i$  – вес заданий класса  $i$ ;  $\sigma_{ij}$  – ковариация коэффициентов средней трудности заданий классов  $i$  и  $j$ ;  $x_i^{\min}$  – нижнее ограничение на долю заданий, выбираемых из класса  $i$ ,  $x_i^{\max}$  – верхнее ограничение на долю заданий, выбираемых из класса  $i$ ,  $x_i$  – доля от общего объема заданий, выбранная из данного класса  $i$ .

Переменными модели являются  $x_i$  – доля ( $0 \leq x_i \leq 1$ ) от общего количества заданий, выбранная из класса  $i$  ( $i = 1, \dots, N2$ ).

*Алгоритм оптимизации содержания практических заданий курса с использованием искусственной иммунной системы.*

1. Определение антигена. В качестве антигена  $Ag$  рассматривается вектор  $Ag = (R^*(X), D^*(X))$ , компоненты которого являются оптимальными значениями соответствующих функций, найденными по отдельности, при

переводе второй функции в ограничения.

2. Формирование популяции антител. Антителом в данной задаче является вектор  $X = (x_1, x_2, \dots, x_{N2})$ ,  $x_i^{min} \leq x_i \leq x_i^{max}$ ,  $i = 1, \dots, N2$ . Популяция антител имеет размерность  $W$ , определяемую экспертом. Генерация антитела происходит следующим образом: каждой компоненте вектора присваивается допустимое минимальное значение, а затем выбирается случайным образом  $mk$  различных компонент, значение которых увеличивается на  $(1 - \sum_1^{N2} x_i)/mk$ , с учетом ограничений  $x_i \leq x_i^{max}$ .

3. Оценка аффинитета антител к антигену. Для каждого антитела  $X$  в популяции вычисляется вектор  $F(X) = (R(X), D(X))$ , к ним применяется процедура ранжирования. В текущей популяции находятся, выделяются в отдельное множество и временно исключаются из рассмотрения все недоминируемые по Парето антитела. Затем эта процедура повторяется. Элементы, принадлежащие последнему рассмотренному множеству, получают ранг 1, предпоследнему – ранг 2. Недоминируемые решения, исключенные первыми, получают наивысший ранг  $r$ , соответственно равный количеству проведенных процедур исключения. Для каждого антитела  $X$  вычисляется евклидово расстояние  $d$  между векторами  $F(X)$  и  $Ag$ .

Каждое антитело  $X$  получает оценку аффинитета  $Aff(X)$ .

$$Aff(X) = r + 1/d,$$

где  $r$  – ранг множества, которому принадлежит данное антитело. Такой метод назначения оценок настраивает алгоритм на поиск недоминируемых решений, имеющих наибольшую близость к оптимальным значениям, вычисленным по каждому из критериев в отдельности.

4. Отбор антител с наилучшими показателями аффинитета и клонирование. Определяется антитело с наилучшим показателем аффинитета, которое считается текущим решением задачи. Выбирается  $k2$  ( $k2 < W$ ) антител с наилучшими показателями аффинитета, к которым применяется оператор клонирования, создается  $p2$  копий каждого экземпляра.

5. Оператор мутации клонов антител. В диссертации предложен следующий оператор мутации: случайный выбор в антителе двух позиций  $i$  и  $j$  и обмен их значений. Если при этом нарушались ограничения на максимальный размер доли, например  $x_j > x_i^{max}$ , то  $x_i = x_i^{max}$ ,  $x_j = x_j + x_i - x_i^{max}$ , что позволило учесть ограничения (3.13).

6. Вычисление аффинитета клонов антител.

7. Формирование новой популяции антител. Текущая популяция увеличивается за счет присоединения клонов, затем  $r_2$  антител с наихудшими показателями аффинитета ( $k_2 \cdot p_2 < r_2 < W$ ) удаляется из популяции. Размер популяции восстанавливается до исходной величины присоединением новых сгенерированных антител.

Начиная с третьего шага, процесс повторяется до тех пор, пока наилучшее значение аффинитета перестает меняться на протяжении некоторого, определённого пользователем, количества повторений цикла.

Решением задачи является текущее решение, полученное в ходе последней итерации алгоритма.

### **3.4 Оценка знаний обучающихся с использованием нейронной сети**

Контроль знаний обучающихся проводился с использованием тестирования. Задача оценки знаний обучающихся представляет классификацию обучающихся на группы, внутри каждой из которых обучающиеся получают одинаковую оценку (в традиционном обучении эта оценка определяется по пятибалльной системе). Таким образом, задача оценивания знаний обучающихся сводится к задаче классификации. Использование нейросетевых технологий позволяет автоматизировать процесс. Для решения задачи использовалась сеть Кохонена. В этой число входов каждого нейрона равно размерности параметров классифицируемого объекта. Классифицируемые объекты представляют ответы студентов на вопросы теста. Каждый нейрон имеет число

входов, совпадающее с числом вопросов теста. Количество нейронов равно числу групп, на которые будут разделены обучающиеся.

Обучающиеся будут делиться на 4 класса:

1. показавшие знания ниже уровня образовательного стандарта;
2. обучающиеся, чьи знания соответствуют требованиям образовательного стандарта (удовлетворительно);
3. учащиеся, показавшие знания выше уровня стандарта «хорошо»;
4. учащиеся, которым может быть выставлена оценка «отлично».

В процессе прохождения тестирования обучающимся формируется вектор его ответов на вопросы теста, компонентами которого являются 0 и 1. Компоненте присваивается значение 0, если на соответствующий вопрос дан неверный ответ, и 1, если обучающийся ответил верно.

Параметры нейронов сети представляют столбцы весовой матрицы. На первом этапе значения весов задаются случайным образом значениями из промежутка  $[0,1]$ . В процессе обучения сети при предъявлении на вход каждого из векторов обучающей выборки эти значения модифицируются в процессе самоорганизации.

Алгоритм обучения сети Кохонена определяется следующим образом.

1. Инициализация сети. Весовые коэффициенты сети получают значения случайным образом из промежутка  $[0,1]$ . Определяются  $\alpha_N$  – начальное значение темпа обучения и  $D_N$  – максимальное расстояние между векторами весов (столбцами весовой матрицы).

2. На вход сети подается вектор  $X$  из обучающей выборки. Вычисляется расстояние от входного вектора до всех нейронов сети по следующей формуле:

$$d_j = \sum_{i=1}^n (x_i - w_{ij}^N)^2, \quad j = \overline{1, m}.$$

3. Выбирается нейрон с номером  $k, 1 \leq k \leq m$ , с расстояние от которого до входного вектора наименьшее.

4. Модифицируются веса  $k$  – того нейрона и других, расстояние до которых от  $k$  – го нейрона меньше или равно  $D_N$ :

$$w_{ij}^{N+1} = w_{ij}^N + \alpha_N(x_i - w_{ij}^N).$$

5. Значения  $\alpha_N, D_N$  уменьшаются.

Шаги 2-5 повторяются до тех пор, пока не будет достигнута стабилизация весовой матрицы (веса сети перестают меняться на протяжении достаточного количества циклов или суммарное изменение весов сети меньше величины достаточно малой величины, заданной пользователем).

По завершению обучения сети может быть выполнена оценка знаний учащихся. С этой целью вектор ответов студента на вопросы теста подается на вход сети и вычисляется расстояние от этого вектора до каждого из нейронов сети. Нейрон с наименьшим расстоянием до входного вектора определяет класс, к которому относится данный ответ, что определяет оценку результатов тестирования.

### 3.5 Выводы

1. Разработан алгоритм оптимизации структуры теоретической части курса с использованием искусственной иммунной системы и экспериментально проверена его эффективность.
2. Разработан алгоритм оптимизации содержания практической части курса на основе модифицированной модели Марковица.
3. Использование нейросетевых технологий классификации позволяет производить оценку знаний обучающихся.

## Глава 4. Программная реализация предложенных алгоритмов

Данная глава посвящена описанию программного комплекса –обучающей системы.

### 4.1 Интерфейс пользователя

Интерфейс пользователя представляет следующую систему страниц.

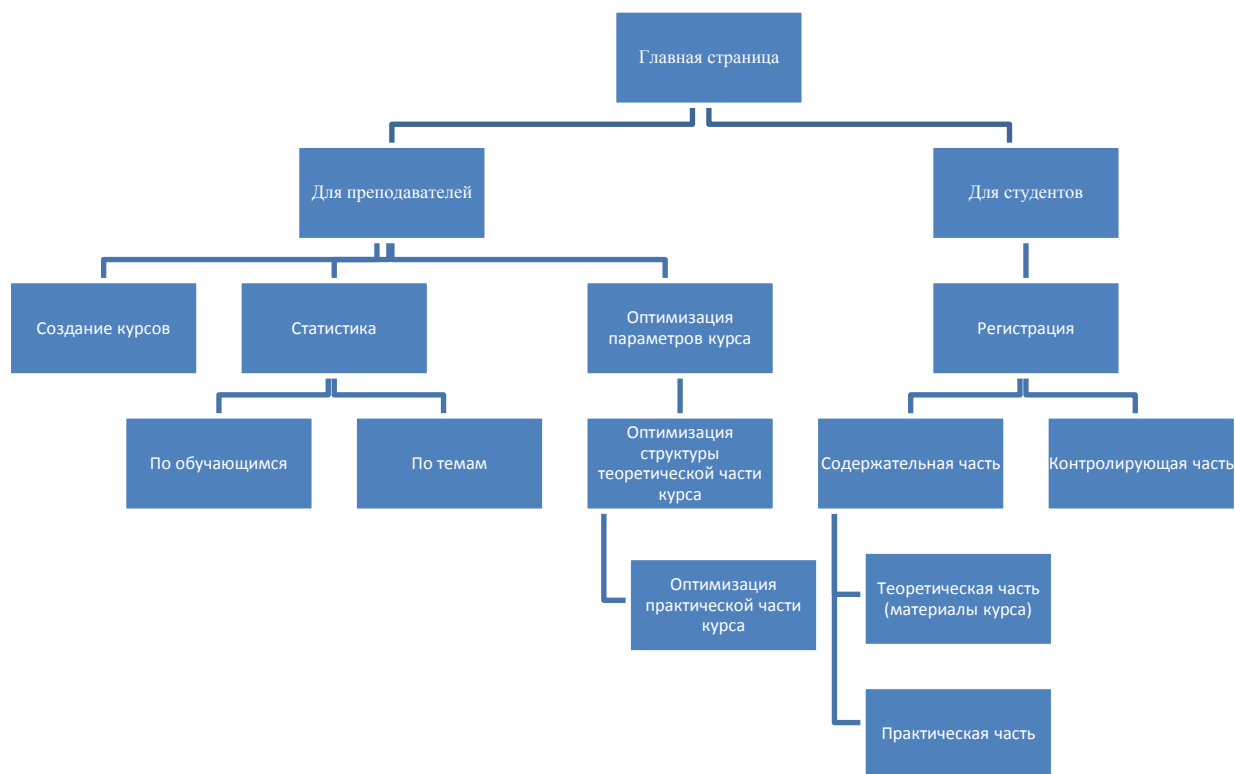


Рисунок 4.1 – Интерфейс пользователя обучающей системы

Главная страница - общая для всех пользователей и является связующим узлом между различными разделами системы (рисунок 4.1). На странице доступны два блока входа – вход под преподавательской учетной записью и



вход под студенческой учетной записью. Также предусмотрена возможность зарегистрировать новую учетную запись студента.

Страница регистрации новой учетной записи студента предлагает пользователю ввести информацию о себе для заведения в обучающей системе профиля обучающегося. Пользователь вводит также логин и пароль, с помощью которых будет предоставляться доступ к личному кабинету.

После регистрации в качестве обучающегося пользователь сразу попадает в свой личный кабинет. Эта страница является следующим связующим узлом – находясь в личном кабинете можно просматривать текущий список учебных курсов, в каждом из курсов выполнять теоретическую и практическую часть, проходить тестирование, просматривать все свои результаты с полным предоставлением информации о пройденных тестах, менять персональные данные.

На странице «Результаты» предоставляется вся сводная информация о результатах тестирования по каждому курсу. Помимо оценки и даты выполнения, пользователю предоставляется также и маска ответов, которая показывает правильные и неправильные ответы на вопросы конкретного тестирования. Перейдя по ссылке для каждого теста, пользователь сможет увидеть, какие вопросы были в данном тесте. Однако возможность поменять ответы не предоставляется.

После ввода логина и пароля в форму на главной странице, пользователь попадает в личный кабинет преподавателя. Пользователю предлагаются страницы «Создание курсов», «Статистика» и «Оптимизация». Страница «Статистика» представляет сводную таблицу данных о студентах и пройденных ими тестах по каждому из созданных преподавателем курсов. Просматривая результаты тестирования, преподаватель сможет увидеть, какие вопросы были в данном тесте для данного студента. На странице «Оптимизация» преподаватель имеет возможность выполнить для каждого

созданного им учебного курса оптимизацию содержания курса, системы практических заданий курса.

## 4.2 Организация работы с базой данных

Средством реализации поставленных задач были выбраны среда разработки C++ Builder и СУБД Paradox.

Функциональная схема программного комплекса выглядит следующим образом:

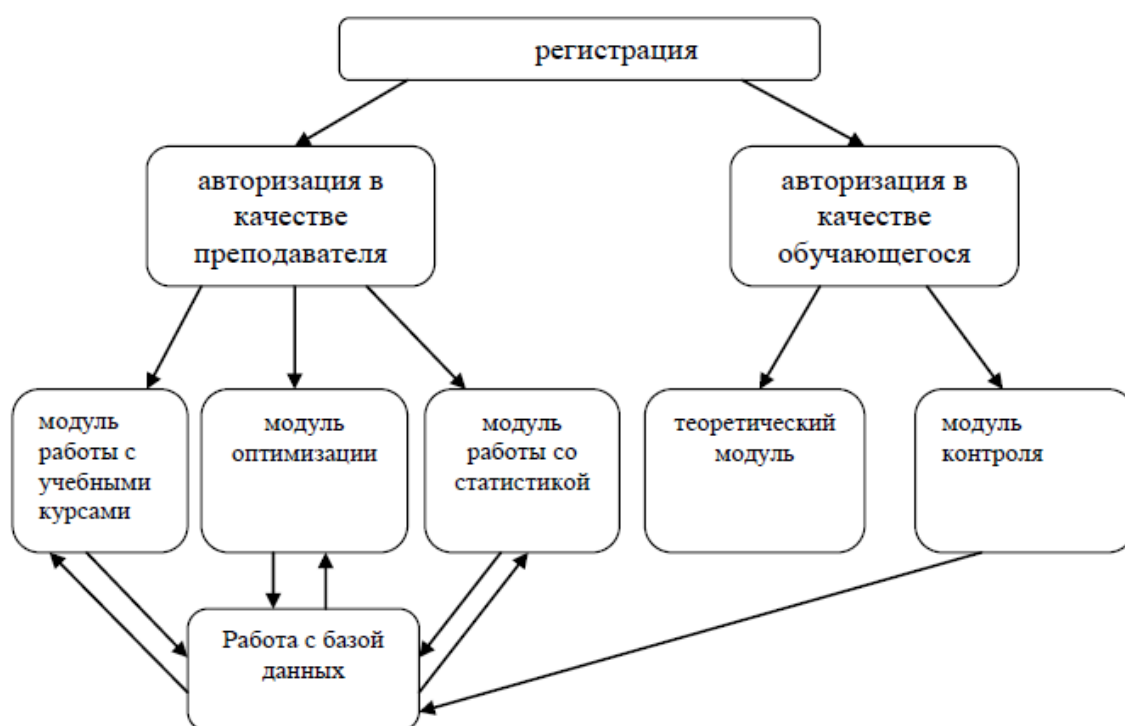


Рисунок 4.2 – Функциональная схема программного комплекса.

Структурная схема взаимодействия основных модулей показана на рисунке 4.3.

Как показывает функциональная схема, разработанный программный комплекс предназначен для решения следующих задач. Первая часть системы предназначена для работы пользователя с выбранным учебным курсом в качестве обучающегося. Вторая часть системы обеспечивает работу преподавателя: позволяет создавать и оптимизировать учебные курсы с использованием накопленной статистической информации.

Получение, хранение и обработка информации о функционировании учебного курса требуют наличия удобной и функциональной системы хранения данных. Для хранения и управления данными была выбрана СУБД Paradox, так как при работе с интегрированной средой программирования C++ Builder [8] она позволяет организовать надежное хранение информации и оперативно получать доступ к данным.

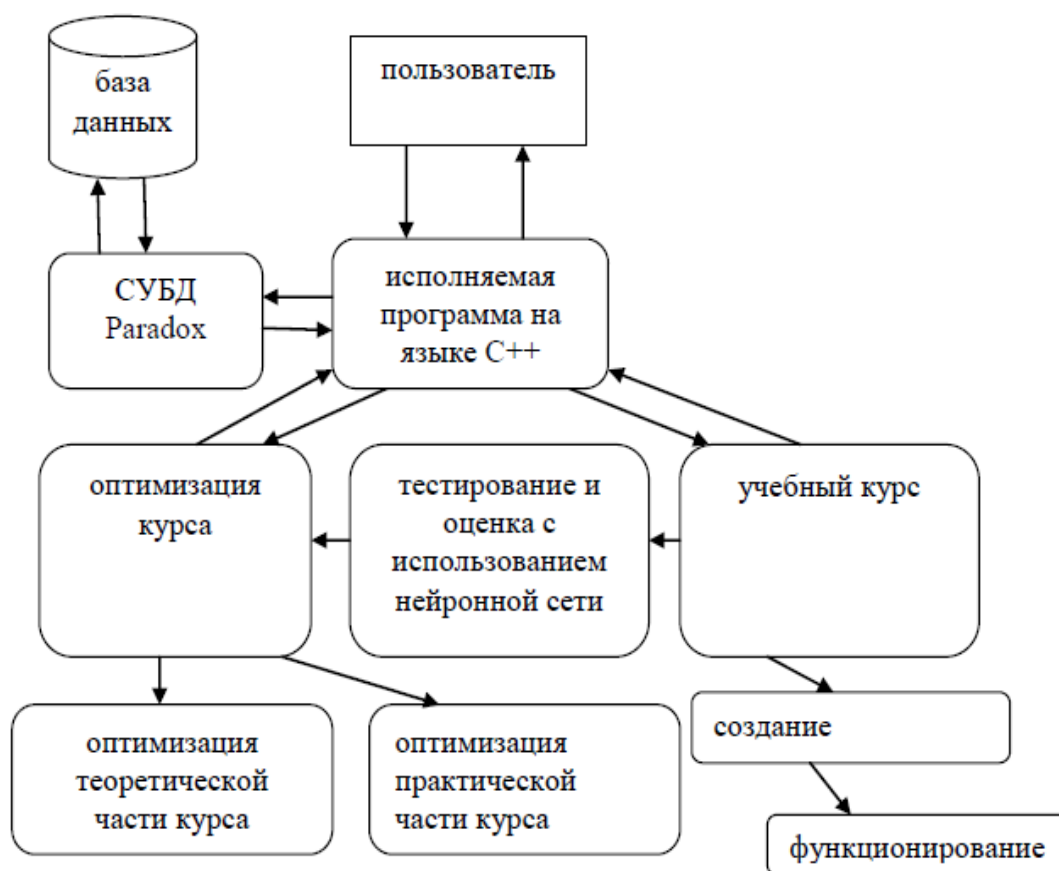


Рисунок 4.3 – Структурная схема взаимодействия модулей обучающей системы.

Как показывает функциональная схема, разработанный программный комплекс предназначен для решения следующих задач. Первая часть системы предназначена для работы пользователя с выбранным учебным курсом в качестве обучающегося. Вторая часть системы обеспечивает работу преподавателя: позволяет создавать и оптимизировать учебные курсы с использованием накопленной статистической информации.

Получение, хранение и обработка информации о функционировании учебного курса требуют наличия удобной и функциональной системы хранения данных. Для хранения и управления данными была выбрана СУБД Paradox, так как при работе с интегрированной средой программирования С++ Builder [8] она позволяет организовать надежное хранение информации и оперативно получать доступ к данным.

В рамках процесса создания обучающей системы была спроектирована база данных, хранящая всю необходимую информацию. Создание базы данных на сервере происходит путем запуска программы модуля построителя базы данных create\_db.exe, созданного в среде С++ Builder. Исполнение указанной программы создает и позволяет частично заполнить базу данных на сервере. Далее ставится модуль, позволяющий организовать дальнейшую работу с ней.

Для функционирования учебного курса необходимо хранение данных об учебных курсах, профилей преподавателей и обучающихся.

Данные об учебных курсах включают:

- список компетенций курса;
- список дидактических единиц содержания курса;
- данные о последовательности изучения дидактических единиц содержания;
- данные о количестве и содержании практических заданий учебного курса;
- данные о вопросах для контрольного тестирования.

Профиль преподавателя включает логин преподавателя, пароль преподавателя, список созданных им в системе курсов. Профиль обучающегося содержит его логин и пароль, данные о курсах, с которыми работает обучающийся и их текущем состоянии, результаты тестирования обучающегося.

### 4.3 Организация модулей, предназначенных для работы обучающихся с системой

После регистрации в качестве обучающегося пользователь получает возможность работы с некоторым набором учебных курсов, который определяется на основе данных его профиля. Так как система создавалась для организации и контроля самостоятельной работы студентов, то список доступных курсов определялся данными о курсе и группе пользователя. В рамках работы с конкретным учебным курсом пользователь может изучить теоретический материал раздела курса (рисунок 4.4), выполнить набор практических заданий в рамках этого раздела, а затем в рамках контроля усвоения содержания пройти тестирование, которое оценивается с использованием нейронной сети.

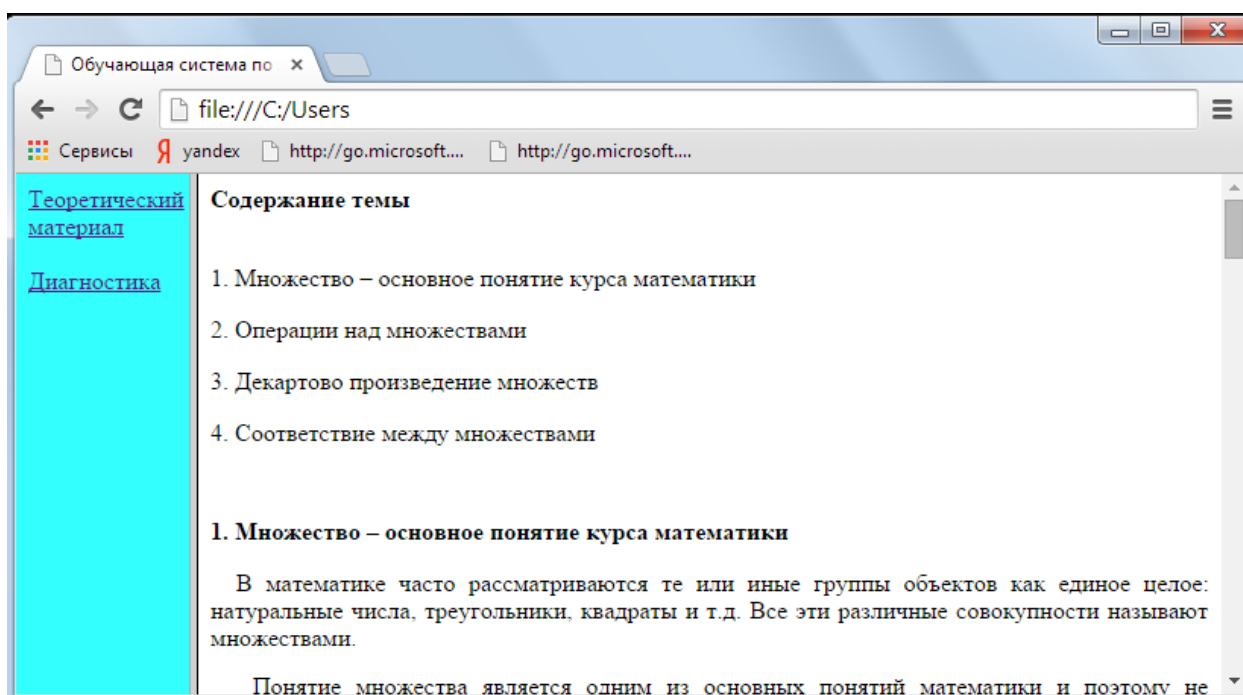


Рисунок 4.4 – Интерфейс работы с теоретическим материалом в системе.

Тестирование учащихся осуществляется следующим образом. Из блока контрольных вопросов по теме для данного обучающегося формируется тест (рисунок 4.5). Ответы на вопросы теста, данные обучающимся, записываются в одномерный массив размерность которого равна количеству вопросов теста и совпадает с количеством входов у каждого нейрона сети. Тест состоит из

вопросов с выбором правильного ответа. Если студент ответил на вопрос теста правильно, в массив ответов записывается 1, в противном случае 0.

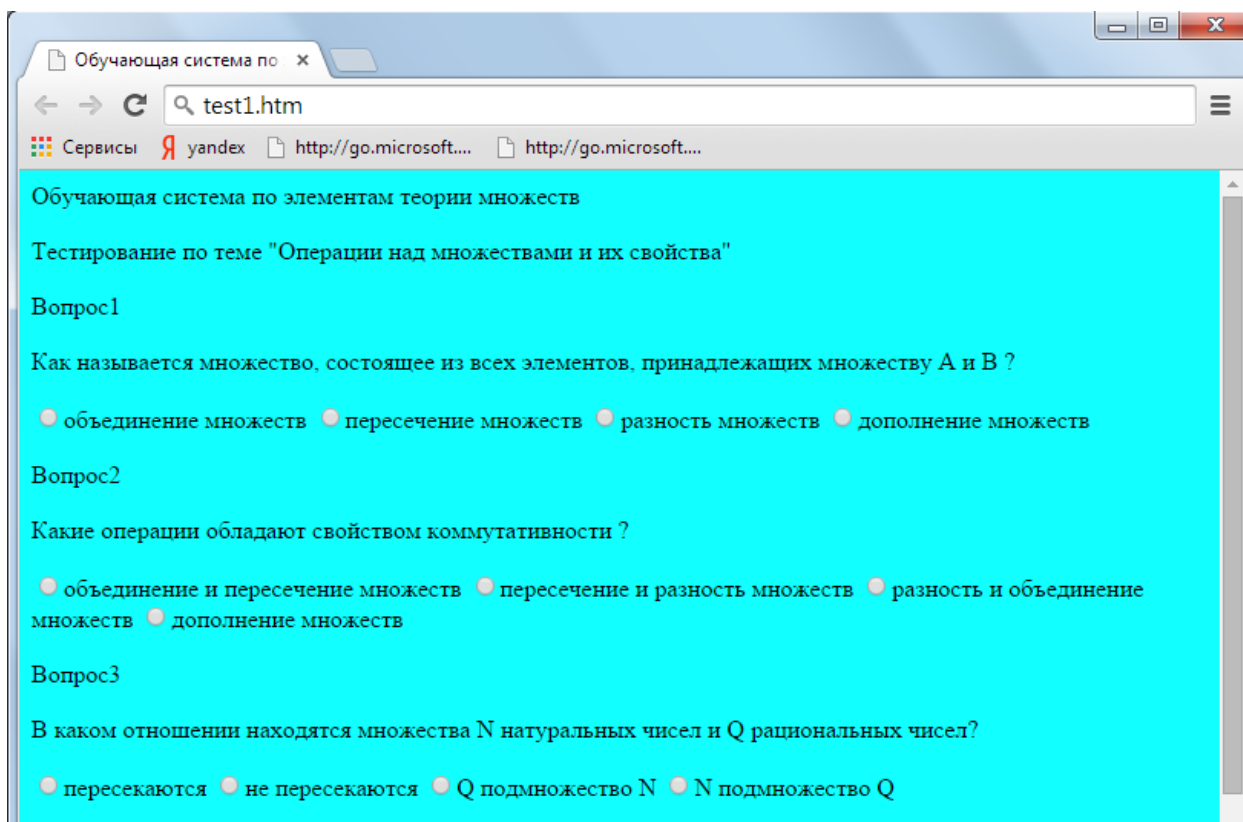


Рисунок 4.5 – Фрагмент теста.

Далее ответ учащегося оценивается с использованием нейронной сети Кохонена. Задача оценки знаний учащихся была решена как задача классификации на 4 группы, соответствующие традиционным оценкам «2», «3», «4», «5». Таким образом, число нейронов сети равно 4. Инициализация сети, ее обучение и последующая классификация реализованы в соответствии с описанным в главе 2 алгоритмом. В базу данных заносится факт предъявления обучающемуся данного вопроса в тесте и результат ответа (дан ли верный ответ). Также в профиль обучающегося записывается факт прохождения тестирования, список предъявленных вопросов и оценка теста.

#### 4.4 Схема работы модуля оптимизации

Этот модуль состоит из двух разделов. В рамках первого раздела реализован алгоритм оптимизации содержания учебного курса с

использованием искусственной иммунной системы. Во втором разделе искусственная иммунная система использовалась для оптимизации компонента содержания практической части курса.

#### 4.4.1 Описание работы модуля, реализующего оптимизацию структуры теоретической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы

Оптимизация содержания искусственной иммунной системы проводится в модуле `opt_content_iis.exe`. Структура модуля разработана в соответствии с алгоритмом оптимизации с использованием искусственной иммунной системы, описанным в главе 3. Структура модуля представлена на рисунке 4.6.

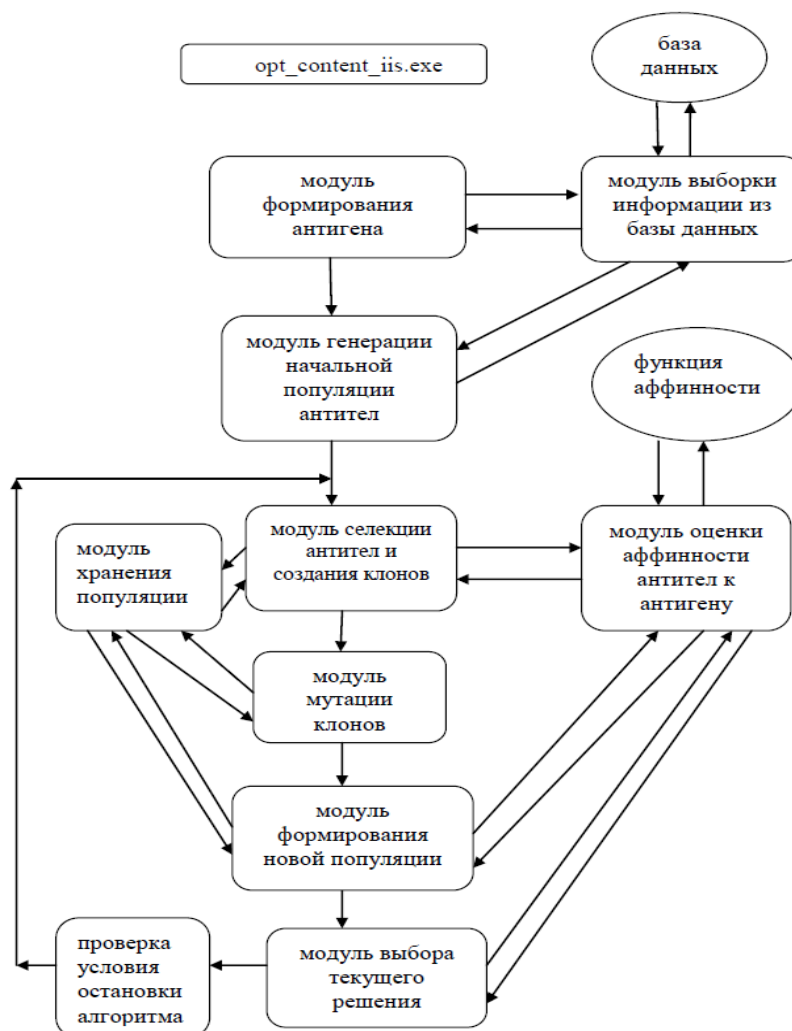


Рисунок 4.6 – Структура модуля оптимизации теоретической части учебного курса.

Работа алгоритма начинается с формирования антигена и начальной популяции решений. Для этого предусмотрен модуль работы с базой данных. Полученные из базы данных сведения об основных единицах содержания учебного курса и связях между ними обрабатываются в блоке генерации антигена. На первом этапе из множества элементов содержания исключаются и помещаются в отдельное множество элементы, не являющиеся начальными элементами никакой из связей. Затем этот процесс повторяется. Подмножество элементов содержания, исключенных последними, считается подмножеством элементов первого уровня, подмножество исключенных предпоследними считается элементами второго уровня, и так далее.

Элементом содержания, исключенным первыми, присваивается наивысший уровень. Антиген представляет массив, в строки которого помещаются элементы соответствующего уровня.

В блоке генерации антител создается популяция антител. Для представления антитела используется двумерный массив, элементами которого являются элементы содержания курса. Номер строки соответствует уровню, присвоенному элементу содержания, а номер столбца показывает порядок изучения элементов содержания на каждом уровне. При генерации антитела порядок изучения элементов на каждом уровне устанавливается случайным образом. Для заполнения каждой строки массива, хранящего антитело, случайным образом выбираются элементы из множества элементов содержания соответствующего уровня изучения. Количество антител в популяции определяется пользователем.

Селекция антител производится на основе оценки аффинитет антител в соответствующем модуле. В модуле оценки антител происходит преобразование системы связей между элементами содержания, затем аффинитет антитела рассчитывается по формулам (3.1) – (3.4). На этом этапе выделяется группа антител с наилучшими показателями аффинитет, которая направляется в модуль мутации.



В модуле мутации предусмотрено два типа изменений: при мутации первого типа случайным образом выбирается уровень изучения элементов (номер строки в массиве) и элементы этой строки меняются местами, изменяя таким образом порядок изучения элементов; при мутации второго типа происходит обмен соответствующих строк у массивов, представляющих два различных антитела. Мутировавшие антитела присоединяются к популяции. В модуле отбора происходит вычисление оценки аффинитет расширенной популяции и восстановление ее численности путем удаления антител с наихудшими показателями аффинитета, а так же генерирование некоторого количества новых антител. Полученная обновленная популяция сохраняется, антитело с наилучшим показателем аффинитета определяется как текущее решение.

Затем проверяется условие остановки алгоритма, которое состоит в стабилизации популяции антител на протяжении достаточно большого количества циклов. Если условие выполнено, текущее решение представляет оптимальную структуру содержания учебного курса, которая заносится в базу данных.

#### **4.4.2 Описание работы модуля, реализующего оптимизацию содержания практической части учебного курса с использованием искусственной иммунной системы**

Данный модуль программы `opt_tasks_iis.exe` посвящен оптимизации компонента практических заданий учебного курса с использованием искусственной иммунной системы. Структура модуля представлена на рисунке 4.7.

Первым этапом оптимизации содержания практической части курса является классификация заданий курса по уровню трудности, которая реализована в соответствующем модуле. С целью хранения данных о каждом из практических заданий спроектированы классы `Task` и `TaskOperate`. Объект этого класса содержит данные о задании, коэффициенте его трудности и весе,

вычисленных согласно формулам (3.9) – (3.10). Классификация заданий осуществлялась поэтапно. На первом этапе задания были отнесены к одному классу, если совпадали множества компетенций курса, для формирования которых предназначены данные задания. Таким образом, на этом этапе были получены классы заданий, направленных на достижение одинакового набора компетенций курса. На втором этапе каждый из полученных классов в свою очередь был разделен на классы заданий, коэффициент трудности которых отличается не более чем на величину, заданную пользователем. Для того чтобы полученные классы заметным образом отличались по трудности, эта величина может быть установлена на уровне 0,1.

В результате выполнения предыдущих частей модуля были получены классы заданий одинаковой трудности и веса. Среднюю трудность заданий класса можно вычислить как среднее арифметическое коэффициентов трудности заданий класса. Так как все задания класса характеризуются тем, что предназначены для достижения одинакового набора компетенций, вес всех заданий одинаков и может быть вычислен по формуле (3.9). Так же в этом модуле вычисляются ковариации между коэффициентами средней трудности для каждой пары классов.

Данные о классах заданий попадают в модуль генерации антигена. Антиген представляет двухкомпонентный вектор, который формируется следующим образом: задача оптимизации системы заданий с ограничениями, описанными в пункте 3.3, преобразовывается в монокритериальную, условие минимальности  $R(x)$  не учитывается, максимизируется функция  $D(x)$ . Полученное максимальное значение функции  $D^*(X)$  является одним из компонентов антигена. Вторым компонентом антигена является минимальное значение  $R^*(X)$ , вычисленное без учета условия максимальности  $D(x)$ . Антиген представляет вектор  $(R^*(X), D^*(X))$ .

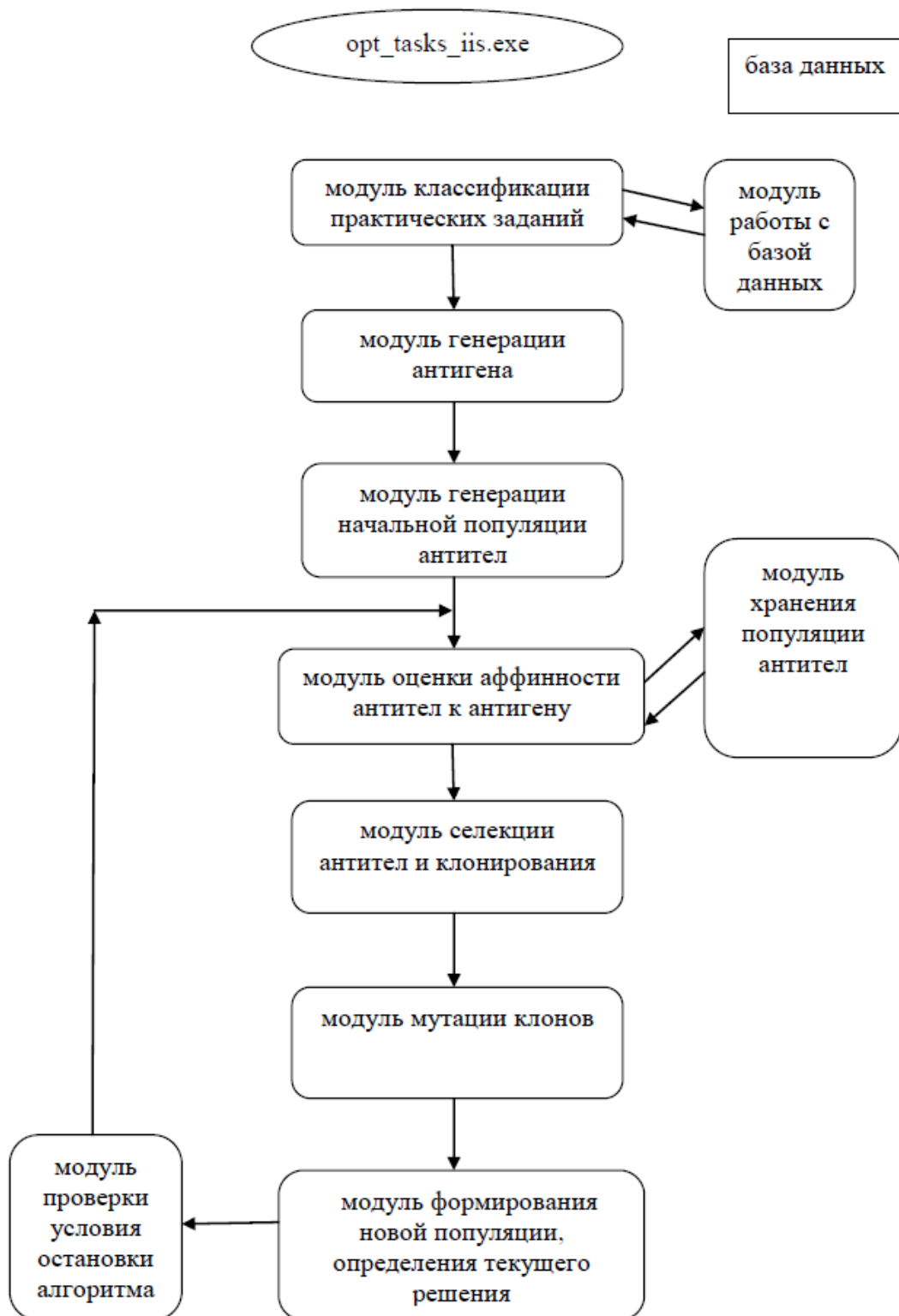


Рисунок 4.7 Структура модуля оптимизации содержания практической части курса.

Генерация начальной популяции антител осуществляется следующим образом. Антитело в данной задаче представляет одномерный массив содержащий данные о доле заданий каждого класса в общем наборе

практических заданий, которые должен выполнить обучающийся. Доля заданий каждого класса  $x_i$  должна отвечать условиям  $x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}$ ,  $i = 1, \dots, N$ , максимальную и минимальную долю заданий каждого класса устанавливает разработчик курса. Популяция антител имеет размер, определяемый пользователем. Генерация антител происходит следующим образом: каждой компоненте массива присваивается допустимое минимальное значение, а затем выбирается случайным образом  $m$  различных компонент, значение которых увеличивается на  $(1 - \sum_1^n x_i)/m$ , если это не нарушает ограничений (3.13).

Данные о популяции антител передаются в модуль оценки аффинитета антител. Для каждого решения  $X$  в популяции вычисляется вектор  $(R(X), D(X))$ , к нему применяется процедура ранжирования, описанная в пункте 3.2. В текущей популяции находятся и временно исключаются из рассмотрения все недоминируемые по Парето решения. Затем эта процедура повторяется. Элементы, принадлежащие последнему рассмотренному множеству, получают ранг 1, предпоследнему – ранг 2. Недоминируемые решения, исключенные первыми, получают наивысший ранг  $r$ , соответственно равный количеству проведенных процедур исключения. Далее каждый антитело получает оценку аффинитета к антигену. Для каждого антитела  $X$  вычисляется евклидово расстояние  $d$  от вектора  $(R(X), D(X))$  до  $(R^*(X), D^*(X))$ . Каждый антитело получает оценку  $r + 1/d$ , где  $k$  – ранг множества, которому принадлежит данное антитело.

В блоке селекции антител отбирались антитела с наилучшими показателями аффинитета, которые затем подвергались мутации в следующем блоке. Выбранная реализация оператора мутации подразумевает случайный выбор в массиве, представляющем антитело, двух позиций  $i$  и  $j$  и обмен их значений. Если при этом нарушались ограничения на максимальный размер доли для какого либо элемента массива, например  $x_j > x_i^{\max}$ , то  $x_i = x_i^{\max}$ ,  $x_j = x_j + x_i - x_i^{\max}$ . При мутации второго типа выбираются два антитела и в массивах, их представляющих, происходит обмен значениями произвольно

выбранных элементов. Мутировавшие антитела присоединяются к существующей популяции. Затем происходит оценка аффинитета антител по выше описанной схеме и антител с худшими показателями аффинитета удаляются из популяции. Из оставшихся выбирается антитело с наилучшим показателем аффинитета, который считается текущим решением.

На следующем этапе происходит проверки условия остановки алгоритма. Алгоритм прекращает работу, если популяция антител остается стабильной на протяжении достаточно большого числа циклов. Антитело с наилучшим показателем аффинитета представляет оптимальный набор заданий для практической работы. Для каждого класса практических заданий определена оптимальная доля. Количество заданий класса, которые будут включены в компонент практической работы, вычисляется и заносится в базу данных.

#### **4.5 Инструкция по работе с программным комплексом**

После установки программного комплекса пользователю с правами администратора необходимо внести в базу данных следующие необходимые для работы системы сведения.

1. Список компетенций, которые формируются у студентов в результате освоения курсов обучающей системы. Названия компетенций и их содержание заполняются администратором строго в соответствии с основной образовательной программой соответствующего профиля обучения (рисунок 4.8).
2. Сведения об учебных курсах (предметах): наименование, семестр изучения, компетенции, формируемые в результате изучения каждого из них (рисунок 4.9). Данные заполняются строго в соответствии с рабочей программой каждого предмета.
3. Создаются профили преподавателей, в каждый из которых вносятся данные о фамилии, имени, отчестве, месте работы. Для каждого из преподавателей автоматически генерируется и заносится в базу данных логин и пароль для работы с системой.

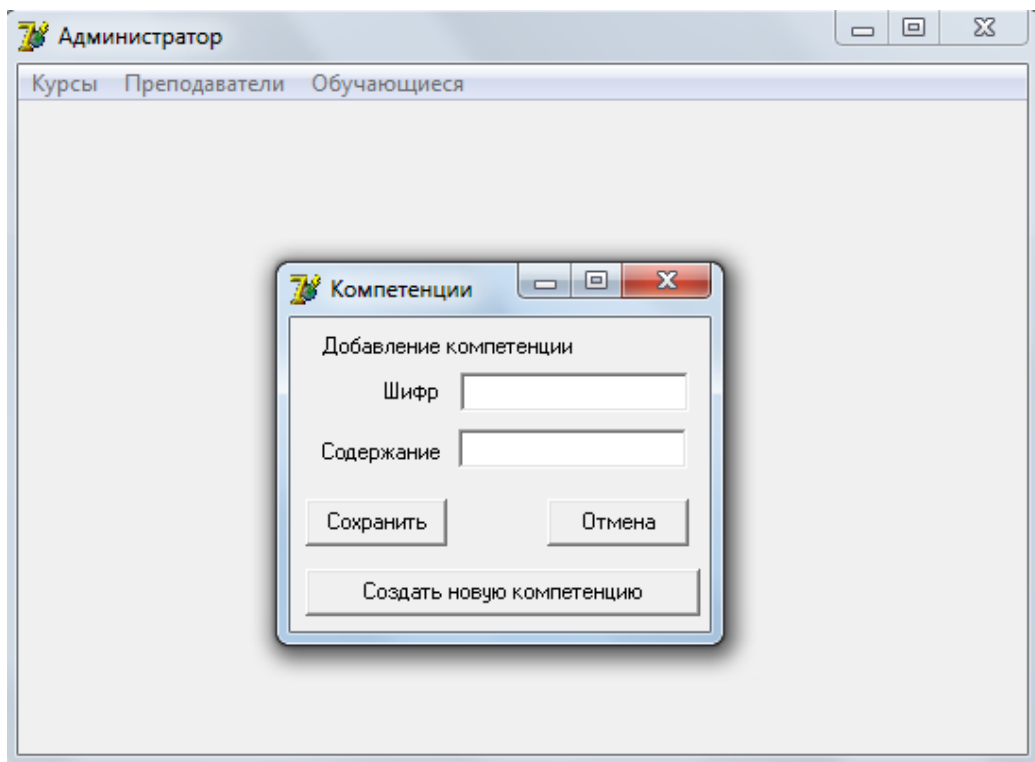


Рисунок 4.8 Добавление компетенции.

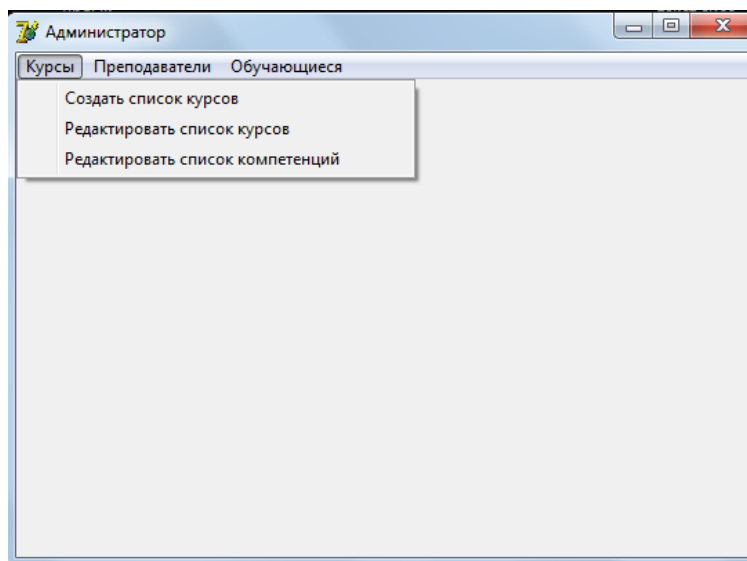


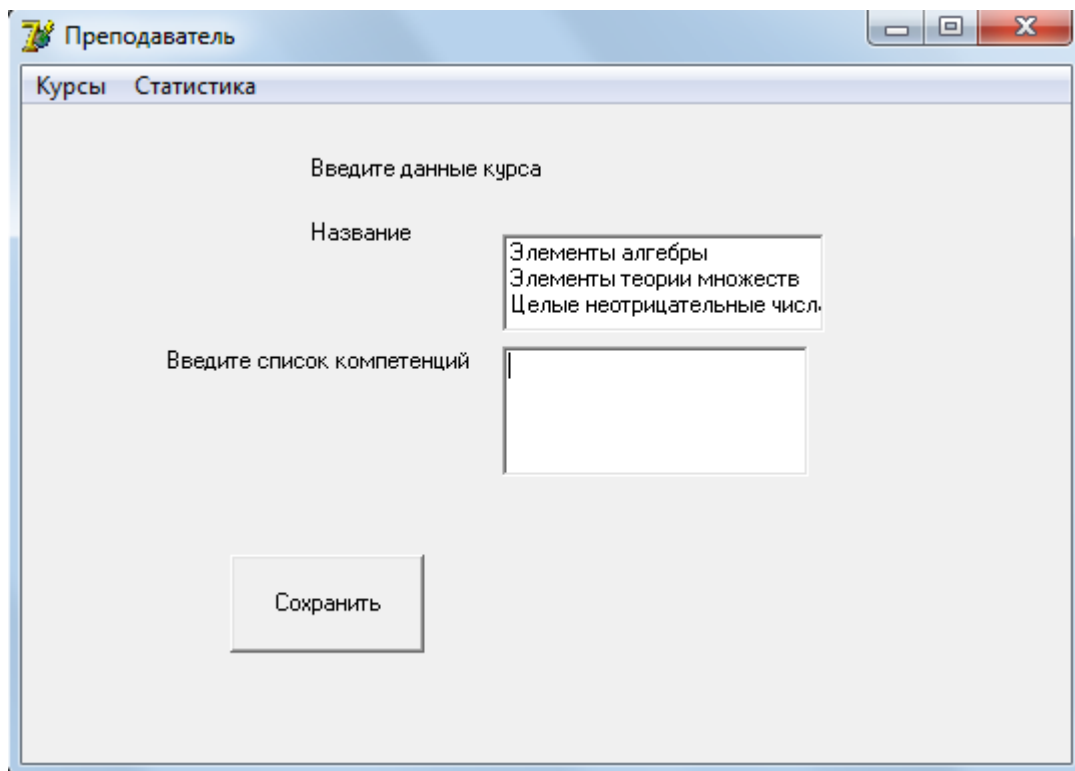
Рисунок 4.9 – Работа с курсами.

4. Создаются профили обучающихся, в которые необходимо внести данные о фамилии, имени, отчестве. Вносится номер группы в соответствии с официальными обозначениями, так как в этом случае однозначно определяется курс, направление и специальность студента. Номер группы определяет список курсов, доступных пользователю.

Для каждого пользователя генерируется логин и пароль для работы с системой.

Пользователь, зарегистрированный как преподаватель, имеет возможность создавать и редактировать курсы, просматривать статистику. Так же преподаватель может создать интегрированный курс на основе уже имеющихся в системе.

Для создания нового курса необходимо выбрать соответствующий пункт меню. После этого преподавателю будет предложено ввести его название или выбрать из списка имеющихся, указать компетенции, которые формируются в процессе изучения данного курса. Наименование курса и список компетенций необходимо вносить в соответствии с основной общеобразовательной программой профиля подготовки студентов, для которых он предназначен. Далее необходимо внести наименования дидактических единиц (содержательных разделов курса) в соответствии с рабочей программой (рисунок 4.10).



The screenshot shows a window titled "Преподаватель" (Teacher) with a tabbed interface. The "Курсы" (Courses) tab is active. The main area contains the following elements:

- Text: "Введите данные курса" (Enter course data)
- Text: "Название" (Name) followed by a dropdown menu with the following options:
  - Элементы алгебры
  - Элементы теории множеств
  - Целые неотрицательные числ.
- Text: "Введите список компетенций" (Enter list of competencies) followed by an empty text input field.
- Text: "Сохранить" (Save) button.

Рисунок 4.10 Создание курса

Для загрузки теоретического содержания курса материалы должны быть представлены в виде файлов формата txt, doc, docx, pdf. Материал каждого раздела должен быть представлен в отдельном файле, все файлы помещаются в отдельную папку. Подготовленный таким образом материал может быть направлен администратору или размещен преподавателем в системе самостоятельно, через форму в программе (рисунок 4.11).

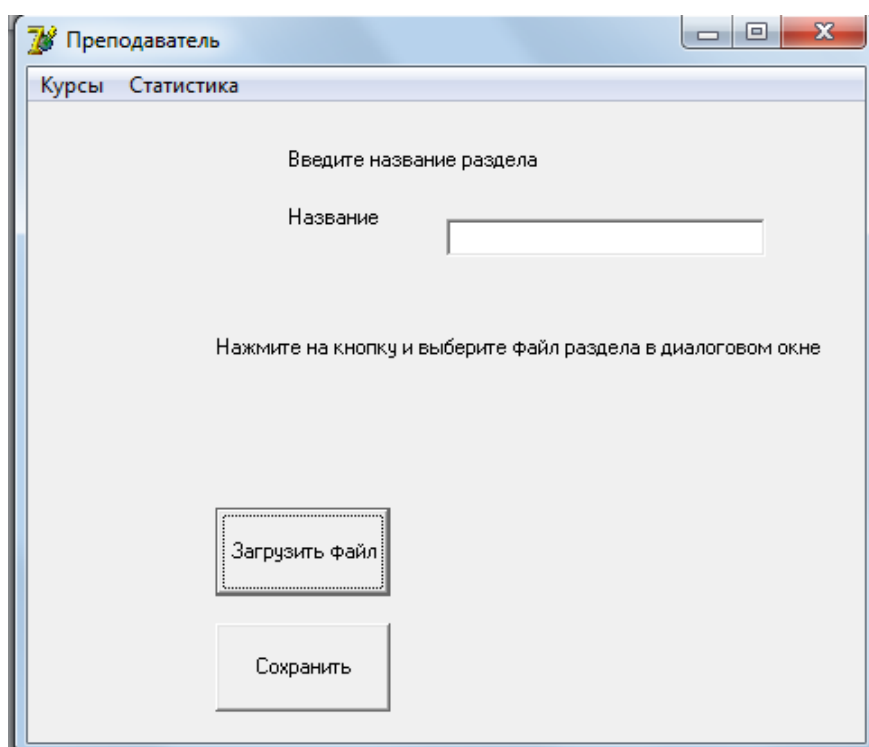


Рисунок 4.11 Добавление теоретического раздела курса

Система практических заданий курса представляет материалы в виде файлов формата txt, doc, docx, pdf. Каждый файл содержит формулировку задания и критерии его оценки. Подготовленный таким образом материал размещается преподавателем в системе самостоятельно, через форму в программе. При создании практического задания необходимо выбрать из те компетенции, на формирование которых оно направлено, выбрать из паспорта соответствующей компетенции умения и навыки, приобретаемые обучающимся в ходе его выполнения, затем загрузить соответствующий файл.



Пользователь, зарегистрированный в роли обучающегося, имеет возможность просматривать теоретический материал курсов, выполнять практические задания курса, проходить тестирование (рисунок 4.12).

При работе с практической частью курса необходимо выбрать задание из списка, выполнить его и проверить полученное решение. После изучения теоретической и практической части каждого раздела, необходимо пройти тестирование. Курс считается завершенным, если студентом выполнено тестирование на положительную оценку для каждого раздела.

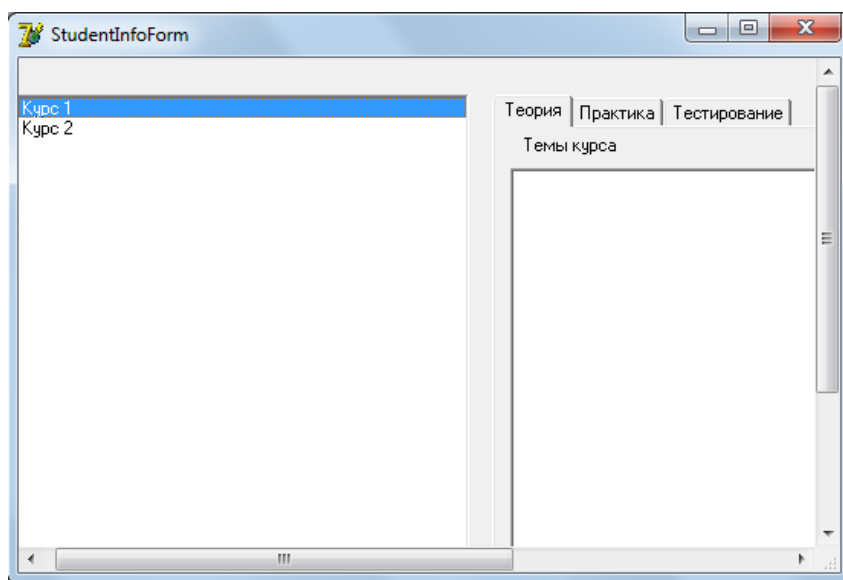


Рисунок 4.12 – Выбор обучающимся курса в системе.

#### 4.6 Выводы

1. Разработан интерфейс пользователя обучающей системы, использующей методы искусственного интеллекта.
2. Приведена структурная и функциональная схема взаимодействующих в обучающей системе модулей.
3. Описана структура и функционирование модуля тестирования обучающихся и оценка результатов тестирования с использованием нейросетевых технологий.

4. Описана реализация и функционирование модулей оптимизации структуры теоретической и содержания практической частей учебного курса.

## **Заключение**

1. Разработана математическая модель обучающей системы, отличающаяся формализацией процесса обучения, и позволяющая создавать новые учебные курсы.

2. Разработаны алгоритмы оптимизации структуры теоретической и содержания практической частей курса, отличающихся использованием искусственной иммунной системы, позволяющих находить наилучшие составляющие предмета.

3. Создан программный комплекс, реализующий разработанные алгоритмы, что позволило упростить задачу оптимизации учебных курсов и оценки результатов тестирования обучающихся.

4. Алгоритмы сравнивались с аналогичными, предложенными другими авторами. В результате были получены лучшие структуры по оценке показателей.

5. Проводилось тестирование обучающей системы на 1 курсе психолого-педагогического факультета Воронежского государственного педагогического университета при изучении предмета «элементы теории множеств», что позволило сократить затраты времени на организацию и контроль самостоятельной работы студентов.

## Литература

1. Агеев В.Н. Электронные учебники и автоматизированные обучающие системы./ В.Н.Агеев – Москва: Мир, 2001. – 79с.
2. Александров Г.Н. Программированное обучение и новые информационные технологии обучения/ Г.Н.Александров//Информатика и образование. – 1993. – №5. –С.7-19.
- 3.Андрейчиков А.В. Интеллектуальные информационные системы./А.В.Андрейчиков. – М.: Финансы и статистика, 2006.
- 4.Антипина Н.М. Технология формирования профессиональных методических умений в ходе самостоятельной работы студентов педагогических вузов с применением экспертной системы: дис. ...канд. пед. Наук/ Н.М.Антипина. – Москва, 2000 – 184 с.
- 5.Астахова И.Ф. Модель гибридной системы обучения/И.Ф.Астахова, Е.И.Киселева// Современные наукоемкие технологии. – 2016. –№12. – Вып.3. – С. 450-453.
6. Астахова И.Ф. Алгоритм использования искусственной иммунной системы для оптимизации целевого компонента информационной образовательной системы. / И.Ф.Астахова, Е.И.Киселева// Вестник Воронежского государственного университета. Серия Системный анализ и информационные технологии. – 2017. –№ 2. – С. 61-65.
7. Астахова И.Ф. Использование искусственной иммунной системы при проектировании гибридной обучающей системы. / И.Ф.Астахова, Е.И.Киселева// Современные информационные технологии и ИТ образование. – 2017. –№ 2. –С.119-125.
8. Атанов Г.А. Обучение и искусственный интеллект, или основы современной дидактической высшей школы./ Г.А.Атанов, И.Н. Пустынникова. – Донецк: ДОУ, 2002. – 504с.

9. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач: учеб. пособие / Д.И. Батищев. – Воронеж, ВГТУ, 1995. - 69с.
10. Баранова Н.А. К вопросу о применении экспертных систем в непрерывном педагогическом образовании/ Н.А.Баранова// Образование и наука. – 2008. - №4. – С.24-28.
11. Баринаова С.Н. Автоматизированные учебные курсы и их влияние на качество процесса обучения/С.Н.Баринаова// Информационные технологии в образовании: Мат. Конф., 1999. – <http://ito.bitro.ru/>
12. Бардачев Ю.Н. Использование положений теорий опасности в искусственных иммунных системах/ Ю.Н. Бардачев, А.А. Дидык //Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. –2007. – №2. – С. 119-122.
13. Басалин П.Д. Модели и методы интеллектуальной поддержки процессов принятия решений: Учебное пособие./ П.Д.Басалин, К.В.Безрук, М.В.Радаева. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 129с.
14. Башмаков А.И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем./ Башмаков А.И., Башмаков И.А. – Москва Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.
15. Березин Н.В. Перспективы создания системы адаптивного тестирования как элемента централизованного тестирования/Н.В.Березин. – Москва: Научный вестник МГТУ ГА, серия «Информатика». – 2001. – №38. – С.26-30.
16. Бессонов А.А. Интеллектуальные обучающие системы: учеб. пособие / А.А. Бессонов, В.Я. Мамаев, П.П. Парамонов. – СПб.: ГУАП, 2016. – 172с.
17. Большаков А.А. Метод оценки предметных компетенций студентов вуза на базе комплексных функций принадлежности/ А.А. Большаков, И.В. Вешнева, Л.А. Мельников// Сборник трудов XXIV Международной научной конференции Математические методы в технике и технологиях (ММТТ-24) Саратов – 2011. – Т.12. – с.102-108

18. Болотова Л.С. Адаптивное дистанционное обучение принятию решений на основе технологии экспертных систем ситуационного управления и малым бизнесом. / Л.С. Болотова и др. // Научные исследования. Ежегодный отчет об основных результатах научно-исследовательских работ. – Москва, 2004. – Вып. 5. – 48с.
19. Борк А. Компьютеры в обучении: чему учит история/А.Борк// Информатика и образование. – 1990. – №5. – С.110-118.
20. Брусиловский П.Л. Интеллектуальные обучающие системы/ П.Л.Брусиловский // Информатика. Научно-технический сборник. Серия Информационные технологии. Средства и системы. Брусиловский.. – 1990. –№ 2. . – С. 3-22.
21. Брусиловский П.Л. Адаптивные обучающие системы в Word Wide Web: обзор имеющихся в распоряжении технологий./П.Л.Брусиловский // – <http://ifets.ieee.org/russian/depository/WWWITS.html>
22. Брюховецкий А.А.Применение моделей искусственных иммунных систем для решения задач многомерной оптимизации/А.А. Брюховецкий, А.В.Скатков. // Оптимізація виробничих процесів. –2010. –№7 . –С.107-111.
23. Берестнева О.Г. Экспертная система оценки компетентности выпускников технического университета./ О.Г. Берестнева , О.В. Марухина, К.А. Шаропин // Искусственный интеллект. – 2004. – №4. – С. 264-267.
24. Венда В.Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика./В.Ф. Венда. – Москва: Машиностроение, 1990. – 448 с.
25. Васекин С.В. Технологические процедуры оптимизации при проектировании учебного процесса по математике: автореф. дис.... канд. пед. наук/С.В. Васекин. – Москва, -2000. – 20с.
26. Власенко А. А. Разработка адаптивной системы дистанционного обучения в сфере информационных технологий: автореф. Дис.... Канд. Техн. Наук/ А.А.Власенко. – Воронеж, 2014. – 20 с.

27. Воронин А.Т. Интеллектуальная инструментальная система для WINDOWS/ А.Т. Воронин, Ю.А. Чернышев // Материалы Международной конференции-выставки "Информационные технологии в непрерывном образовании" – Петрозаводск, 1995г. – Режим доступа: <http://petsu.karelia.ru/psu/general/Conerences/Data/>
28. Гапанюк Ю.Е. Исследование и разработка модели, методики и средств создания автоматизированных учебных пособий с использованием технологии XML автореф. Дис. ... канд. Техн. Наук / Ю.Е.Гапанюк. – Москва, 2006. –24 с.
29. Гиркин И.В. Новые подходы к организации учебного процесса с использованием компьютерных технологий/ И.В.Гиркин // Информационные технологии. –1998. – №6. – С.44-47.
30. Гладков Л.А. Генетические алгоритмы/ Л.А. Гладков, В.В. Курейчик , В.М. Курейчик/ Под редакцией В.М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320с.
31. Гречин И.В. Новый подход к экспертной системе в технологии обучения //Известия ТРТУ. – №4, тематический выпуск «Интеллектуальные САПР». – Таганрог: ТРТУ, 2001. –С.343-344
32. Демидова Л.А. Гибридные модели прогнозирования коротких временных рядов / Л.А. Демидова, А.Н. Пылькин, С.В. Скворцов, Т.С. Скворцова. – Москва: Горячая линия. – Телеком, 2015. – 206 с.
33. Джордж Ф. Основы кибернетики: пер. с англ. /Под ред. А.Л.Горелика. – Москва: Радио и связь, 1984. – 272 с.
34. Журавлева И.И. Интеллектуальные обучающие системы в дистанционном образовании/ И.И.Журавлева// Информационные технологии в образовании: Мат. Конф., 2001. – <http://www.bitpro.ru/>
35. Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем/Л.А.Заде // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – №2-3. – С.7-

36. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. /Л.А.Заде – М.: Мир, 1976.
37. Зайцев Ж.Н. Генезис виртуальной образовательной среды на основе интенсификации информационных процессов современного общества/ Ж.Н.Зайцев, В.И.Солдаткин. // Информационные технологии. – 2000. – №3. – С.44-48.
38. Зайцева Л.В. Управление диалогом в автоматизированной обучающей системе./ Л.В.Зайцева, Л.П. Новицкий //Диалоговые системы. – 1980. – Вып.3. – С.78-84
39. Зубов А.В. Создание комплексных интернет систем для дистанционного обучения/А.В. Зубов, Т.С.Денисова – Астрахань: Изд-во «ЦНТЭП», 1999 – 364 с
40. Интеллектуальная образовательная среда дистанционного обучения/ С.В. Астанин [ и др.]//Новости искусственного интеллекта. – Москва, 2003 - №1.
41. Карлащук В.И. Обучающие программы. / В.И. Карлащук. –Москва: СОЛОН-Р, 2001. – 528 с.
42. Карпова И.П. Исследование и разработка подсистемы контроля знаний в распределенных автоматизированных обучающих системах: автореф. Дис. ...канд. Техн. Наук/ И.П.Карпова. – Москва, 2002. – 20 с.
43. Каширина И.Л. Эволюционное моделирование. Учебное пособие для ВУЗов/ И.Л. Каширина.- Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2011. – 60с.
44. Каширина И.Л. Управление портфелем ценных бумаг с использованием нейросетевого комитета / И.Л. Каширина, К.Г. Иванова //Системное моделирование социально-экономических процессов: труды 31-й междунар. науч. школы-семинара.– Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2008. – Ч. III. – С. 131-135.
45. Кирюхина Н.Л. Модель экспертной системы диагностики знаний студентов по психологии: дис. ...канд. психол. Наук/ Н.Л.Кирюхина. – Москва, 1998. – 184 с.



46. Киселева Е.И. Проектирование автоматизированной обучающей системы на основе гибридных технологий/Е. И. Киселева// Современные информационные технологии и ИТ-образование: Сб. науч. Тр. I Межд. Науч. Конф. – Москва: Московский государственный университет, 2016. – С.119-125.
47. Киселева Е.И. Использование нейросетевых технологий в гибридной образовательной системе/Е.И. Киселева // Вопросы науки. – Воронеж: Из-во ВГУ , 2016. –№ 1. – С. 49-52.
48. Коробкин А.А. Разработка моделей и методов принятия решений с применением искусственного интеллекта для организации учебного процесса: автореф. Дис.... Канд физ.мат. наук/А.А.Коробкин. – Воронеж, 2009. – 20 с.
49. Корчажкина О.М. Измерение метапредметных образовательных результатов: постановка задачи моделирования нечёткого автомата / О.М. Корчажкина//Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – №11. – С. 106-116.
50. Краснова Г.А. Технологии создания электронных обучающих средств./ Г.А.Краснова, А.В.Соловов,М.И. Беляев. – Москва: МГИУ, 2001. – 223 с.
51. Краснова Г.А. Технологии создания электронных обучающих средств./ ./ Г.А.Краснова, А.В.Соловов,М.И. Беляев. – 2-е изд., исправ. и доп.. – Москва: МГИУ, 2002.– 304 с.
52. Кривошеев А.О. Проблема развития компьютерных обучающих программ/ А.О.Кривошеев //Высшее образование в России. – 1994. – №3. – С.12-20.
53. Кривошеев А.О. Компьютерные обучающие программы. Состояние и перспективы развития/ А.О.Кривошеев // Перспективные информационные технологии в высшей школе: Матер. научно-техн. Конф. – Самара, 1993. – С. 18-20.
54. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. / В.В.Круглов. – Москва: Физматлит, 2001.
55. Курганская Г.С. Дифференцированная система обучения через интернет. / Г.С.Курганская. – Иркутск : Иркутск: изд-во Иркутск. ун-та, 2000. – 103с.

56. Курганская Г.С. Структура учебного курса в системе дистанционного обучения / Г.С.Курганская. : Методическое пособие. Иркутск: ИГУ, 1999. – 24 с.
57. Латыпова А.Ф. Модель коммуникативной компетентности в терминах нечеткой логики/ А.Ф. Латыпова, Г.Х. Абсалямова// Современные проблемы науки и образования в техническом вузе: материалы Всероссийской научно-практической конференции (24-26 июня 2013 г. г. Стерлитамак). – Уфа: УГАТУ, 2013. – с.231-236
58. Левина Е.Ю. Внутривузовская диагностика качества обучения на основе автоматизированной экспертной системы: автореф. ... дис. канд. пед. Наук/ Е.Ю.Левина. – Казань, 2008. – 25 с.
59. Лозинский Л.Д. Математические пакеты в высшей школе/ Л.Д. Лозинский.// Мир ПК, 1992. – №9. – С. 89-97
60. Мамедова М.Г. Применение нечетких временных рядов для прогнозирования численности населения /М.Г. Мамедова М.Г. ,З.Г. Джабраилова // Сб. трудов НИУЦ по труду и социальным проблемам. – Баку, 2002. –С.41-63.
61. Марселлус Д. Программирование экспертных систем на Турбо Прологе: пер. с англ./ Д. Марселлус: Предисловие С.В. Трубицына. – Москва: Финансы и статистика, 1994. – 256 с.
62. Мартынов Д.В. Искусственный интеллект и образование./ Д.В.Мартынов, И.А.Смольникова // Информационные технологии в образовании: Тез. научно-мет. Конф. –Москва, 1999. – <http://ito.bitpro.ru/>
63. Машбиц Е.Н. Психолого-педагогический проблемы компьютеризации обучения./Е.Н.Машбиц/ – Москва: Педагогика, 1988. – 191с.
64. Мелихова О.А. Использование нечеткой математики при моделировании систем искусственного интеллекта /О.А. Мелихова, З.А.Мелихова // Интеллектуальные САПР: в 2т. – Таганрог: изд.-во ТРТУ, 2007. – С.113-119

65. Меньшикова А.А. Инструментальные средства моделирования мультимедиа комплексов: автореф. Дис....канд. техн.наук/ А.А.Меньшиков. – Самара, 2004. 20 с.
66. Методы и средства управления процессом обучения в АОС/ Ю.И. Лобанов А.Д. Селиванов, В.В. Съедин, Токарева В.С. Под общей ред. Новикова В.А. – Москва: НИИВШ, 1985. – 52с.
67. Монахов В.М. О возможностях методологии нечеткого моделирования как нового инструмента информатизации педагогических объектов/В.М. Монахов//Современные информационные технологии и ИТ-образование: материала III Международной науч.-практ. конф. [Электронный ресурс], Москва, 6-9 декабря 2008 г./ МГУ имени М.В. Ломоносова. Режим доступа: <Http://2008.it-edu/pages/>.
68. Моисеев В.Б. Внутривузовская система обеспечения качества подготовки специалистов/ В.Б.Моисеев, А.Б. Андреев. // Инж. образование. – 2005. - №3. – С.62-74.
69. Нефедов В.Н. Курс дискретной математики: учебное пособие/ В.Н. Нефедов, В.А. Осипова. – Москва: Издательство МАИ, 1992. – 264 с.
70. Никитаев В.Г., Бердникович Е.Ю. Разработка мультимедийных курсов дистанционного обучения врачей по гистологической и цитологической диагностике с применением экспертных систем // В.Г. Никитаев, Е.Ю. Бердникович //Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12-2. – С. 334-334;
71. Павлов Е.Н. Мониторинг эффективности деятельности участников образовательного проекта методами нечеткой логики / Е.Н.Павлов, И.А.Шуйкова // Вестник ВГУ, Серия: Системный анализ и информационные технологии, 2014. – №2.
72. Пасхин Е.Н. Архитектура автоматизированной системы обучения ЭКСТЕРН/ Е.Н.Пасхин // Проблемы вычислительной математики. – Москва, 1980. – С.109-132.

73. Пасхин Е.Н. Автоматизированная система обучения ЭКСТЕРН / Е.Н.Пасхин, А.И.Митин. – Москва: изд-во Моск ун-та, 1985– 144с.
74. Печников А.Н. Теоретические основы психолого-педагогического проектирования автоматизированных обучающих систем./А.Н.Печников. – Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С. Попова, 1995. – 322 с.
75. Попов Д.И. Проектирование интеллектуальных систем дистанционного образования/Д.И.Попов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2001. – Т.22. – №4. – С.325-332.
76. Растрингин Л.А. Вычислительные машины, системы, сети. /Л.А.Растрингин.– Москва: Наука, 1982. – 224 с.
77. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы /Д. Рутковская.,М. Пилиньский, Л. Рутковский : пер. с польск. И.Д. Рудинского. 2-е изд. Стереотип . – Москва : Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
78. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта/ пер. с польск. И.Д. Рудинского. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2010. – 520 с.
- 79 Растрингин Л.А. Адаптивное обучение с моделью обучаемого ./Л.А. Растрингин, М.Х. Эренштейн . – Рига: Зинатне, 1988. – 160 с
80. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам./Ф.С.Робертс. – Москва: Наука, 1986. – 494 с.
81. Российский портал открытого образования: обучение, опыт, организация/отв. редактор В.И. Солдаткин. – Москва: МГИУ, 2003. – 508 с.
82. Савельев А.Я. Автоматизированные обучающие системы на базе ЭВМ/А.Я.Савельев. – Москва: Знание, 1977. – 36 с.
83. Самигулина Г.А. Разработка дистанционной образовательной технологии на основе искусственных иммунных систем./ Г.А.Самигулина // Открытое образование. – Москва, 2008. – №6. –С.52-58.

84. Самигулина Г.А. Разработка интеллектуальных экспертных систем управления на основе технологии искусственных иммунных систем: Монография./ Г.А.Самигулина. – Алматы: ИПИУ МОН РК, 2008. – 137 с.
85. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения: пер. с англ. / Г.Стренг. – Москва: Мир, 1980 – 454 с.
86. Сивохин А.В. Представление знаний в интеллектуальных системах обучения:уч. пос./ А.В.Сивохин. – Пенза: ППИ, 1990. – 86.
87. Смирнова М.А. Применение экспертной системы для оценки качества подготовки будущего учителя: автореф. дис. ... канд. пед. Наук. / М.А.Смирнов. – Тула, 1997. – 18 с.
88. Снижко Е.А. Методика применения экспертных систем для корректировки процесса обучения и оценки эффективности ППС: автореф. дис. ...канд. пед. наук/ Е.А.Снижко. – Санкт– Петербург,1997. –20 с.
89. Соловов А.В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения : учебное пособие/ А.В.Соловов. – Самара: СГАУ,1995. –137с.
90. Соловов А.В. Дидактика и технология электронного обучения в системе КАДИС/А. В. Соловов. - Режим доступа: <http://cnit.ssau.ru/do/articles/kadis/kadis.htm>
91. Станкевич Л.А. Иммунологическая система обеспечения безопасности гуманоидного робота./ Л.А.Станкевич, А.Б.Казанский // Актуальные проблемы защиты и безопасности: тр. 9-й Всероссийской научно-практ. Конф. – Воронеж. – 2006. – №5.– С.145-152.
92. Тоискин В.С. Интеллектуальные информационные системы: учеб. пособие. Ч.2./ В.С.Тоискин. – Ставрополь: изд-во СГПИ, 2010. – 188с.
93. Ушаков С.А. Разработка и исследование алгоритмов решения задач распознавания на основе искусственных иммунных систем: автореф. Дис.... Канд. Техн. Наук/ С.А.Ушаков. – Воронеж, 2015–16 с.
94. Убейко В.М. Экспертные системы в технике и экономике. /В.М. Убейко , В.В.Убейко. – Москва.: изд-во МАИ, 1992. – 240 с.

95. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд./С. Хайкин: пер. с англ. Москва: Вильямс, 2008. – 1104 с.
96. Чванова М.С. Использование аппарата теории нечетких множеств при проектировании современных технологий дистанционного обучения / М.С. Чванова// Образовательные технологии и общество. – 2013. - №2. – С.447-468.
97. Чубров Е.В. Компьютер и изучение математики./ Е. В. Чубров., Н.А. Сливина, А.С.Демушкин// ИНФО . -- 1992.-- №3-4. – С.96-97.
98. Экспертная система оценки эффективности обучения на основе статистического аппарата нечеткой логики/ И.В. Солодовников и др. // Качество. Инновации. Образование, 2006. -- №1. –С.19-22
99. Югова Н.Л. Конструирование содержания профильного обучения с применением экспертной системы: автореф. дис. ...канд. пед. наук/ Н.Л. Югова. – Москва, 2006.– 19с.
100. Юрков Н.К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы: моногр./ Н.К. Юрков. – Пенза: изд-во ПГУ, 2010. – 304 с.
101. Kiseleva E.I. Mathematical model concept for education progress control system/I.F.Astachova, E.I. Kiseleva // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017): сбор. Тр. III межд. Конф. и молодежной школы. – Самара : Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2017
102. Deb K. Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. / K. Deb – Wiley, 2009. -518 p.
103. Garret S.M. How do we evaluate artificial immune systems?/ S.M.Garret //. 2005. – Vol 13. – P.145-178.
104. Hunt J.E. Learning using an artificial immune system./ J.E.Hunt, D.E. Cooke // Journ. of Network Computing Applications – 1996 – Vol.19 – P.189-212.
105. Intelligent Tutoring Systems: Proceedings of Second International Conference// University de Montreal. – Montreal: Canada, 1988, 1992. – 578 p., 422 p.
106. T. Knight Aine: An immunological approach to data mining./T. Knight,

- J.Timmis // IEEE Intern. Conf. on Data Mining. . – 2001. . – P.297-304.
107. Kim J. Bentley P. Towards an artificial immune system for network intrusion detection: an investigation of dynamic clonal selection./ J. Kim J., P. Bentley// In Proc. Congress on Evolutionary Computation – Honolulu: HI, USA– 2002. – P.1244-1252.
108. Krishna K.K. Immunized adaptive critic for an autonomous aircraft control application. / K.K. Krishna, J. Neidhoefer Ed. by Dasgupta D. //Springer-Verlag Inc. – 1999 –Vol. 20. – P..221-240.
109. Patric W.Thompson Mathematical Microworlds and Intelligent /W. . Patric Thompson //Computer-assisted Instruction. In: “Artificial Intellegence and Instruction”. Ed: Kearsly. – 1987. – P. 83-109.
110. Song Q. Forecasting enrollments with fuzzy times series-part II/ Q. Song., B.S. Chissom // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – Vol. 54.
111. Song Q. Forecasting enrollments with fuzzy times series-part II/ Q. Song., B.S. Chissom // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – Vol.62
112. Tarakanov A.O. Formal peptide as basic of agent of immune networks: from natural prototype to mathematical theory and applications. /A. Tarakanov// Proceeding of the I Int workshop of central and Eastern Europe on Multi – Agent Systems. – 1999.
113. Zitzler E. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach/ E. Zitzler, L. Thiele // IEEE Transactions on Evolutionary Computation – 1999. – Vol. 3(4) – P. 257–271.

Приложение. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2017661540**

**Система организации и контроля самостоятельной работы  
студентов по теме «Элементы теории множеств»**

Правообладатель: **Киселева Екатерина Игоревна (RU)**

Автор: **Киселева Екатерина Игоревна (RU)**

Заявка № **2017618904**  
Дата поступления **30 августа 2017 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **16 октября 2017 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**







Утверждаю  
Проректор по научной работе  
Воронежского государственного  
педагогического университета  
Корнев С.В.

#### Акт

об использовании результатов диссертационной работы Киселевой Е.И. в учебном процессе психолого-педагогического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный педагогический университет».

Программный комплекс «Система организации и контроля самостоятельной работы студентов по теме «Элементы теории множеств» используется при изучении курса «элементы теории множеств» студентами 1 курса психолого-педагогического факультета Воронежского государственного педагогического университета.

Зав. кафедрой педагогики и методики  
дошкольного и начального образования ВГПУ  
Дюжакова М.В.



Подпись *Дюжакова М.В.* заверяю  
Начальник управления кадров  
ФГБОУ ВО «ВГПУ»  
И.С. Полякова  
" 19 " июля 20 18 года