



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)  
НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.03 Прикладная информатика

**РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**  
***К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ***  
***РАБОТЕ***  
***НА ТЕМУ:***  
**Программная система моделирования**  
**искусственной жизни с использованием цифровых**  
**автоматов**

Студент ИУ6-85Б  
(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) В.Д. Шульман  
(И.О. Фамилия)

Руководитель ВКР

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) О.Ю. Ерёмин  
(И.О. Фамилия)

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата) А.М. Суровов  
(И.О. Фамилия)

Москва, 2020

## АННОТАЦИЯ

В настоящей выпускной квалификационной работе бакалавра описан процесс разработки системы моделирования искусственной жизни с использованием цифровых автоматов.

Произведен анализ и классификация существующих подходов к использованию генетических алгоритмов. Были рассмотрены дискретные автоматы, как одно из возможных средств при реализации генетического алгоритма, что и было сделано в данной работе.

Разработаны технологии задания параметров, отправки данных на удаленный сервер, тестирование системы. Разработан интерфейс программного обеспечения.

## *ABSTRACT*

This bachelor's final qualifying paper describes the process of developing a system for modeling artificial life using digital automata.

The analysis and classification of existing approaches to the use of genetic algorithms is made. Discrete automata were considered, as one of the possible means for implementing a genetic algorithm, which was done in this paper.

Technologies for setting parameters, sending data to a remote server, and testing the system have been developed. The software interface has been developed.

## РЕФЕРАТ

Расчётно-пояснительная записка с. 67, рис. 37, табл. 9, источников 15, приложений 4.

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ, СЕЛЕКЦИОННЫЙ МЕТОД, ОТБОР, АГЕНТ, ХРАНИЛИЩЕ ГЕНОВ, КОНЕЧНЫЙ АВТОМАТ, КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ, ОКРЕСТНОСТЬ КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА, ЭВОЛЮЦИОНИРУЮЩИЙ КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ

Рассматриваемыми объектами в данной работе являются генетические алгоритмы и методы отбора при решении прикладных задач, где в основе лежит использование цифровых автоматов.

Целью работы является поиск и нахождение примеров эффективного применения цифровых автоматов в генетических алгоритмах, а также формулирование основных принципов при построении моделей с использованием цифровых автоматов. В работе рассматриваются способы представления цифрового автомата и также подходы к его модификации в процессе работы генетического алгоритма. Также в данном исследовании рассматриваются некоторые подходы к выработке метода отбора и выявления оптимальных параметров для него.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>8</b>
<b>1 Исследование цифровых автоматов и генетических алгоритмов.....</b>	<b>10</b>
1.1 Генетические алгоритмы .....	10
1.1.1 Сравнение генетических алгоритмов с детерминированными алгоритмами .....	10
1.1.2 Классификация генетических алгоритмов .....	11
1.1.3 Анализ предметной области.....	14
1.2 Цифровые автоматы .....	18
1.2.1 Классификация абстрактных автоматов .....	19
1.2.2 Базовая модель конечного автомата.....	21
1.3 Клеточные автоматы .....	22
1.3.1 Классификация клеточных автоматов .....	22
1.3.2 Эволюционирующий клеточный автомат .....	24
<b>2 Проектирование компонентов программной системы.....</b>	<b>28</b>
2.1 Анализ требований к программной системе .....	28
2.1.1 Обеспечение работоспособности по мере роста нагрузки .....	28
2.1.2 Обеспечение модульности и масштабируемости системы за счет использования микросервисного подхода .....	29
2.2 Выбор программных компонентов и проектирование архитектуры .....	31
2.2.1 Выбор программных компонентов проектируемой системы.....	31
2.2.2 Проектирование архитектуры программной системы .....	32
2.2.3 Построение структурной схемы программного обеспечения .....	33
2.3 Проектирование модели агента и генетического алгоритма .....	35
2.3.1 Построение модели агента на основе цифрового автомата.....	35
2.3.2 Код-геном.....	36
2.3.3 Параметры окружения и агента.....	39
2.3.4 Генетический алгоритм и метод отбора .....	39
2.4 Проектирование хранилища данных .....	40
2.4.1 Построение даталогической схемы базы данных .....	40
2.5 Проектирование пользовательского интерфейса.....	42
2.5.1 Построение диаграммы вариантов использования.....	43
2.5.2 Построение графа состояний интерфейса .....	45

<b>3 Разработка программной системы, методов её тестирования и сопровождения .....</b>	<b>46</b>
3.1 Обеспечение изолированной среды для компонентов программной системы при помощи виртуализации .....	46
3.1.1 Контейнер как метод виртуализации .....	46
3.1.2 Анализ и выбор технологии контейнеризации для разрабатываемой системы .....	47
3.1.3 Docker .....	48
3.2 Проектирование инфраструктуры для разрабатываемой системы .....	48
3.2.1 Система оркестровки контейнерами Kubernetes.....	49
3.2.2 Архитектура кластера Kubernetes.....	49
3.2.3 Процесс развертывания компонентов программной системы в Kubernetes .....	50
3.2.4 Реализация программной системы в кластере Kubernetes .....	51
3.2.5 Построение схемы размещения программных компонентов .....	53
3.3 Разработка генетического алгоритма .....	54
3.3.1 Реализация модели агента .....	56
3.3.2 Реализация кода-генома и обработки команд агента .....	57
3.3.3 Реализация пространства моделирования .....	58
3.3.4 Реализация сеанса моделирования .....	58
3.4 Создание хранилища данных .....	58
3.5 Разработка технологии тестирования.....	60
3.5.1 Функциональное тестирование.....	61
3.5.2 Модульное тестирование.....	61
3.5.3 UX тестирование .....	62
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>65</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>66</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>68</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>69</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В.....</b>	<b>70</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....</b>	<b>71</b>

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Генетический алгоритм – алгоритм, осуществляющий поиск решения задачи оптимизации или моделирования путем случайного комбинирования параметров и отбора лучших решений.

Селекция – процесс, в рамках которого производится отбор по определенным критериям наиболее оптимального решения.

Селекционный метод – алгоритм, согласно которому производится оценка решений и формирование нового поколения.

Агент – элементарная эволюционная единица, осуществляющая решение поставленной перед ней задачи.

Популяция – множество агентов.

Поколение – текущая популяция агентов, сформированная на основании предыдущих поколений, прошедших через селекционный отбор.

Жизненный цикл – период времени от появления агента в системе до его исключения из системы в результате работы селекционного алгоритма.

Генетический код – набор параметров и инструкций, которые выполняет агент в процессе своего жизненного цикла.

Мутация – случайное изменение генетического кода агента, приводящее к приближению или отдалению агента от оптимального решения.

Оптимальное решение – решение, которое по набору признаков является наиболее предпочтительным.

Эвристический алгоритм – алгоритм решения задачи, который не является гарантированно точным или оптимальным.

Детерминированный алгоритм – алгоритмический процесс, который выдает уникальный и предопределенный результат для заданных входных данных.

Цифровой автомат – математическая модель дискретного устройства, которое принимает и выдает сигналы, принимая различные состояния.

Абстрактный автомат – математическая абстракция, модель дискретного устройства, имеющая один вход и один выход, которое в каждый момент времени находится в одном из множества возможных состояний.

Конечный автомат – автомат, у которого количество внутренних состояний, которые он может принимать, ограничено.

Элементарный автомат – автомат, который описывается как автомат Мура, имеет двоичный алфавит, обладает двумя внутренними состояниями, обладает полной системой переходов и системой выходов.

Клеточный автомат – дискретная модель, изучаемая в математике и теории вычислимости, представляющая собой решетку ячеек, каждая из которых может принимать одно из доступных состояний согласно окрестности и правилу клеточного автомата.

API – application programming interface (программный интерфейс приложения)

ГА – генетический алгоритм.

ПГА – параллельный генетический алгоритм.

АА – абстрактный автомат.

КА – конечный автомат.

БА – бесконечный автомат.

ЭА – элементарный автомат.

УТК – указатель текущей команды.

## **ВВЕДЕНИЕ**

На данный момент достаточно широкое распространение получили методы решения задач, основанные на использовании генетических алгоритмов. Эти методы в основном используются для решения задач, решение которых либо слишком сложно найти аналитически, составив алгоритм, либо они являются настолько абстрактными, что решение для них в виде детерминированного алгоритма вовсе не существует. Генетические алгоритмы позволяют решать такие задачи.

Генетические алгоритмы (ГА) являются частью более общей области – эволюционного моделирования. В отличие от других технологий оптимизации, ГА содержат популяцию пробных решений, которые конкурентно управляются с помощью определенных операторов. Генетическим алгоритмам присуще итеративное обучение популяции агентов.

Генетические алгоритмы относятся к классу эвристических алгоритмов поиска, т.е. они решают задачи, используя практические методы, которые не являются абсолютно точными и оптимальными, однако они достаточно точны для решений поставленной перед ними задачи при заданных условиях [1].

На волне популярности искусственного интеллекта генетические алгоритмы являются поводом для постоянных дискуссий и исследований. Несмотря на то, что ИИ представляет из себя целый комплекс различных систем, таких как системы распознавания, анализа, обучения, адаптации и т.п., генетические алгоритмы вполне могут решить часть этих задач.

Генетические алгоритмы актуальны на данный момент тем, что уже сейчас способны решать широкий спектр задач. Генетические алгоритмы могут использоваться для управления процессорами, балансируя нагрузку в многопроцессорной системе, они могут использоваться для решения задач по поиску наилучшего соотношения веса/прочности/размера/плотности, для решения задач по размещению объектов различных форм на определенной



площади (трассировка плат или нарезка ткани с наименьшими потерями, например) и т. д. и т. п.

Один из недавних коммерческих примеров: израильская компания Schema разработала программный продукт Channeling для оптимизации работы сотовой связи путем выбора оптимальной частоты, на которой будет вестись разговор. В основе этого программного продукта и используются генетические алгоритмы.

Генетические алгоритмы приобрели большую популярность на фоне новой волны подъема интереса к нейронным сетям. Сейчас довольно быстро развиваются технологии по распознаванию изображения и звука. Для обучения нейронных сетей также используется генетический алгоритм, где после каждого раунда нейронные сети сравниваются по своей эффективности, после чего часть из них отсеивается, а на основании оставшихся генерируется новое поколение нейронных сетей с измененными весами переходов.

Одно из наибольших достоинств генетических алгоритмов – это возможность распараллеливания вычислений при поиске решений. Т.к. агенты, которые пытаются решить задачу, чаще всего не должны взаимодействовать друг с другом, то обработку каждого из них можно вести параллельно. Раньше это не давало больших преимуществ из-за одноядерных процессоров, но сейчас с развитием многопроцессорных архитектур и асинхронных языков программирования поиск решения с использованием генетических алгоритмов может проходить в разы быстрее.

Основной целью НИР является нахождение и оценка оптимальных подходов к реализации генетических алгоритмов с использованием цифровых автоматов и определению круга задач, для которых использование такого вида генетических алгоритмов было бы оправдано и эффективно.

# **1 Исследование цифровых автоматов и генетических алгоритмов**

## **1.1 Генетические алгоритмы**

В 60-ых годах прошлого века начались первые симуляции эволюционных процессов. В 70-ых годах была разработана концепция эволюционного программирования с использованием конечных автоматов. Достаточно большую популярность генетические алгоритмы обрели после экспериментов Джона Холланда с так называемыми клеточными автоматами.

Из-за скромных вычислительных мощностей длительное время генетические алгоритмы оставались в теоретической области и не использовались в решении прикладных задач. К концу 80-ых годов с ростом вычислительных мощностей стало внедряться оборудование, включавшее в себя генетические алгоритмы. В 89-ом году компания Axcelis выпустила свой первый продукт для персональных компьютеров, в котором применялись генетические алгоритмы. Носил он символическое название “Evolver”.

Сейчас существует много вариантов реализации генетических алгоритмов, каждый из которых больше подходит для решения определенных задач. Например, нейронные сети хорошо решают задачу распознавания изображений, но решить задачу самообучающегося ИИ нейронные сети так и не смогли, несмотря на то, что прошло несколько витков их популярности.

### **1.1.1 Сравнение генетических алгоритмов с детерминированными алгоритмами**

Генетические алгоритмы применяются чаще для нахождения приближенного решения. Это обосновывается тем, что для сложной задачи чаще всего требуется найти не идеальное решение, а удовлетворяющее хотя бы имеющимся требованиям [4]. При этом достижение идеального «оптимального» решения отходит на второй план. Однако при этом другие методы, ориентированные на нахождение оптимального решения, из-за их чрезвычайно высокой сложности становятся и вовсе нереализуемыми [6].

Основные отличия генетических алгоритмов от традиционных методов:

- 1) генетические алгоритмы работают с кодами, в которых представлен набор параметров, напрямую зависящих от аргументов целевой функции;
- 2) для поиска генетический алгоритм использует несколько точек поискового пространства одновременно, а не переходит от точки к точке, как это делается в традиционных методах;
- 3) генетические алгоритмы в процессе работы не используют никакую дополнительную информацию;
- 4) генетический алгоритм использует как вероятностные правила для порождения новых точек, так и детерминированные правила для перехода от одних точек к другим.

### 1.1.2 Классификация генетических алгоритмов

Генетические алгоритмы являются частным случаем еще более обобщенной сферы – генетического моделирования (рис. 1), но генетические алгоритмы достаточно разнообразны и обладают собственной классификацией [3].



Рисунок 1 – Классификация алгоритмов эволюционного моделирования

ГА не обязательно относится только лишь к одной из возможных классификаций, т. к. не все из них являются взаимоисключающими.

Можно выделить следующие типы генетических алгоритмов:

- стационарные;
- динамические;
- поколенческие;
- адаптивные;
- многоуровневые;
- параллельные.

Стационарные генетические алгоритмы подразумевают использование подхода, в котором популяция обновляется частями, а не вся сразу. Идея заключается в итеративном создании одного или двух потомков и добавления их непосредственно в популяцию, с предварительным исключением некоторых существующих агентов, чтобы освободить необходимое пространство.

Данный генетический алгоритм, по сравнению с поколенческим, использует примерно в два раза меньше памяти, т.к. всегда рассматривается только одна популяция. Также в этом алгоритме агенты-родители остаются в популяции на более длительное время, т. к. длительность их жизненного цикла обусловлена не «жесткими параметрами моделирования», а параметрами самого агента, которые формируются под воздействием генетического алгоритма случайным образом.

Такой тип алгоритмов более характерен для реального мира, поколения не имеют между собой четких временных границ, а сменяемость поколений происходит не резко, «между раундами», а плавно, в процессе конкуренции.

Динамический генетический алгоритм противоположен по своим идеям стационарному генетическому алгоритму. Здесь подразумевается использование итеративного подхода, где после каждой итерации популяция проходит полное обновление, в рамках которого удаляются и добавляются агенты.

Поколенческие генетические алгоритмы подразумевают итеративное следование определенной последовательности действий:

- 1) создание первоначальной популяции;

- 2) вычисление функций приспособленности для агентов популяции (оценивание);
- 3) выборка агентов из текущей популяции (селекция);
- 4) мутации агентов;
- 5) вычисление функций приспособленности для всех агентов;
- 6) формирование нового поколения;
- 7) оценка результатов и, если они не удовлетворительны, то повторение, начиная с 3 пункта.

Адаптивный генетический алгоритм. Основная его идея заключается в том, что такой алгоритм должен уметь изменять свои параметры в процессе работы. В качестве параметров здесь выступает размер популяции, вероятность мутации, количество удаляемых и добавляемых агентов, а также множество других параметров, которые зависят от специфики самой задачи. Целью создания адаптивного алгоритма является ускорение поиска решения или уменьшения затрат ресурсов при его поиске (например, памяти).

Многоуровневые генетические алгоритмы представляют собой многоуровневую систему, где каждый уровень генетического алгоритма оптимизирует работу вышестоящего генетического алгоритма и так по цепочке. Говоря более формально, многоуровневый генетический алгоритм – это система, в которой генетические алгоритмы нижнего уровня (оптимизируемые генетические алгоритмы) оптимизируют генетические алгоритмы верхнего уровня.

Этот принцип часто используется в нейронных сетях, где вершины нейронной сети разбиты по слоям, представляющим собой уровни генетического алгоритма. При этом возникает очень сложная задача оптимизации, где необходимо вычислить оптимальное количество слоев для наиболее быстрого поиска решения задачи, т.к. никакой универсальной формулы, дающей ответ на этот вопрос, не существует.

Параллельные генетические алгоритмы основаны на разбиении популяции на несколько отдельных подпопуляций, каждая из которых будет независимо от

других подпопуляций обрабатываться генетическим алгоритмом. Одновременно с этим, разнообразные миграции агентов порождают обмен генетическим кодом среди популяций, которые, улучшают точность и эффективность алгоритма.

Выделяют три типа параллельных генетических алгоритмов:

- глобальные однопопуляционные ПГА (master-slave);
- однопопуляционные ПГА;
- многопопуляционные ПГА.

Модель «master-slave» характеризуется тем, что в алгоритмах такого типа селекция принимает во внимание целую популяцию, в отличие от двух других моделей.

В алгоритмах второго класса существует главная популяция, но оценка целевой функции распределена среди нескольких процессоров. Master хранит популяцию, выполняет операции ГА и распределяет агентов между подчиненными. Они же лишь оценивают агентов. Однопопуляционные ГА пригодны для массовых параллельных компьютеров и состоят из одной популяции.

Третий класс - многопопуляционные ГА, более сложная модель, так как она состоит из нескольких подпопуляций, которые периодически, по установленным правилам, обмениваются агентами. Такой обмен агентами называется миграцией и управляется несколькими параметрами. Многопопуляционные ГА имеют сходство с «островной моделью» в популяционной генетике, которая рассматривает относительно изолированные общины; поэтому параллельные ГА в некоторых случаях называют «островными» параллельными ГА.

### **1.1.3 Анализ предметной области**

Предметная область информационной системы, реализующая генетические алгоритмы, включает в себя ряд объектов, данных и функций, которые её описывают. Они представлены на рис. 2.

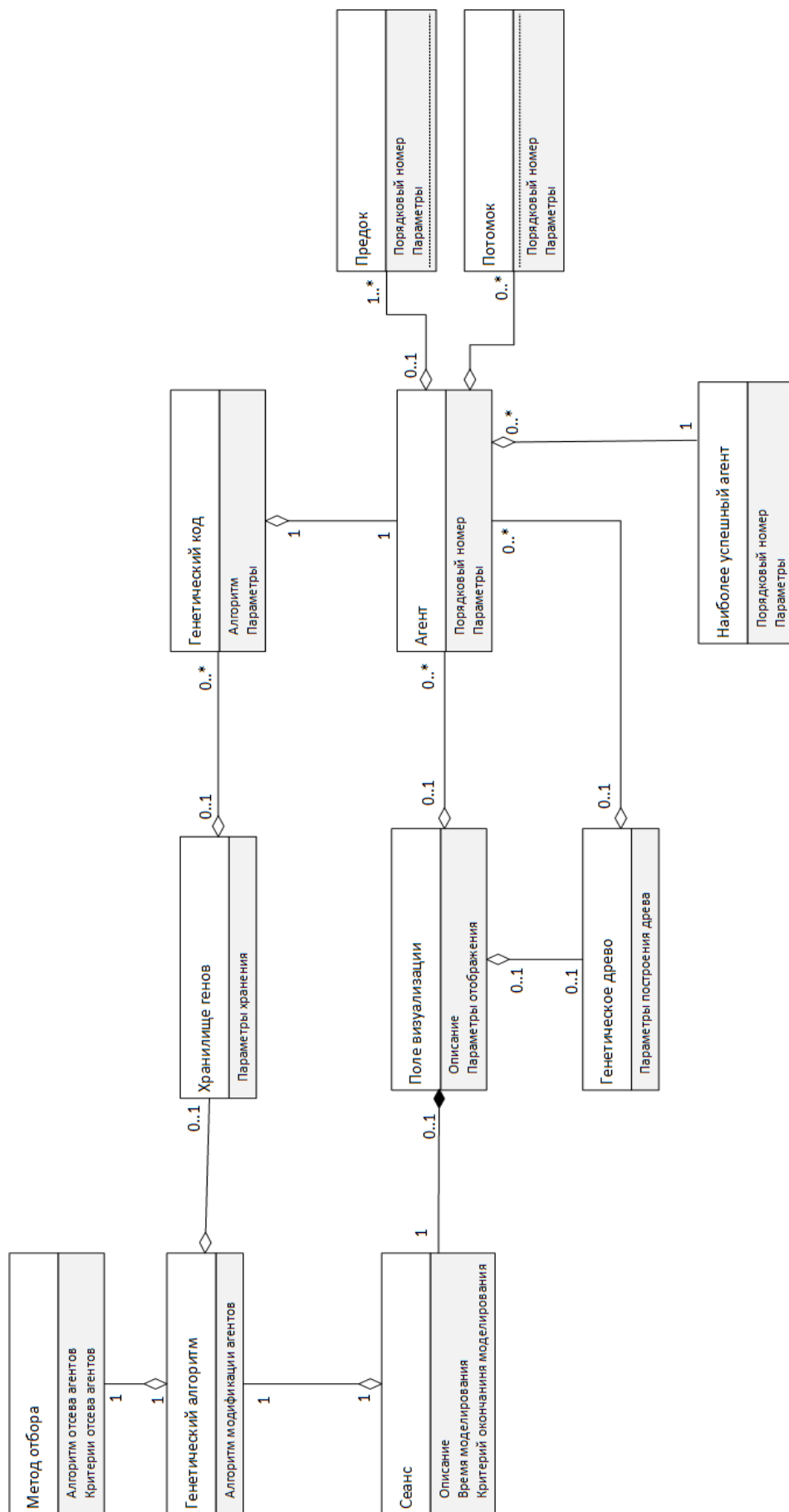


Рисунок 2 – Концептуальная схема предметной области

Согласно концептуальной схеме предметной области можно выделить следующие сущности:

- агент;
- хранилище генов;
- генетический код;
- генетическое древо;
- поле визуализации;
- генетический алгоритм;
- метод отбора;
- сеанс.

Агент представляет собой элементарную рабочую единицу ИС. Перед агентом ставятся задачи, для которых в системе идет поиск решения, как можно более приближенного к оптимальному. Существует множество агентов, параллельно решающих поставленную перед ними задачу. В начале процесса нахождения оптимального решения задачи все агенты находятся в схожих условиях и имеют идентичную конфигурацию. В течение некоторого отрезка времени в модели порождаются новые агенты с несколько отличной конфигурацией согласно генетическому алгоритму. Периодически с помощью метода отбора часть агентов удаляется из процесса поиска оптимального решения.

Хранилище генов – это банк данных. В этих данных содержится информация о конфигурациях агентов. Хранилище генов содержит в себе информацию как о тех агентах, которые участвуют в текущем сеансе, так и данные о конфигурации агентов. Хранилище генов используется для формирования конфигурации новых агентов в процессе работы генетического алгоритма.

Генетический код включает в себя набор параметров и инструкций, который использует агент в процессе своего жизненного цикла. Генетический код агента также можно определить, как его конфигурацию. Генетический код



изменяется случайным образом в процессе работы генетического алгоритма. Генетический код агента, который наиболее эффективно решает поставленную перед ним задачу, является тем самым оптимальным решением, поиск которого производится в системе.

Генетическое древо представляет из себя совокупность информации о родителях и потомках каждого агента, когда-либо появившегося в процессе сеанса поиска решения. Генетическое древо показывает, какие ветви развития агентов имели какую численность, и какая последовательность изменений привела к текущим генетическим кодам агентов.

Поле визуализации показывает текущее состояние сеанса работы генетического алгоритма и может включать такие элементы, как:

- графики;
- диаграммы;
- графы состояний и переходов;
- поля пространств, где размещаются и перемещаются агенты;
- визуализации наполнения банков данных;
- генетическое древо.

Информация в поле призвана дать возможность объективно оценить текущие состояние сеанса и определить, был ли достигнут требуемый результат работы генетического алгоритма.

Генетический алгоритм – это наиболее важная часть ИС, определяющая всю логику ее работы и множество задач, которые эта система может решать.

Генетический алгоритм определяет, каким образом будет происходить наследование генетического кода от агентов одного поколения к агентам последующего, а также какие случайные изменения будут происходить в генетическом коде новых агентов и с какой вероятностью.

Метод отбора - это алгоритм, который осуществляет отсев агентов в процессе моделирования. Отсеиваются агенты, которые решили поставленную перед ними задачу менее эффективно, чем позволяет пороговый критерий.

Сеанс представляет из себя весь временной отрезок, в рамках которого агенты решают представленную перед ними задачу. Сеанс в зависимости от условий и специфики задач, стоящих перед ними, может проходить в различных формах:

- агенты решают поставленную задачу независимо, никак не контактируя и не взаимодействуя друг с другом;
- агенты решают поставленную задачу в одной среде, весь сеанс поделен на периоды времени, представляющие из себя циклы, после каждого из которых происходит удаление и добавление агентов в зависимости от эффективности решения каждого;
- агенты решают задачу одновременно в одной среде, соревнуясь друг с другом. При таком виде сеанса отбор осуществляется естественным образом в ходе конкуренции между агентами. При этом наиболее продвинутые агенты порождают других агентов, поддерживая тем самым их общее количество. Этот тип сеанса наиболее приближен к естественным эволюционным процессам.

## 1.2 Цифровые автоматы

Понятие абстрактного автомата [АА] позволяет рассматривать дискретные объекты с точки зрения алгоритмов их функционирования, то есть реализуемых последовательностей действий по преобразованию дискретной информации [2].

Абстрактным автоматом называют модель, которая описывается кортежем, состоящим из 5 элементов:

$$A = (X, Y, S, f_y, f_s)$$

Здесь первые три компонента – это непустые множества:

$X$  – множество входных сигналов,

$Y$  – множество выходных сигналов,

$S$  – множество состояний.

Остальные два компонента кортежа являются характеристическими функциями:

$f_y$  – функция выходов,

$f_s$  – функция переходов АА из одного состояния в другое

Если множества  $X$ ,  $Y$ ,  $S$  – конечные, то такой АА называется конечным автоматов [КА]. В том случае, если бы хотя бы одно из множеств автомата было бесконечным, то и сам АА являлся бы бесконечным.

В данной исследовательской работе основным объектом для анализа являются именно КА.

КА, в отличие от БА, программно-реализуемый и может быть полностью представлен с помощью таблицы или графа переходов, что дает возможность их практического применения.

### 1.2.1 Классификация абстрактных автоматов

Для классификации автомата рассматривается множество признаков, которые перечислены и определены в таблице 1.

Таблица 1 – Признаки и их определения для абстрактных автоматов

Признак	Определение
Определенность характеристических функций	В автоматах, полностью определенных областью определения функций $f_s$ и $f_y$ , является множество всех пар $(s_i, x_k) \in S \times X$ , где $s_i \in S$ , $x_k \in X$ . В автоматах частично определены либо обе характеристические функции, либо одна из них имеет областью определения строгое подмножество декартова произведения $S \times X$ . Характеристические функции определены не для всех пар $(s_i, x_k)$ .
Однозначность функции переходов	В детерминированных автоматах выполняется условие однозначности переходов: если АА находится в некотором состоянии $s_i \in S$ , то под воздействием произвольного входного сигнала $x_k \in X$ автомат может перейти в одно и только одно состояние $s_j \in S$ .
Устойчивость состояний	В устойчивых автоматах выполняется условие устойчивости: если автомат под воздействием входного сигнала $x_k \in X$ оказался в состоянии $s_i \in S$ , то выход из него и переход в иное состояние возможен только при поступлении на вход автомата другого сигнала $x_z \in X$ , $x_z \neq x_k$ .

Чаще всего используются те автоматы, которые по перечисленным выше признакам являются полностью определенными, детерминированными и устойчивыми конечными автоматами.

Классификация абстрактных автоматов может быть представлена в виде схемы на рисунке 3.



Рисунок 3 – Классификация абстрактных автоматов

Также можно классифицировать автоматы по виду их характеристической функции. Если аргументами характеристической функции являются только текущее значение входного сигнала и текущее состояние, то такой автомат является автоматом 1 рода или автоматом Мили. Если выходные сигналы автомата зависят исключительно от текущего состояния автомата, то это автомат 2 рода или автомат Мура.

Пример графов переходов для автомата Мура и автомата Мили представлен на рисунке 4.

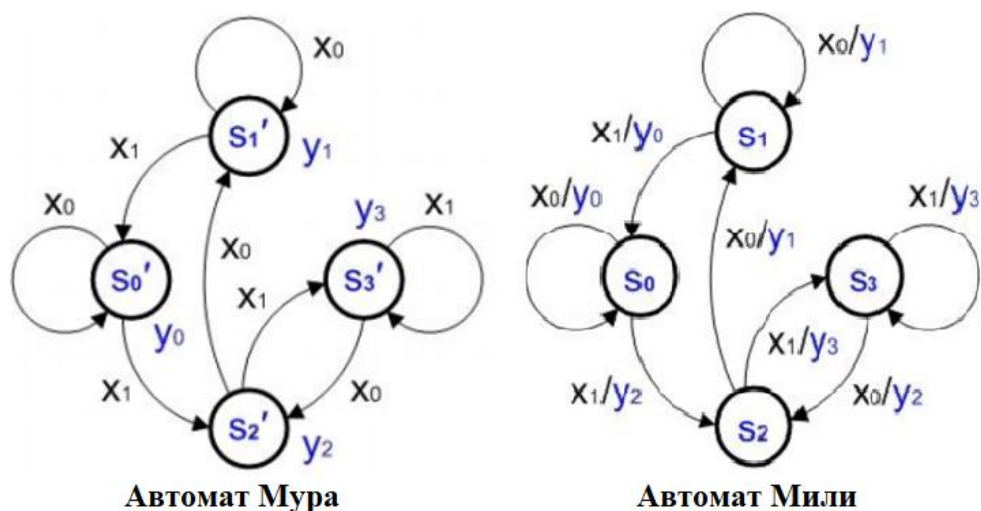


Рисунок 4 – Граф переходов автомата Мили

Следует при этом отметить, что автомат Мили запаздывает на один дискретный момент времени по входному сигналу по отношению к автомату Мура

Если в автомате присутствуют свойства как автомата Мура, так и автомата Мили, то такой автомат можно считать смешанным.

### 1.2.2 Базовая модель конечного автомата

Конечный автомат, в описание которого входят таким образом определенные множества, называют  $(n, p, q)$ -автоматом, а самим множествам присваивают наименование векторов, например, вектор входных сигналов, вектор состояний.

Все автоматы, в том числе конечные, функционируют в дискретном исчислении времени. Моменты времени образуют ряд целых неотрицательных чисел:  $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ . В каждый дискретный момент времени КА находится в одном и только одном состоянии  $S_i$ , воспринимает одно значение вектора  $X$  и выдает на выходе одно значение вектора  $Y$ .

Принято считать, что в момент времени  $t = 0$  автомат находится в начальном состоянии  $S_0$ , которое можно включить в кортеж отдельным, шестым компонентом:  $A = (X, Y, S, f_y, f_s, S_0)$ .

Автомат с выделенным начальным состоянием называют инициальным.

Общую схему автомата можно представить в виде «черного ящика», осуществляющего преобразование вектора входных сигналов в вектор выходных.

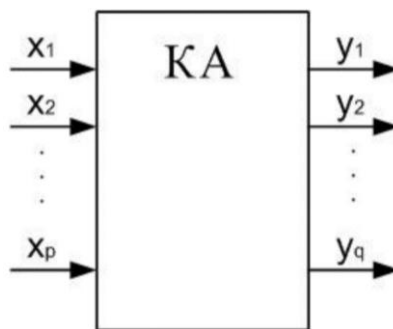


Рисунок 5 – Общая схема конечного автомата

Исходя из этого, можно записать следующее уравнение:  $Y = f_y(X, t)$ .

Фактор времени в приведенном уравнении учитывается введением вектора состояний  $S$ , как своего рода «памяти о прошлом». Действительно, на один и тот же набор входных сигналов (значений компонентов вектора  $X$ ) автомат будет выдавать разные выходные сигналы (значения компонентов вектора  $Y$ ) в зависимости от состояния, в котором он находится в данный момент времени.

### 1.3 Клеточные автоматы

#### 1.3.1 Классификация клеточных автоматов

Клеточный автомат – это дискретная модель, которая представляет из себя сетку произвольной размерности. Каждая клетка в каждый момент времени может принимать одно из конечного множества состояний, при этом существует правило, по которому осуществляется переход клеток из одного состояния в другое [7].

Клеточные автоматы могут быть классифицированы по критериям, представленным в таблице 2.

*Таблица 2 – Критерии для клеточных автоматов*

Критерий	Возможные варианты
Размерность решетки	Одномерная, двумерная, трехмерная и т.д.
Количество возможных состояний	Бинарные, троичные и т.д.
Определение окрестности клетки	Окрестность Фон-Неймана, окрестность Мура и др.
Синхронизация	Синхронные и асинхронные клеточные автоматы
Тип поведения	4 класса

Клеточные автоматы можно разделить на 4 класса по типу поведения:

- 1) все клетки быстро принимают одинаковое состояние, после чего автомат стабилизируется;
- 2) состояние всех клеток быстро стабилизируется, либо возникают периодические колебания состояний клеток;
- 3) автомат порождает хаотические, непериодические структуры. Небольшие изменения исходного состояния влекут за собой значительные изменения в будущем;

4) автомат порождает сложные, взаимодействующие между собой структуры, способные выживать длительное время. Однако при этом автомату не удастся достичь стабильного состояния.

Простейший клеточный автомат - это одномерный бинарный клеточный автомат, где состояния клетки в каждый момент времени зависит только от ее собственного состояния и состояний смежных с ней клеток в предыдущей момент времени [7].

Простейших клеточных автоматов существует всего 256, и поведение некоторых из них дублирует другие. Но, несмотря на это, широко известный в узких кругах Стивен Вольфрам посвятил годы жизни их изучению [5].

Каждый из вариантов таких автоматов принято называть по порядковому номеру, или же «Правило N». Возьмем для примера наиболее интересное из них, правило 110 [5].

Двоичный код десятичного числа 110 представляет собой последовательность бит 01101110. Данная последовательность бит формирует функцию переходов клетки.

*Таблица 3 – Функция переходов клетки клеточного автомата*

111	110	101	100	011	010	001	000
0	1	1	0	1	1	1	0

В зависимости от состояний соседа слева, самой клетки, соседа справа (первая строка таблицы) на следующем шаге клетка примет одно из состояний, указанных во второй строке таблицы 3.

Графическая иллюстрация представлена на рисунке 6.



**Рисунок 6 – графическое представление правила 110**

Клеточные автоматы, в отличие от классических конечных автоматов, являются Тьюринг-полными. Это делает возможным посредством клеточного

автомата реализовывать любую вычислимую функцию, т.е. реализовывать любой возможный алгоритм [7].

Стоит отметить, что каждая клетка клеточного автомата представляет простой конечный автомат. В простом случае, когда имеется двумерное поле и каждая клетка способна принимать всего два состояния, эта самая клетка реализует автомат, который способен принимать два возможных состояния под воздействием входных сигналов. В данном случае входными сигналами будут являться окрестность клетки, т.е. текущие состояния клеток, входящих в эту окрестность. При этом текущее состояние клетки-автомата будет являться входным сигналом для других клеток.

### **1.3.2 Эволюционирующий клеточный автомат**

Клеточный автомат – весьма мощное средство моделирования. Он позволяет строить модели различных динамических систем. Даже простейшие одномерные клеточные автоматы являются Тьюринг-полными и способны генерировать сложные непериодические структуры.

Однако все клетки такого автомата равны между собой и работает каждая из них по заранее определенному правилу. Соединение идеи клеточного автомата и генетического алгоритма позволит избежать статичности правила и позволит его видоизменять при каждой итерации алгоритма [8].

В этом случае правило автомата фактически превращается в генетический код, а сам клеточный автомат становится агентом.

В случае простейшего генетического автомата, где правило формируется по состояниям двух смежных клеток и состоянию самой клетки, существует 8 возможных комбинаций, из которых можно породить 256 правил (рис. 7). Как раз переход в одно из двух возможных состояний для каждой из 8 комбинаций будет определять один из соответствующих им 8 генов.



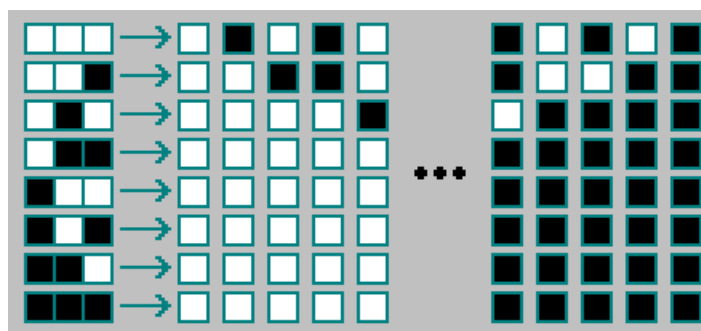


Рисунок 7 – Возможные комбинации состояний одномерного клеточного автомата

Для решения задач моделирования чаще приходится использовать моделирование в двумерном или трехмерном пространстве. Практических задач для одномерного пространства значительно меньше, чем, например, задач на плоскости или связанных с объемным пространством. Поэтому стоит рассмотреть работу генетического алгоритма с использованием двумерного клеточного автомата для большей наглядности и практичности.

У двумерного клеточного автомата для каждой клетки, если использовать окрестность Мура, существует 8 соседних клеток. Существует порядка  $2^9 = 512$  возможных комбинаций состояний клетки и её соседей, из чего следует, что поведение данного клеточного автомата определяет комбинация из 512 генов. Комбинация этих генов дает  $2^{512}$  возможных генетических конфигураций клеточного автомата (рис. 8), что является огромным множеством всевозможных правил.

Рассмотренные клеточные автоматы являлись автоматами первого порядка, т. е. их последующее состояние зависело только от текущего состояния [5]. Автоматы также могут быть и высших порядков. В таком случае следующее состояние клетки такого автомата будет зависеть не только от текущего состояния клетки и клеток в ее окрестности, но и от её состояния на предыдущих шагах.

Такая большая комбинация генов дает возможность генерировать большое множество клеточных автоматов с различными правилами.

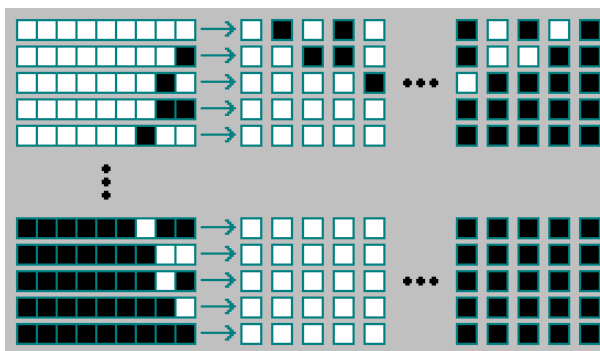


Рисунок 8 – Возможные комбинации состояний двумерного клеточного автомата

Для оценки, насколько близко эволюционирующий клеточный автомат приблизился к цели в ходе работы генетического алгоритма, необходимо сформировать определенные критерии, по которым будет происходить оценивание [10].

Критерии оценивания можно задать любые, в зависимости от поставленных задач. Для двумерного клеточного автомата первого порядка будет достаточно наглядно в качестве примера взять задачу по образованию заданного рисунка или узора.

В этом случае критерием оценивания для клеточных автоматов (агентов) будет выступать количество рисунков и их точность (процент ошибок). Поиск рисунков в этом случае будет производиться относительно каждой клетки в ее окрестности. Стоит отметить, что такая окрестность не должна совпадать с окрестностью, по которой сформировано правило в клеточном автомате. Более того, она может быть произвольного размера и формы (рис. 9).

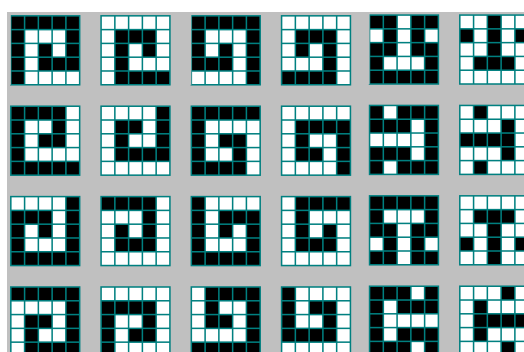


Рисунок 9 – Возможные критерии отбора для клеточного автомата с прямоугольной окрестностью 5x5

Согласно сформулированным критериям должен производиться отбор и селекция клеточных автоматов, участвующих в описке решения.

Для формирования генетического кода нового клеточного автомата можно использовать генетический код случайного автомата из предыдущего поколения со случайной мутацией одного из гена. Вероятность мутации определяется для каждой задачи индивидуально, при этом вычислить ее аналитически, как правило, не представляется возможным.

Можно использовать для формирования генетического кода нового автомата код сразу нескольких автоматов из предыдущего поколения (рис. 10). При этом автоматы из скрещивания выбираются случайным образом. В случайном гене полученного генетического кода с некоторой вероятностью также происходит мутация.



Рисунок 10 – Формирование генетического кода нового клеточного автомата из генетических кодов двух клеточных автоматов

В процессе отбора, селекции, мутаций и оценки полученных результатов происходит эволюционный процесс, в ходе которого происходит постепенное приближение к оптимальному решению поставленной перед генетическим алгоритмом задачи.

## **2 Проектирование компонентов программной системы**

### **2.1 Анализ требований к программной системе**

Для проектируемой системы необходимо определить перечень качеств и свойств, которым она должна соответствовать. Это позволяет на ранних этапах проектирования более детально определить архитектуру программного обеспечения, а также, исходя из выявленных особенностей, подобрать более оптимальный набор технологий и языков программирования [14].

Т.к. будущая программная система представляет из себя веб-приложение, состоящее из нескольких программных модулей, доступное для всех пользователей интернета, то необходимо спроектировать систему таким образом, чтобы её можно было как легко дополнять новыми программными модулями, так и легко масштабировать в случае роста нагрузки.

#### **2.1.1 Обеспечение работоспособности по мере роста нагрузки**

Ключевым элементом в такой разработке является правильное проектирование архитектуры приложения, т. к. повышение нагрузки на разрабатываемую систему не должно вызывать необходимость в изменении логики работы компонентов, добавлении новых, удалении старых [11].

Обеспечение горизонтальной масштабируемости компонентов системы на всех уровнях и предварительное выявление и ликвидация узких мест – наиболее эффективный шаг для обеспечения эффективного роста и легкой модернизации разрабатываемой системы в отдаленном будущем, когда рост нагрузки приведет к дефициту ресурсов при текущей конфигурации оборудования [14].

На данный момент для реализации больших систем с большим количеством различных компонентов (сейчас почти любая высоконагруженная система обладает большими размерами и большим разнообразием используемых компонентов) используются технологии виртуализации.

Независимо от того, сколько отдельных компонентов разрабатывается и развертывается, одна из самых больших проблем, с которой всегда приходится сталкиваться разработчикам и системным администраторам – это различия в

окружениях, в которых они выполняют свои приложения. Существует огромная разница между окружением, в котором проходила разработка и рабочим окружением. Различия даже существуют между отдельными физическими машинами при эквивалентном наборе программного обеспечения. Еще одним неизбежным фактом является то, что окружение одной рабочей машины будет меняться с течением времени [13].

Виртуализация позволяет абстрагироваться от конфигурации реальных физических машин и запускать компоненты системы в отдельных виртуальных машинах, тем самым делая их выполнение независимым от ОС, установленной на физическом сервере.

### **2.1.2 Обеспечение модульности и масштабируемости системы за счет использования микросервисного подхода**

Монолитные приложения состоят из компонентов, которые тесно связаны друг с другом и должны разрабатываться, развертываться и управляться как одна сущность, поскольку все они выполняются как один процесс ОС. Изменения в одной части приложения требуют новой выкладки всего приложения. Со временем отсутствие жестких границ между частями приводит к увеличению сложности и последующему ухудшению качества всей системы из-за неограниченного роста взаимосвязей между этими частями [11].

Для запуска монолитного приложения обычно требуется небольшое количество мощных серверов, которые могут предоставить достаточно ресурсов для запуска приложения.

Для того чтобы справиться с растущей нагрузкой на систему, нужно либо масштабировать серверы вертикально (так называемое масштабирование вверх), добавляя больше процессоров, оперативной памяти и других серверных компонентов, либо масштабировать всю систему по горизонтали, настраивая дополнительные серверы и запуская несколько копий (или реплик) приложения (масштабирование вширь) [11].

Хотя масштабирование вверх обычно не требует каких-либо изменений в приложении, оно относительно быстро становится дорогостоящим и на практике всегда имеет верхний предел.

Масштабирование вширь, с другой стороны, является относительно дешевым аппаратно, но может потребовать больших изменений в программном коде приложения и не всегда возможно – некоторые части приложения с большим трудом поддаются горизонтальному масштабированию или почти невозможны для него (например, реляционные базы данных). Если какая-либо часть монолитного приложения не масштабируется, то все приложение становится немасштабируемым, если только каким-то образом этот монолит не разделить.

Эти и другие проблемы заставили начать разбиение сложных монолитных приложений на небольшие независимые развертывания компонентов, называемые микросервисами. Каждый микросервис выполняется как независимый процесс (рис. 11) и взаимодействует с другими микросервисами через простые, четко определенные интерфейсы (API).

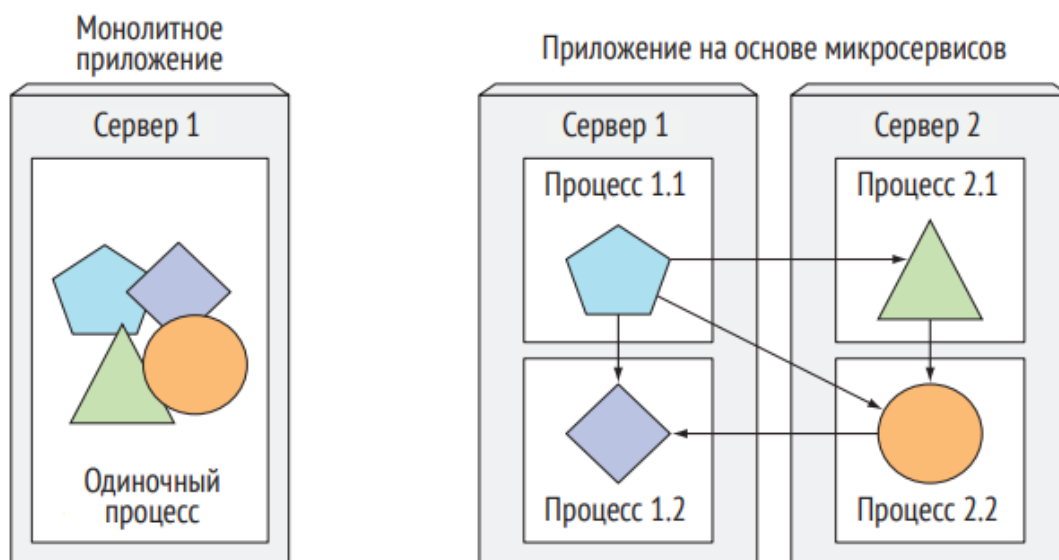


Рисунок 11 – Компоненты программной системы внутри монолитного приложения и независимых микросервисов

Микросервисы взаимодействуют через синхронные протоколы, такие как HTTP, используя которые, они обычно предоставляют RESTful, или через

асинхронные протоколы, такие как AMQP (Advanced Message Queueing Protocol, расширенный протокол организации очереди сообщений) [12]. Эти протоколы просты, хорошо понятны большинству разработчиков и не привязаны к какому-либо конкретному языку программирования. Каждый микросервис может быть написан на языке, который наиболее целесообразен для реализации конкретных микросервисов.

Поскольку каждый микросервис представляет собой автономный процесс с относительно статическим внешним API, существует возможность разрабатывать и развертывать каждый микросервис отдельно. Изменение одного из них не требует изменений или повторного развертывания какого-либо другого сервиса, при условии, что API не изменяется или изменяется только обратно совместимым образом [12].

## **2.2 Выбор программных компонентов и проектирование архитектуры**

### **2.2.1 Выбор программных компонентов проектируемой системы**

Для проектирования программной системы необходимо выделить её основные компоненты, а также взаимосвязи между ними.

Поскольку разрабатываемая система представляет из себя веб-приложение, доступ к которому осуществляется посредством использования сети Интернет, то для отображения графического интерфейса будет использоваться браузер.

Минимальная реализация подобной программной системы должна включать в себя минимум три компонента: сервис для отдачи веб-приложения браузеру, сервис для обработки запросов от веб-приложения и хранилище данных.

Такая реализация в упрощенном виде представляет из себя классическую трехзвенную архитектуру веб-приложения (рис. 12)



Рисунок 12 – Классическая трехзвенная архитектура

Для реализации данных программных компонентов разрабатываемой системы были выбраны следующие языки программирования и технологии:

- для отдачи веб-приложения на браузер пользователя будет использоваться frontend-сервер Node.js;
- для обработки действия пользователя, отдачи данных и обработки запросов будет использоваться веб-сервис, реализованный на языке программирования GO;
- для хранения данных пользователей и служебных данных разрабатываемой системы, планируется использовать реляционную базу данных Postgres 10.1.

### 2.2.2 Проектирование архитектуры программной системы

Наиболее простой вариант программной архитектуры с использованием frontend-backend подхода представлен на рисунке 13.

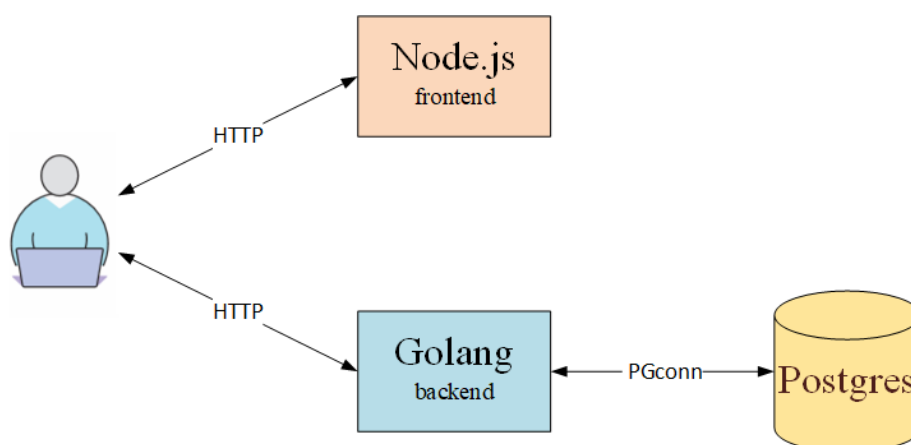


Рисунок 13 – Простой вариант программной архитектуры веб-приложения

Данный подход к проектированию программной системы имеет как плюсы, так и минусы.



Плюсы:

- при такой архитектуре количество разнородных программных компонентов не велико;
- нет накладных расходов на дополнительные сервисы, обеспечивающие инфраструктуру приложения (балансировки нагрузки, прокси-серверы, регистраторы сервисов и другие).

Минусы:

- отсутствует единая точка входа для пользователя в программную систему;
- масштабируемость для каждого из компонентов системы требует изменение конфигурации других элементов системы;
- компоненты системы представляют из себя большие монолитные программы, некоторый функционал из которых может быть вынесен в отдельные сервисы;
- отсутствуют компоненты программной системы, позволяющие равномерно распределить нагрузки между однородными компонентами системы;
- выход из строя одного из компонентов приводит к отказу всей системы.

С учётом всех плюсов и минусов описанная выше архитектура может быть использована в небольших проектах, но для развивающейся системы она не годится в связи с потенциальной громоздкостью отдельных компонентов и возможными проблемами при масштабировании.

### **2.2.3 Построение структурной схемы программного обеспечения**

На рисунке 14 представлен вариант архитектуры программной системы с учетом необходимости в масштабировании отдельных компонентов и требованием к отказоустойчивости.

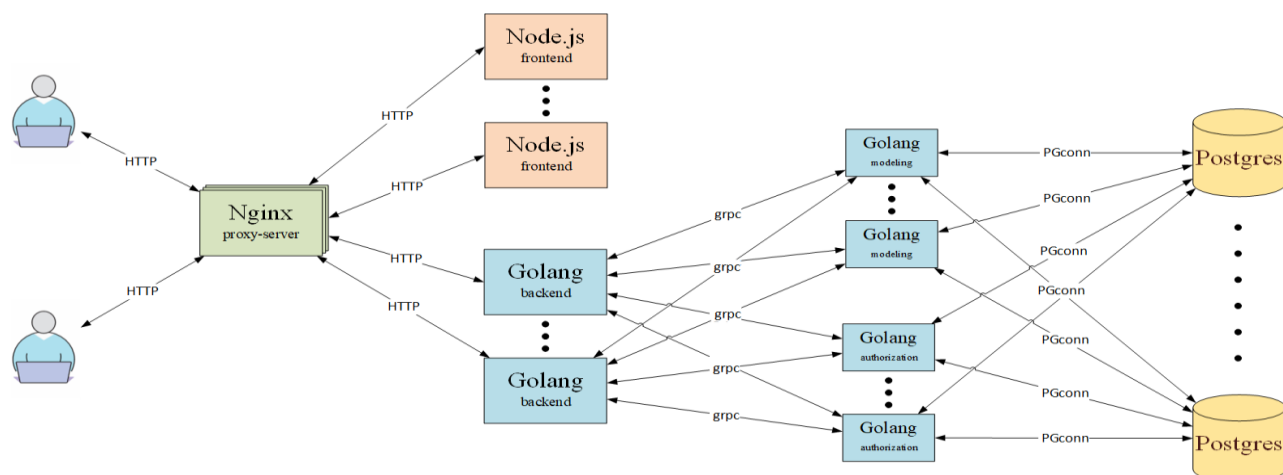


Рисунок 14 – Структурная схема программного обеспечения

Заметна существенная разница между первым вариантом архитектуры и последним. Можно также выделить в данной архитектуре список достоинств и недостатков.

Достоинства:

- каждый компонент проектируемой системы может быть горизонтально отмасштабирован;
- нет единой точки отказа, выход из строя одного из компонентов системы не ведет к потере ее работоспособности;
- для добавления дополнительного frontend или backend сервера достаточно только изменить конфигурацию прокси-сервера nginx.

Недостатки:

- в данной системе добавление компонентов при масштабировании все еще требует изменения конфигурации других компонентов;
- отсутствует инфраструктура для автоматического масштабирования в зависимости от текущей нагрузки;
- данная архитектура требует от администратора системы дополнительных временных затрат времени из-за в целом более высокой сложности по сравнению с предыдущим вариантом.

Всё выявленные недостатки в данной архитектуре можно исправить при помощи использования системы оркестровки контейнеров Kubernetes (раздел 3.2.4).

## **2.3 Проектирование модели агента и генетического алгоритма**

### **2.3.1 Построение модели агента на основе цифрового автомата**

Для разработки агента необходимо спроектировать его модель и поведение, а также определить его свойства и правила взаимодействия с окружающей средой.

В качестве основы для модели агента берется абстрактный цифровой или конечный автомат. При этом автоматы являются конечными.

Абстрактный автомат включает в себя два основным блока:

- логический преобразователь (комбинационная схема);
- блок памяти (каскад регистров).

По аналогии с логическим преобразователем в цифровом автомате, в модели агента будет представлен блоком кода-генома, а блок памяти будет представлен параметрами окружения и состояниями самого агента.

Код-геном состоит из набора ячеек, в которых записываются числа, где каждое число соответствует команде. Набор этих команд определяет поведение агента и изменение этого поведения для последующих поколений.

Параметры окружения – это ближайшее пространство вокруг агента, доступное для анализа. Состояние агента – это набор параметров, характеризующих самого агента, они могут быть представлены текущим запасом энергии, органических и неорганических веществ, воды, возрастом и т.д.

Описанное выше соответствие представлено на рисунке 15.

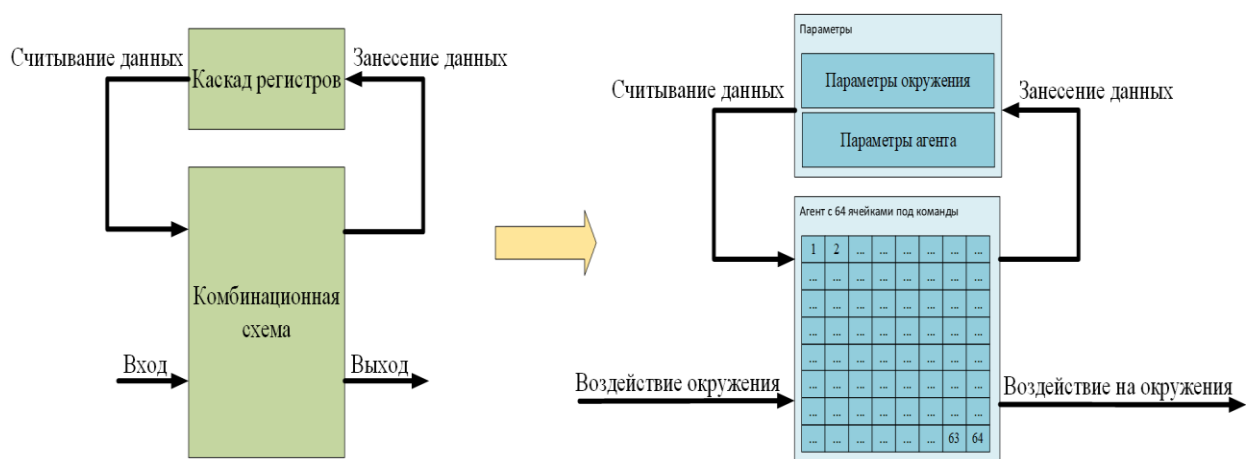


Рисунок 15 – Построение модели агента на основе модели цифрового автомата

### 2.3.2 Код-геном

Код-геном представляет из себя цепочку чисел. Каждое число — это какая-то команда (в простейшем случае). Также есть указатель текущей команды (далее УТК), который показывает, какая команда будет сейчас выполняться и после выполнения команды, указатель перемещается к следующей команде. Если указатель вышел за край цепочки, то он появляется с противоположной стороны, то есть цепочка команд замкнута по кругу.

В качестве примера на рисунке 16 показана лента на 64 команды, где все ячейки забиты командой «23».

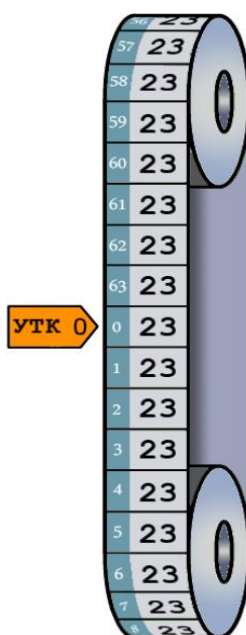


Рисунок 16 – Лента команд агента

Некоторым числам соответствуют определенные команды. Если числу не соответствует никакая команда, то это число является безусловным переходом. Например, для данной ленты, размером в 64 ячейки, можно предусмотреть диапазон возможных значений для ячеек от 0 до 127, где первые 64 значения являются командами безусловного перехода, то есть им не присвоена никакая другая команда.

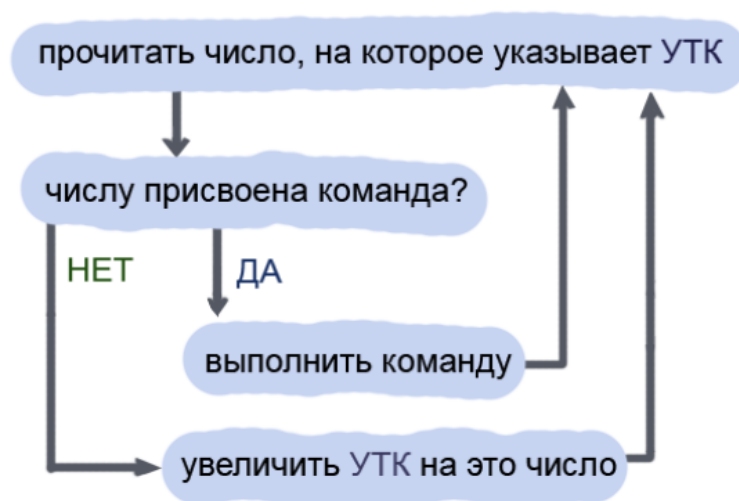


Рисунок 17 – Алгоритм определения присвоена ли числу команда

Стоит отметить, что команда, кроме выполнения основной функции, также отвечает за изменение УТК. После выполнения команды УТК увеличивается на единицу. Пусть для значения 23 назначена какая-нибудь команда, тогда изменение УТК будет выглядеть следующим образом, представленным на рисунке 18.

УТК+62	63	23	
УТК+63	0	23	команда                      УТК = УТК + 1
УТК	1	63	не назначена команда      УТК = УТК + 63
УТК+1	2	23	

Рисунок 18 – Пример изменения УТК

Некоторые команды могут быть более сложными и требовать параметры для своего исполнения.

В качестве примера можно взять команду поворота для агента, обитающего в среде, поделенной на клетки. В это случае агент может быть повернут в 8 возможных направления (4 грани и 4 угла). Для выбора направления может использоваться параметр (рис. 19).

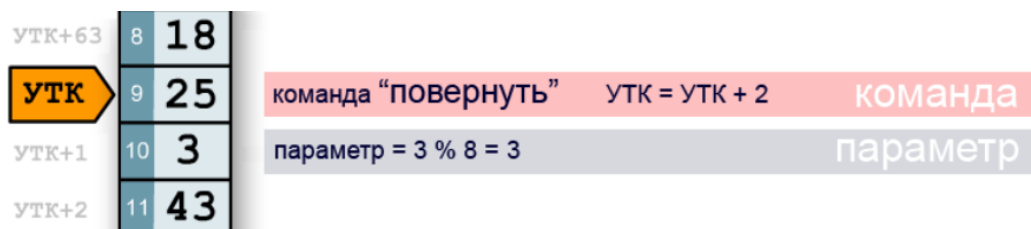


Рисунок 19 – Команда с параметром

Например, числу 25 присвоена «поворот». Когда УТК укажет на ячейку с числом 25 (повернуть), то для выполнения данной команды будет взято следующее. Из этого числа будет выбрано направление. Параметр делится на 8 и берется остаток от деления. Одно из 8 значений (0...7) — это и есть направление для поворота. В данном случае важно, чтобы количество возможных чисел было кратно 8. В таком случае вероятность выбора одинакова для всех направлений. После выполнения команды, УТК перемещается не на одну ячейку, а на две, перепрыгивая параметр.

УТК может прийти к ячейке, которая в другой раз служила параметром. Теперь значение из этой ячейки будет командой. Это сильно усложняет анализ кода человеком, зато «виртуальная машина», выполняющая код бота очень проста в реализации.

Для реализации ветвления может использоваться вариант команды, когда изменение значения УТК зависит от параметра.

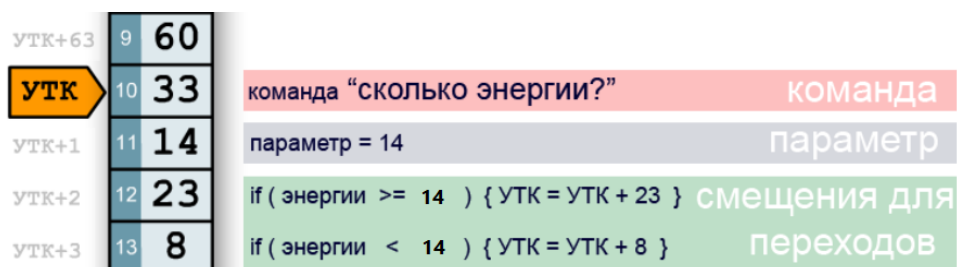


Рисунок 20 – Команда, использующее разное смещение для УТК после выполнения

Где значения 23 и 8 – это безусловные относительные переходы.

### **2.3.3 Параметры окружения и агента**

Параметры показывают текущее состояние агента или его окружения.

Под параметрами окружения подразумевается ближайшая область или окрестность, которую может проанализировать агент. Параметрами окружения могут быть уровень освещенности, наличие других агентов по близости, источники энергии и др.

Под состоянием агента может иметься ввиду уровень запасов энергии, органики, жидкости, значение УТК и прочее.

### **2.3.4 Генетический алгоритм и метод отбора**

В разрабатываемой системе генетический алгоритм, в зависимости от параметров моделирования, настроенных пользователем системы, может работать по-разному, однако в любом случае он обязан включать 4 основных этапа:

- генерирование начальной популяции;
- селекция;
- скрещивание;
- мутация.

Основной преследуемой целью при реализации данных выше механизмов – обеспечение максимальной гибкости настройки для пользователя.

Создание абсолютно универсального программного компонента для моделирования чего угодно не представляется возможным. Вместо этого предполагается создания нескольких отличных друг от друга шаблонов, которые будут обладать обозримым числом параметров для гибкой настройки моделирования.

Несмотря на то, что метод отбора часто рассматривается как отдельная часть, работающая рука об руку с генетическим алгоритмом (где генетический алгоритм отвечает за рекомбинацию генов, а метод отбора за селекцию агентов и формирование поколений), в данной разрабатываемой системе, ввиду

специфики тематики (моделирование естественных эволюционных процессов) далее, непосредственно при программной реализации, эти две части будут рассматриваться как единое целое в лице разрабатываемого генетического алгоритма, где метод отбора является одним из этапов работы генетического алгоритма, то есть этапом «селекция».

## **2.4 Проектирование хранилища данных**

Для корректного функционирования системы необходимо хранить большие объемы разнородной информации. В контексте данной автоматизированной системы данные можно разделить на следующие типы:

- данные пользователя (логин, пароль, почта, сессия пользователя, прочие личные данные);
- данные моделирования (владелец сеанса моделирования, различные параметры сеанса моделирования, данные о текущей популяции и т.д.);
- служебные данные (количество зарегистрированных пользователей, количество пользователей онлайн, список активных симуляций, логи ошибок и прочее).

### **2.4.1 Построение даталогической схемы базы данных**

Для хранения столь разнообразной информации было принято решение использовать реляционную базу данных ввиду универсальности таких баз, а также большого количества современных инструментов для выборки данных, их модификации, архивирования, восстановления и защиты от нежелательного пагубного воздействия со стороны потенциальных злоумышленников.

Даталогическая схема строится на основе концептуальной модели предметной области из рисунка 2.

Даталогическая схема базы данных показан на рисунке 21.



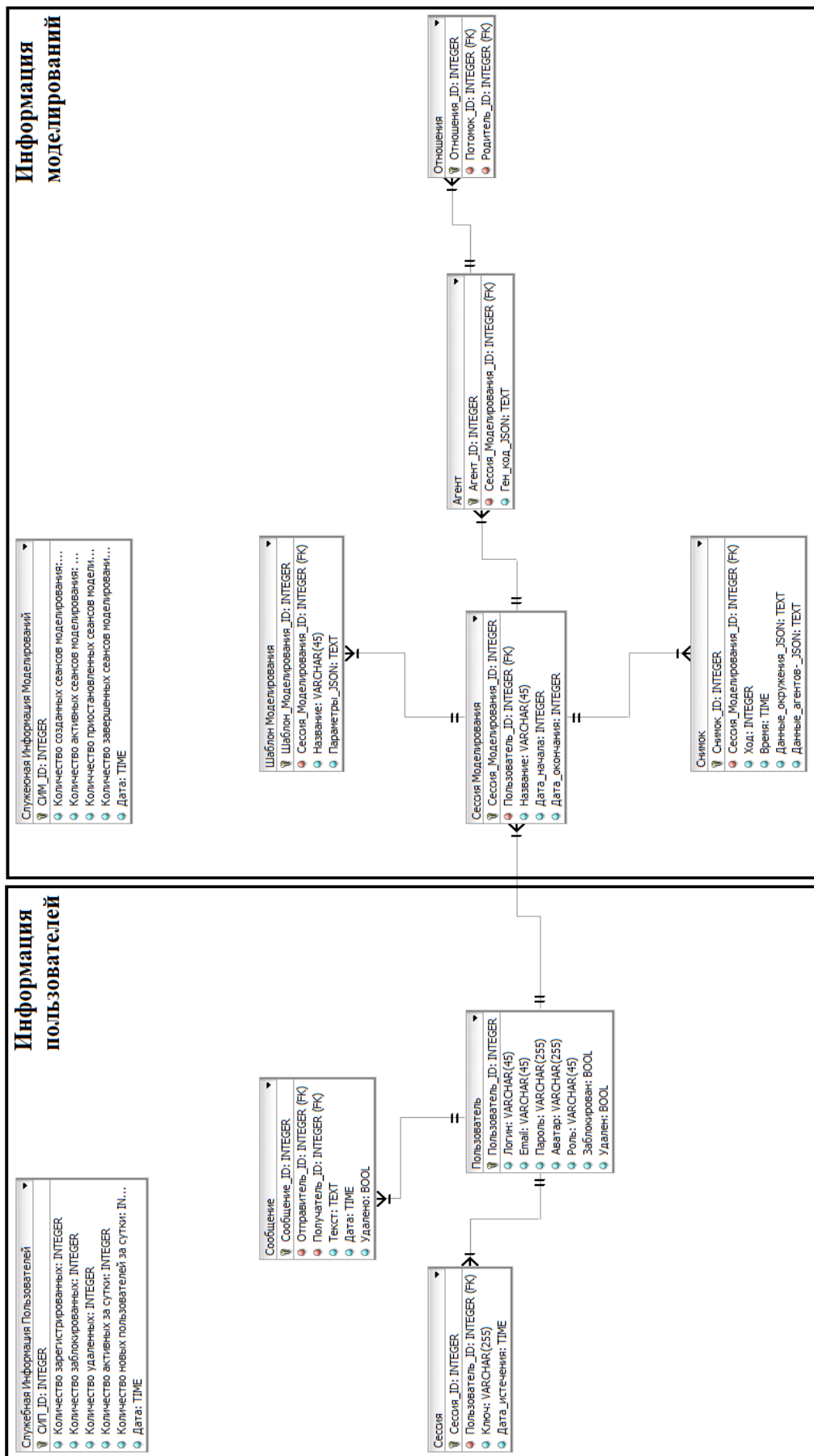


Рисунок 21 – Даталогическая модель базы данных

## 2.5 Проектирование пользовательского интерфейса

С учётом специфики системы при проектировании интерфейса были приняты следующие критерии оценки качества:

- скорость работы (количество действий при переходе);
- устойчивость к некорректным действиям пользователя;
- загруженность (количество функциональных элементов);
- удобство пользования (понятность, простота использования, требуемое время на запоминание, внешняя привлекательность).

Для удобства навигации было принято решение использовать в интерфейсе навигационную панель с корневыми экранами для сокращения времени перехода между экранами системы.

Для отображение текущего состояния пользователя и некоторых часто используемых функциональных элементов внедрена шапка сайта.

Для отображения самого экрана используется зона контента.



Рисунок 22 – Зоны пользовательского интерфейса

### **2.5.1 Построение диаграммы вариантов использования**

Для создания пользовательского интерфейса необходимо определиться с перечнем возможных вариантов того, как пользователь может взаимодействовать с системой. Построение диаграммы вариантов использования позволяет показать возможности программной системы.

Диаграмма вариантов использования (прецедентов) является концептуальным представлением программной системы в процессе её проектирования.

Данная диаграмма состоит из действующих лиц, вариантов использования и отношений между ними. При построении диаграммы могут использоваться общие элементы нотации: примечания и механизмы расширения.

Отношения бывают 4 типов:

- ассоциация;
- обобщение;
- включение;
- расширение.

На диаграмме может быть множество действующих лиц, но в данной разрабатываемой системе присутствует одно действующее лицо – пользователь системы.

На основании диаграммы вариантов использования проектируется интерфейс системы.

Основные действия, которые может совершать пользователь – это регистрация, авторизация, создание сеанса моделирования и его просмотр. Кроме основных действий, для комфортного пользования системой пользователю доступны ряд других. Варианты использования показаны на рисунке 23.



## 2.5.2 Построение графа состояний интерфейса

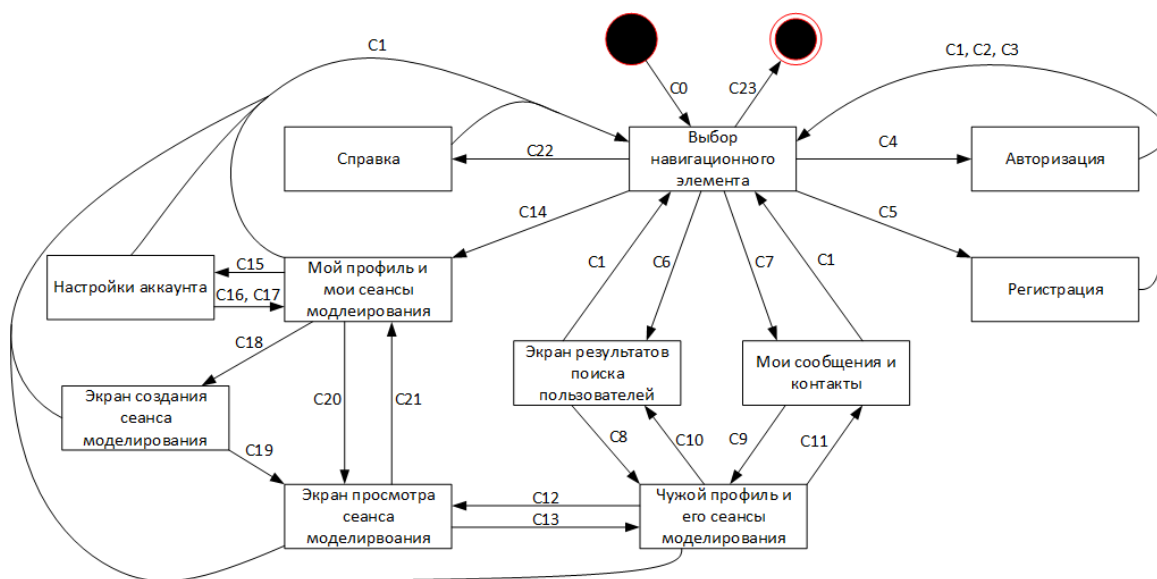


Рисунок 24 – Граф состояний интерфейса

- |   |   |
|---|---|
| C0 – вход в систему;                                  | C14 – переход к просмотру своего профиля;             |
| C1 – переход в навигационное меню;                    | C15 – переход к настройкам аккаунта;                  |
| C2 – успешная авторизация;                            | C16 – сохранения изменений и возврат в профиль;       |
| C3 – успешная регистрация;                            | C17 – отмена изменений и возврат в профиль;           |
| C4 – переход к авторизации;                           | C18 – переход к экрану создания сеанса моделирования; |
| C5 – переход к регистрации;                           | C19 – создания сеанса моделирования и просмотр;       |
| C6 – запрос на поиск;                                 | C20 – просмотр сеанса;                                |
| C7 – переход к сообщениям;                            | C21 – возврат в профиль;                              |
| C8 – выбор пользователя;                              | C22 – просмотр справочной информации;                 |
| C9 – выбор пользователя;                              | C23 – выход из системы.                               |
| C10 – возврат из чужого профиля к результатам поиска; |   |
| C11 – возврат из чужого профиля к списку контактов;   |   |
| C12 – просмотр сеанса;                                |   |
| C13 – возврат к просмотру профиля пользователя;       |   |

### **3 Разработка программной системы, методов её тестирования и сопровождения**

#### **3.1 Обеспечение изолированной среды для компонентов программной системы при помощи виртуализации**

Если приложение состоит лишь из небольшого количества крупных компонентов, вполне допустимо предоставить каждому компоненту выделенную виртуальную машину.

Когда эти компоненты начинают уменьшаться в объеме, а их количество начинает расти, становится невозможным предоставлять каждому из них свою собственную виртуальную машину.

Для решение подобных проблем используется более легкий вид виртуализации – контейнеризация.

##### **3.1.1 Контейнер как метод виртуализации**

Вместо того, чтобы использовать виртуальные машины для изоляции сред каждого микросервиса (или процесса), можно использовать контейнерные технологии Linux. Данные технологии позволяют запускать несколько сервисов на одной хост-машине, изолируя их друг от друга, подобно виртуальным машинам, но с гораздо меньшими затратами.

Контейнеризация – метод виртуализации, при котором ядро операционной системы поддерживает несколько изолированных экземпляров пространства пользователя вместо одного.

Эти экземпляры (обычно называемые контейнерами) с точки зрения пользователя полностью идентичны отдельному экземпляру операционной системы.

Ядро обеспечивает полную изолированность контейнеров, поэтому программы из разных контейнеров не могут воздействовать друг на друга.

При контейнеризации отсутствуют накладные расходы на эмуляцию виртуального оборудования и запуск экземпляра операционной системы.

Контейнеры более легкие, чем виртуальные машины.

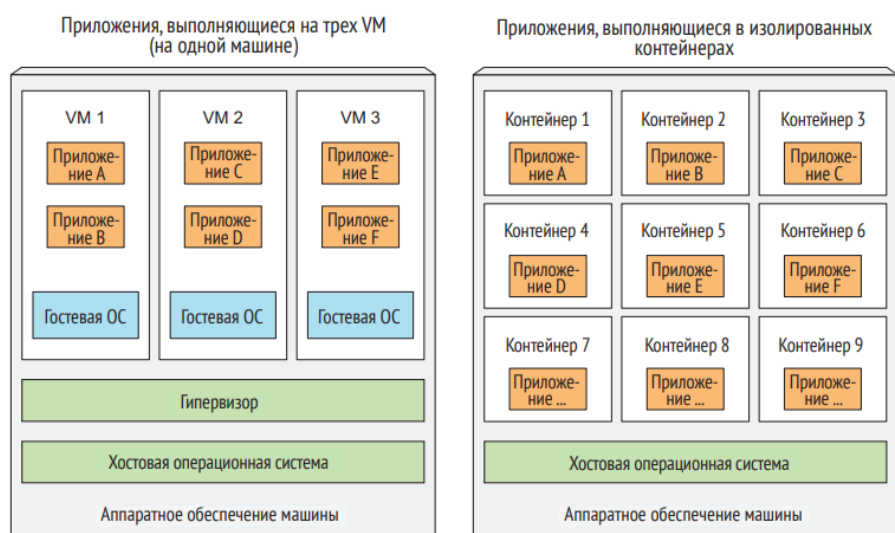


Рисунок 25 – Сравнение виртуальных машин и контейнеров

### 3.1.2 Анализ и выбор технологии контейнеризации для разрабатываемой системы

Существуют реализации, ориентированные на создание практически полноценных экземпляров операционных систем (Solaris Containers, контейнеры Virtuozzo, OpenVZ), так и варианты с минимальным операционным окружением (jail, Docker).

Механизм	Операционная система	Лицензия	Дата выпуска	Особенности						
				Изоляция файловой системы	Квоты на пространство хранения	Лимиты на ввод-вывод	Лимиты на память	Квоты ЦПУ	Изоляция сети	Живая миграция
chroot	встроено в большинство Unix-подобных операционных систем	в зависимости от лицензии на операционную систему	1982	Частично	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
Docker	Linux, FreeBSD, Windows, macOS	Apache 2.0	2013	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Solaris Containers	Solaris, OpenSolaris	CDDL	01/2005	Да	Да	Нет	Да	Да	Да <sup>[1]</sup>	Нет <sup>[2]</sup>
FreeVPS	Linux	GNU GPL	-	Да	Да	Нет	Да	Да	Да	Нет
iCore Virtual Accounts	Windows XP	Проприетарное	06/2008	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
Linux-VServer <sup>[en]</sup>	Linux	GNU GPL v.2	-	Да	Да	Да	Да	Да	Да <sup>[3]</sup>	Нет
LXC	Linux	GNU GPL v.2	2008	Да	Нет	Да	Да	Да	Да	Нет
OpenVZ	Linux	GNU GPL v.2	-	Да	Да	Да <sup>[4]</sup>	Да	Да	Да <sup>[5]</sup>	Да
Virtuozzo Containers	Linux, Microsoft Windows	Проприетарное	-	Да	Да	Да <sup>[6]</sup>	Да	Да	Да <sup>[5]</sup>	Да
FreeBSD Jail	FreeBSD	BSD	03/2000	Да	Да	Нет	Да	Частично	Да	Нет
sysjail <sup>[en]</sup>	OpenBSD, NetBSD	BSD	-	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да	Нет
WPAR <sup>[en]</sup>	AIX	Проприетарное	10/2007	Да	Да	Да	Да	Да	Да <sup>[7]</sup>	Да <sup>[8]</sup>

Рисунок 26 – Технологии контейнеризации

На рисунке 26 можно увидеть, что существует большое количество реализаций технологии контейнеризации с различными особенностями, однако самая популярная на данный момент – это Docker.

### 3.1.3 Docker

Docker является контейнерной системой, позволяющей легко создавать и переносить контейнеры на разные машины.

При выполнении приложения, упакованного с помощью Docker, оно видит точное содержимое файловой системы, поставляемое вместе с ним, даже если на рабочем сервере запущена другая ОС Linux.

Процесс создания образа и запуска контейнера проиллюстрирован на рисунке ниже.

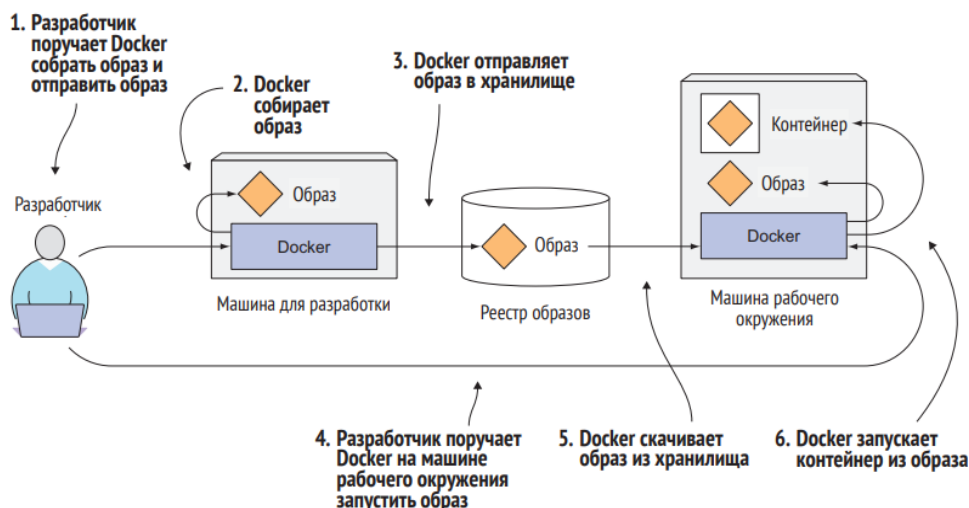


Рисунок 27 – Процесс создания докер-образа и запуска контейнера на рабочем узле программной системы

## 3.2 Проектирование инфраструктуры для разрабатываемой системы

По мере роста программной системы ею становится все сложнее управлять из-за количества разнородных разворачиваемых компонентов.

Построение инфраструктуры – это добавление в систему компонентов, которые не обеспечивают никакой функционал для пользователя. Инфраструктурные компоненты обеспечивают логирование, упрощение



настройки системы, мониторинг компонентов системы, её масштабируемость и отказоустойчивость.

С ростом системы и количества её компонентов применение инфраструктурных компонентов становится все более выгодным и полезным.

### 3.2.1 Система оркестровки контейнерами Kubernetes

Kubernetes – это программная система, которая позволяет легко развертывать контейнеризированные приложения и управлять ими.

Kubernetes позволяет выполнять программные приложения на тысячах компьютерных узлов, как если бы все эти узлы были одним огромным компьютером. Она абстрагируется от базовой инфраструктуры и тем самым упрощает разработку, развертывание и управление как для разработчиков, так и для системных администраторов [12].

Процедура развертывания приложений через Kubernetes не меняется от количества узлов в кластере. Размер кластера в данном случае не играет роли. Дополнительные узлы - это дополнительные ресурсы для кластера Kubernetes.

Простейший вид системы Kubernetes представлен на рисунке 28. Система состоит из ведущего узла (мастера) и любого количества рабочих узлов. Когда происходит отправка списка приложений ведущему узлу, Kubernetes развертывает их в кластере [12]. Не имеет значения на каком именно компоненте разворачивается каждое из приложений.

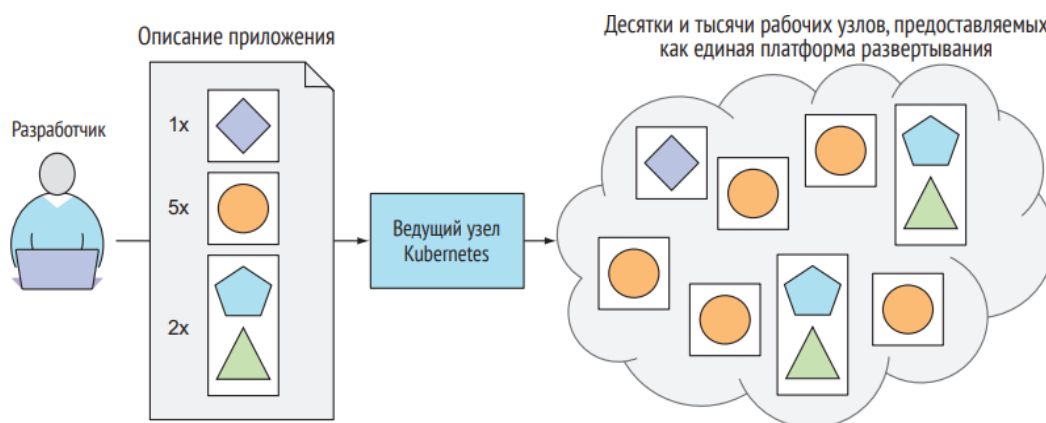


Рисунок 28 – Общий вид системы Kubernetes

### 3.2.2 Архитектура кластера Kubernetes

На аппаратном уровне кластер состоит из узлов двух типов:

- ведущий узел (Плоскость управления), который управляет кластером;
- рабочие узлы, на которых выполняются приложения.

Плоскость управления – это то, что управляет кластером и заставляет его функционировать.

Рабочие узлы – это физические машины, на которых запускаются контейнеры.

Для запуска приложения в Kubernetes необходимо упаковать его в образ контейнера, отослать его в хранилище образов, после чего опубликовать описание приложения на сервере API Kubernetes.

Описание содержит такие сведения, как образ или образы контейнеров, содержащие компоненты приложения, как эти компоненты связаны друг с другом и какие из них должны выполняться совместно, а какие нет.

### 3.2.3 Процесс развертывания компонентов программной системы в Kubernetes

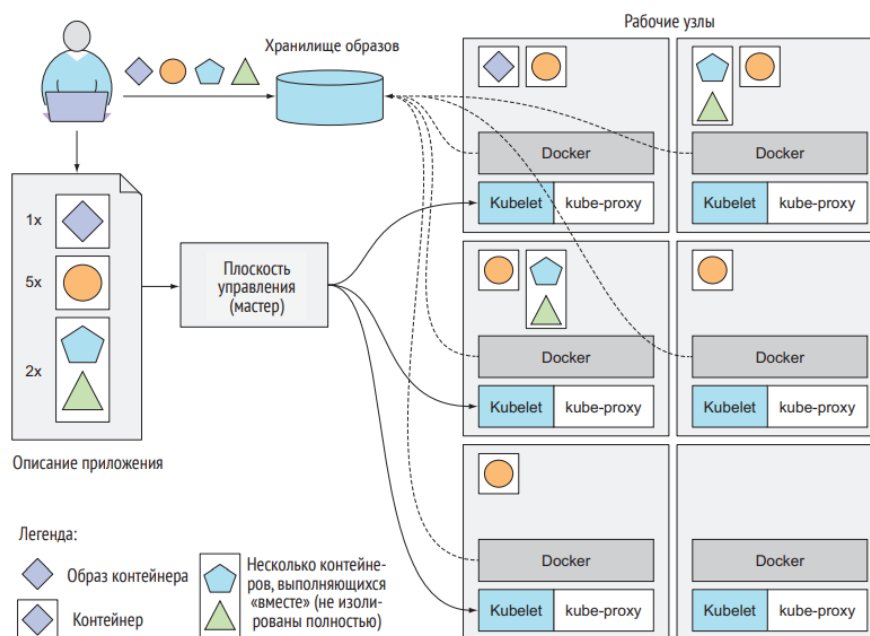


Рисунок 29 – Процесс развертывания приложения в Kubernetes

Планировщик назначает указанные группы контейнеров доступным рабочим узлам, исходя из количества необходимых и доступных ресурсов. Агент

Kubelet на этих узлах затем поручает Docker извлечь из хранилища требуемые образы контейнеров и запустить контейнеры [12].

После отправки дескриптора в Kubernetes он планирует использование указанного количества реплик каждого модуля на доступных рабочих узлах [12]. Затем агенты Kubelet на узлах поручают Docker извлечь образы контейнеров из реестра образов и запустить контейнеры.

Положительные стороны использования Kubernetes:

- 1) упрощенное развертывание приложений;
- 2) повышение эффективности задействования оборудования;
- 3) проверка здоровья и самолечение;
- 4) автоматическое масштабирование;
- 5) упрощение разработки приложений.

#### **3.2.4 Реализация программной системы в кластере Kubernetes**

Для построения инфраструктуры для проектируемой программной системы в кластере Kubernetes потребуются перечень инструментов Kubernetes, представленный в таблице 4.

*Таблица 4 – Используемые средства Kubernetes*

<b>Название средства Kubernetes</b>	<b>Тип</b>	<b>Выполняемая функция</b>
Deployment	Контроллер развертывания	Развертывание экземпляров одного из компонентов программной системы
Service	Сервис	Обеспечение доступа между компонентами программной системы и из вне
Vault	Хранилище	Создание временных и постоянных хранилищ данных
Secret	Чувствительная информация	Хранения паролей и секретной информации для обеспечения контроля доступа

Архитектура программной системы в рамках кластера Kubernetes представлена на рисунке 30.

# Кластер Kubernetes

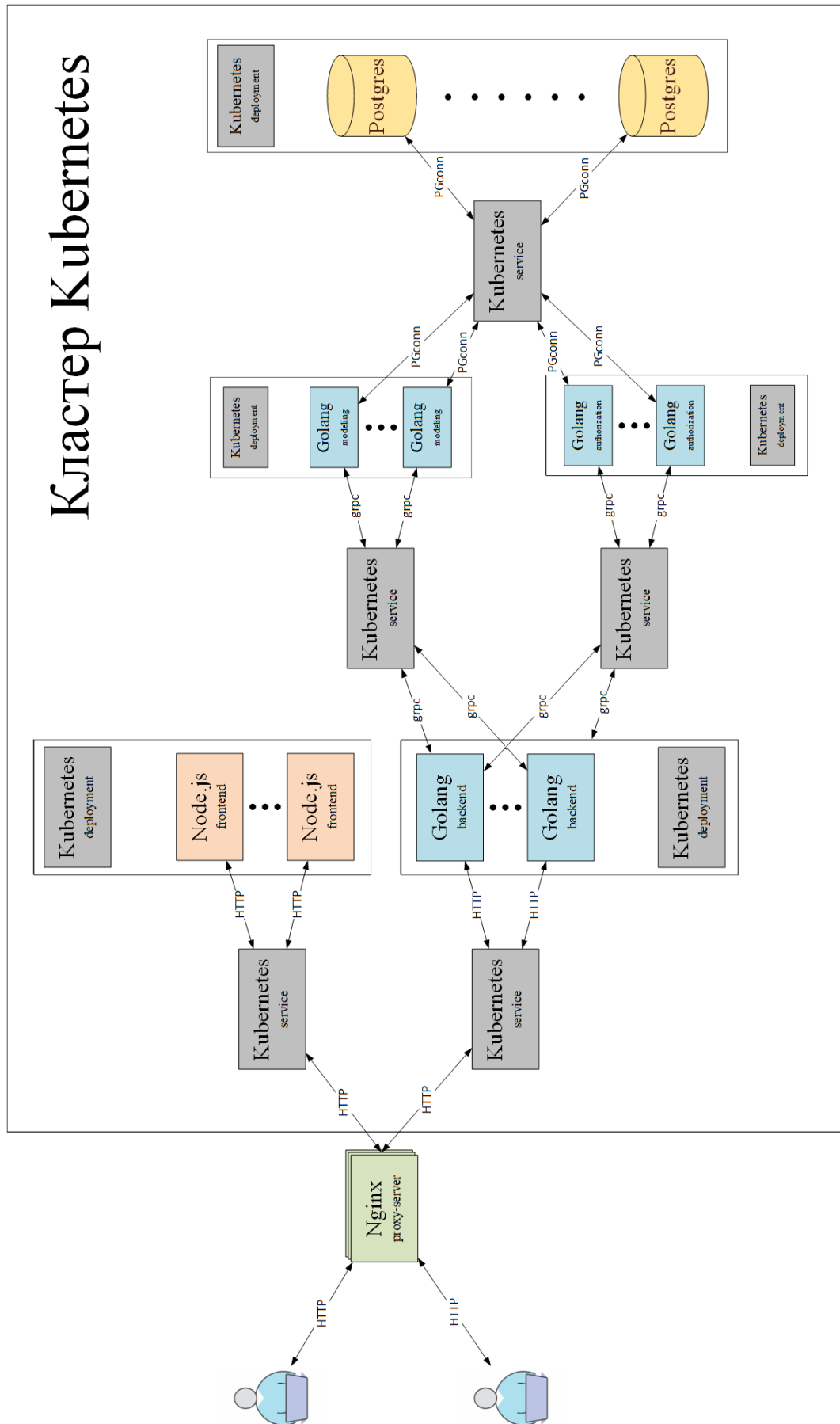


Рисунок 30 – Архитектура программной системы в Kubernetes

Такие средства Kubernetes, как vault и secret создаются и настраиваются посредством конфигурации соответствующих опций в ресурсах deployment.

Ресурсы deployment позволяют в автоматическом режиме разворачивать экземпляры программных компонентов и увеличивать/уменьшать их количество в зависимости от текущей нагрузки.

Ресурсы типа service самостоятельно отслеживают запуск новых экземпляров программных компонентов и обеспечивают равномерное распределение нагрузки.

Kubernetes использует декларативный подход. Это значит, что администратору достаточно только описать желаемое состояние кластера, а дальше сама система уже сделает все необходимое, чтобы прийти к заданному состоянию.

### 3.2.5 Построение схемы размещения программных компонентов

Схема размещения позволяет показать на каких физических объекты располагаются компоненты системы. В соответствии с разворачиванием части программных компонентов в кластере Kubernetes диаграмма размещения представлена на рисунке 31.

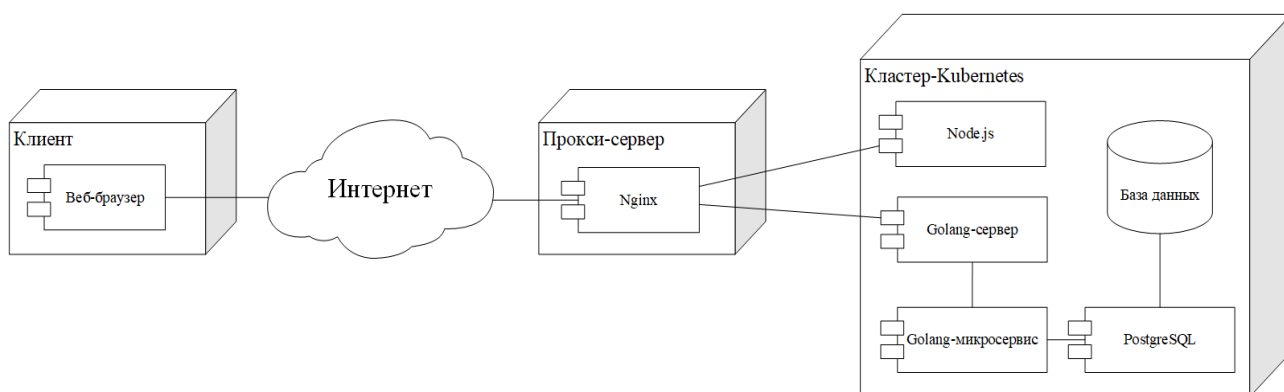


Рисунок 31 – Диаграмма размещения программных компонентов

Из схемы размещения видно, что основные программные компоненты системы располагаются в кластере Kubernetes, словно они находятся на одной физической машине.

### 3.3 Разработка генетического алгоритма

В классическом представлении генетический алгоритм состоит из 4 этапов, через которые проходит каждое поколение агентов (рис. 32) [9].

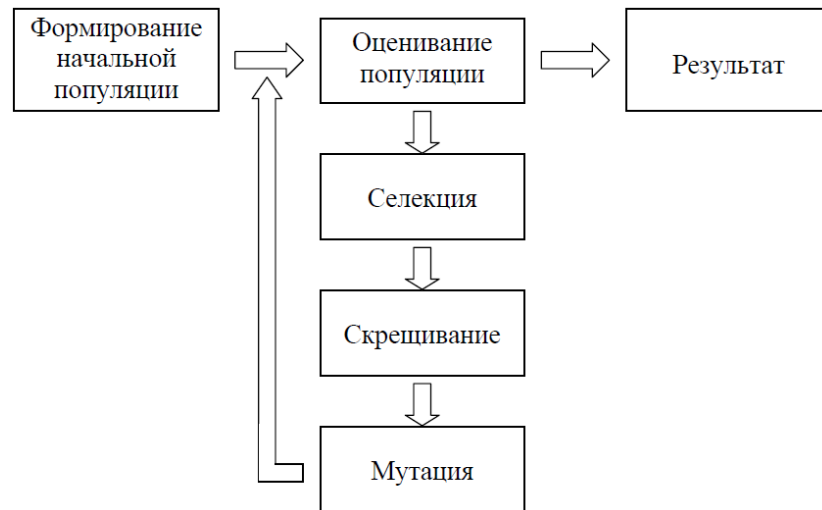


Рисунок 32 - 4 этапа работы генетического алгоритма

**Формирование начальной популяции.** Данный этап служит для ввода в систему первую группу агентов.

**Оценка популяции** осуществляется по некоторым критериям и необходима для дальнейшего отбора агентов.

**Селекция** представляет из себя удаление из системы тех агентов, которые после оценки были признаны негодными.

На этапе скрещивания происходит рекомбинация геномов агентов и генерация новых.

На этапе мутации новое сформировавшееся поколение агентов подвергается мутации, в результате чего их генетический код претерпевает изменение.

На этапе результата может проводиться анализ и оценка как всего процесса работы генетического алгоритма (начиная с начальной популяции), так и конечных результатов.

Таблица 5 – Этапы работы генетического алгоритма.

Этапы	Формальное представление	Реализация в разрабатываемой системе
Оценка	Оценка особей по заранее определенным критериям. Составление рейтинга агентов по уровню приспособленности или оптимальности решения	Т.к. моделируемая система должна подражать эволюционным процессам, то оценка агента будет проводиться по выживаемости агента, а критерием будет являться уровень энергии, накопленный агентом
Селекция	Отбор особей после оценки. Наиболее эффективные особи остаются для формирования следующего поколения агентов, а менее эффективные отсеиваются	Селекция реализуется в неявном виде при конкуренции агентов за доступные ресурсы
Скрещивание	Перекомбинация генов агентов и формирования нового поколения	Может быть реализовано как простое деление или скрещивание двух особей, находящихся в непосредственной близости
Мутация	Случайное модификация одного из генов агента при его создании	Случайная модификация одного из генов агента при его создании

Для разработки генетического алгоритма при моделировании искусственной жизни необходимо выделить соответствия между формальными определениями и конкретной желаемой реализацией в разрабатываемой системе моделирования (таблица 5).

Для спроектированной модели агента используется простой генетический алгоритм. Работа генетического алгоритма заключается в случайном изменении числа в ячейке кода-генома на случайное значение. При это вероятность мутации в ячейке может быть определена как один из параметров моделирования.

Мутация в одном из генов агента совершается в момент создания агента другим агентом, не зависимо от того, было ли это деление или селекция.

Сам агент появляется в случайной смежной ячейке от реплицирующего его агента.

Процент начальной энергии агента зависит от процента переданной ему энергии родительским агентом. Процент передаваемой энергии к дочернему агенту определяется параметрами моделирования.

### 3.3.1 Реализация модели агента

Модель агента реализуется структурой с набором методов и параметров агента. Совокупность параметров агента определяют его текущее состояние. Параметры агента разделяются на два типа:

- внутренние (уровень энергии, геном, значение УТК и др.);
- внешние (окружающее пространство со всей совокупностью инородных объектов, возможностей по перемещению, других агентов и т.д.)

Внутренние параметры представляются как значение переменных структуры агента, а внешние параметры доступны агенту для считывания и анализа посредством выполнения им соответствующих команд (пример на рисунке 33).

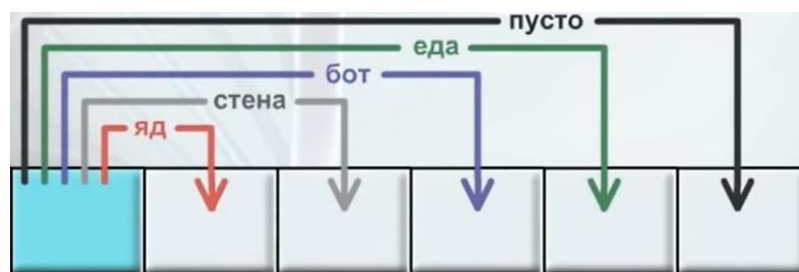


Рисунок 33 – Команда и параметры окружения

Важным аспектом для разрабатываемой системы является то, что она должна представлять возможность гибко настраивать процесс моделирования, а не предоставлять некий ограниченный набор вариантов моделирования, твёрдо заложенный разработчиком в виде программного кода.

Для обеспечения гибкости настройки не только сеанса моделирования, но и самой структуры агента, используются интерфейсы. В зависимости от



значений параметров, которые выставил пользователь, реализуется интерфейс агента, а также по-разному реализуются отдельные его компоненты (рисунок 34).

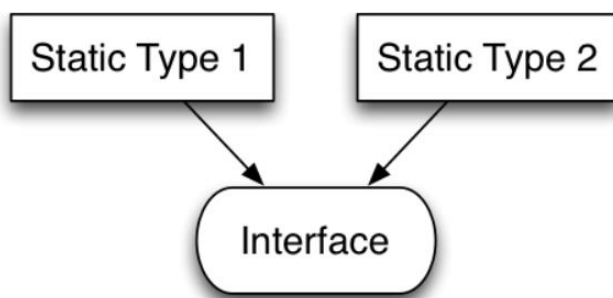


Рисунок 34 – Реализация интерфейса

Данное решение позволяет уйти от конкретной реализации и менять ее на ту, которая подходит для текущих настроек моделирования.

Восприятие пространства агентом может быть реализовано двумя различными способами, как направленное, так и ненаправленное.

В случае направленного, передвижение агента будет зависеть от его ориентации в пространстве, в случае ненаправленного – от команд (рис. 35).

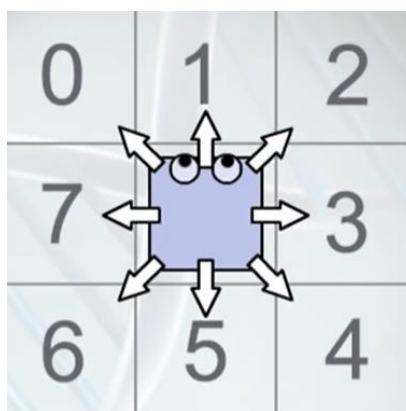


Рисунок 35 – Ненаправленное восприятие пространства агентом

### 3.3.2 Реализация кода-генома и обработки команд агента

Код-геном реализуется классической структурой данных «массив», где в качестве каждого элемента массива представлен код одной из команд.

Обработка команд агента представляет собой проход по элементам массива, где каждый код команды сопоставляется с набором возможным команд. Сопоставление кода в ячейке генома с набором исполняемых функций происходит посредством оператора switch-case.

### 3.3.3 Реализация пространства моделирования

В зависимости от настроек сеанса пространство моделирования может быть представлено плоским прямоугольным полем, гексагональным полем, или какой-либо другой плоской сеткой, которая может быть представлена ненаправленным графом (пример на рисунке 36).

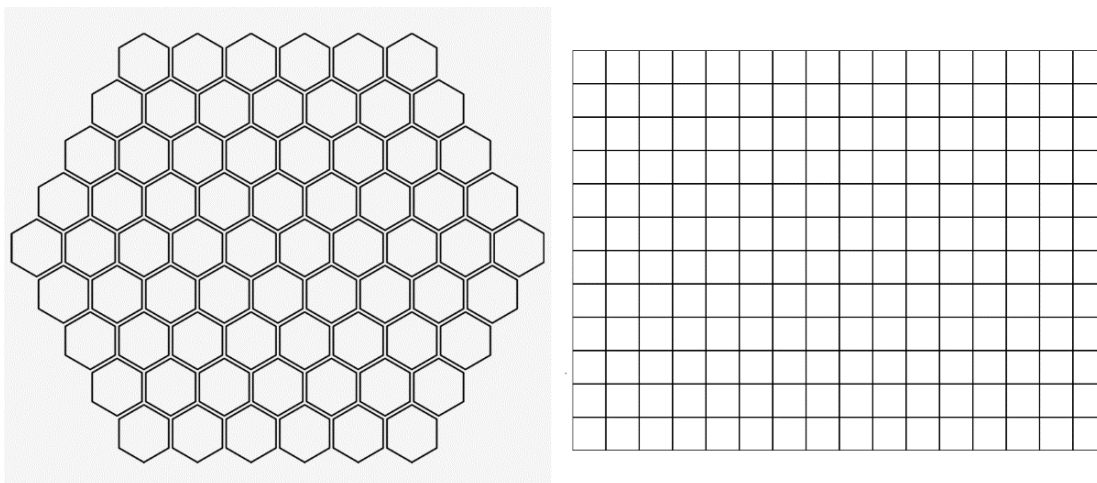


Рисунок 36 – Примеры полей для проведения моделирований

Размер и форма поля настраивается в момент создания нового сеанса моделирования.

### 3.3.4 Реализация сеанса моделирования

Сеанс моделирования реализуется отдельным асинхронным процессом. При запросе пользователя на актуальную информацию по процессу моделирования backed-server Golang обращается за актуальной информацией к асинхронному процессу, после чего полученные данные отправляет клиенту.

Аналогично происходит изменение параметров моделирования, остановка и возобновление симуляции.

Отправка данных в БД осуществляется самим асинхронным процессом без участия основного backend сервера Golang.

## 3.4 Создание хранилища данных

Для хранения данных используется реляционная БД PostgreSQL. Модель базы данных представляет из себя совокупность из 10 таблиц (рис. 21)

На схеме базы данных таблицы можно разделить на две совокупности. Пользовательская информация – таблицы, которые содержат данные о пользователях и их сессиях. Информация моделирований – таблицы, которые содержат информацию о сеансах моделирования. Также присутствуют служебные таблицы для хранения статистики.

*Таблица 6 – Назначения таблиц базы данных*

<b>Название таблицы</b>	<b>Тип</b>	<b>Назначение</b>
Пользователь	Обычный	Хранение пользователей и их данных
Сессия	Обычный	Хранение сессий пользователей
Сообщение	Обычный	Хранения переписки пользователей
Сессия моделирования	Обычный	Связующая информация для сессий моделирования
Шаблон моделирования	Обычный	Хранения шаблонов для настройки сеансов моделирования
Снимок	Обычный	Хранение информации о моделировании в момент времени
Агент	Обычный	Хранение информации об агента
Отношения	Обычный	Хранение информации о родственных связях между агентами
Служебная информация пользователей	Служебный	Хранение служебной информации о пользователях
Служебная информация моделирований	Служебный	Хранение служебной информации о сеансах моделирования

Реализация спроектированной базы данных в СУБД PostgreSQL представлена на рисунке 37.

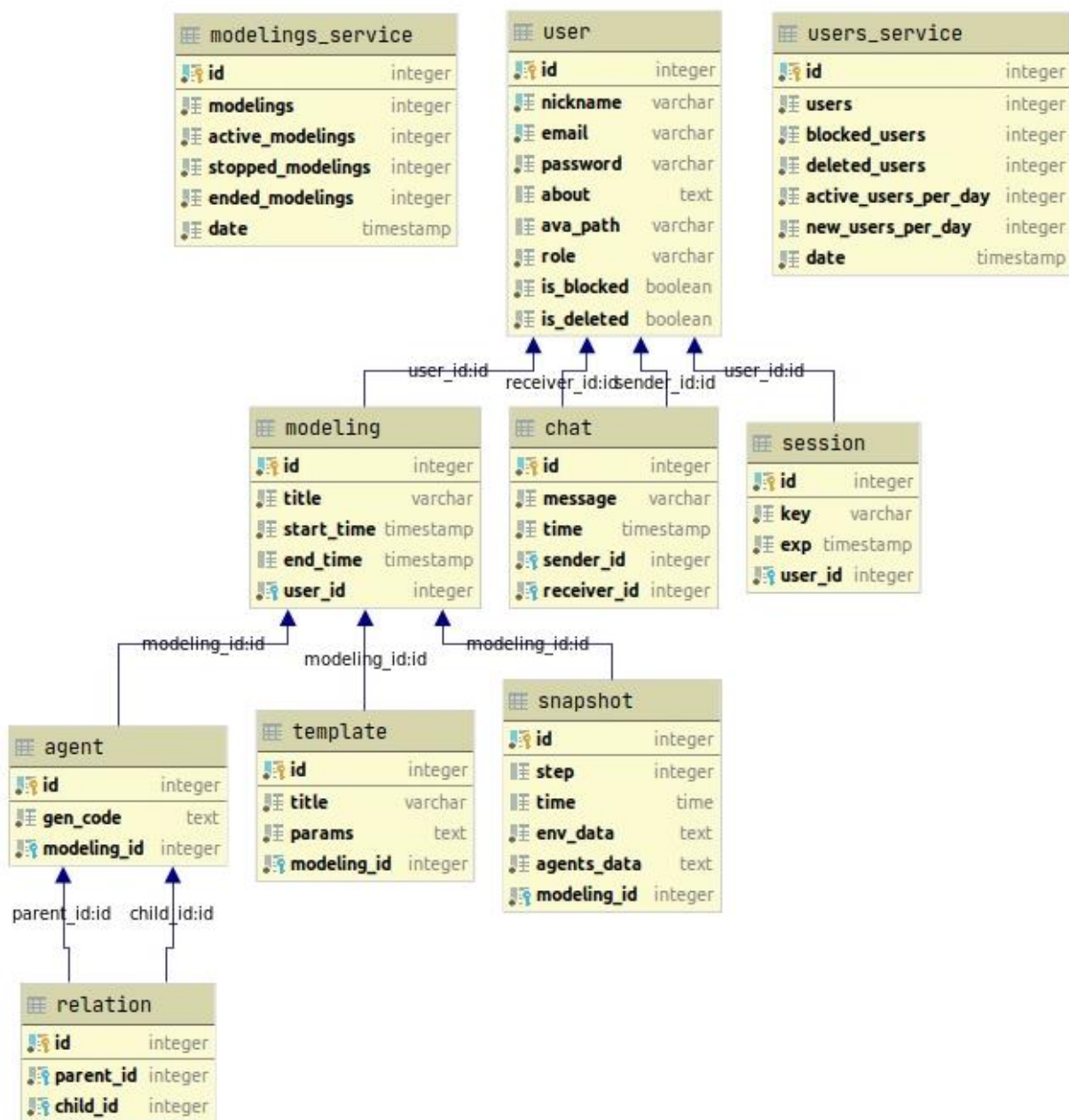


Рисунок 37 – Схема базы данных в PostgreSQL

### 3.5 Разработка технологии тестирования

Для проверки корректности работы, повышения качества и упрощения процесса поддержания программной системы необходимо выбрать необходимые типы тестирования и реализовать их.

Тестирование можно разделить на два типа: автоматизированное (машина прогоняет тесты, заранее написанные человеком) и ручное (человек сам проверяет насколько правильно и качественно работает ПО).

### 3.5.1 Функциональное тестирование

Функциональное тестирование является автоматизированным и проверяет приложение или его компоненты на корректность работы посредством сравнения полученного и ожидаемого результата.

Данный тип тестирования представляет собой набор тестов, написанный разработчиком, который запускается вместе с приложением и проверяют его функциональность посредством сравнения ожидаемого результата и отклика тестируемого приложения [15]. Результатом тестирования является сводная таблица с тестами, где указывается, какие тесты были пройдены или не пройдены (пример таблица 7). На основании полученных данных происходит поиск и устранение ошибок.

*Таблица 7 – Пример фрагмента таблицы функционального тестирования*

Тестируемый функционал	Входные данные	Ожидаемый результат	Результат	Оценка
Регистрация	(корректные)	Успешная регистрация	Успешная регистрация	ОК
Авторизация	(некорректные)	Неуспешная авторизация	Успешная авторизация	ПРОВАЛ
Создание сеанса моделирования	(корректные)	Создан сеанс моделирования	Создан сеанс моделирования	ОК
Отправка сообщения	(корректные)	Сообщения отправлено	Сообщение не было отправлено	ПРОВАЛ

### 3.5.2 Модульное тестирование

Модульное тестирование, как и функциональное тестирование, относится к автоматизированному виду тестирования, но является более низкоуровневым.

Модульное тестирование направлено на отдельные подпрограммы, объекты, функции для проверки их работы [15]. Для проведения модульного тестирования не требуется запуск всего приложения. В случае функционального подхода тестироваться будут отдельные функции, при этом тестирование

является восходящим, т.е. тестируются сперва самые низкоуровневые функции, а далее функции, которые их вызывают.

Модульное тестирование позволяет провести тестирование низкоуровневых компонентов, которые сложно протестировать в рамках функционального.

Пример фрагмента таблицы модульного тестирования:

*Таблица 8 – Пример фрагмента таблицы модульного тестирования*

<b>Тестируемая функция</b>	<b>Входные данные</b>	<b>Ожидаемый результат</b>	<b>Результат</b>	<b>Оценка</b>
getSessions	(корректные)	Получен список сессий	Получен список сессий	ОК
checkCSRF	(некорректные)	Некорректность CSRF	Корректный CSRF	ПРОВАЛ
createUser	(корректные)	Создан новый Пользователь	Создан новый Пользователь	ОК
sendMessage	(корректные)	Сообщения отправлено	Сообщение не отправлено	ПРОВАЛ

Один из плюсов модульного тестирования – это возможность тестирования компонентов программного обеспечения системы ещё до того, как будет реализован функционал, который использует тестируемые компоненты.

Раннее модульное тестирование позволяет выявить ошибки работы программного обеспечения на раннем этапе, что приводит к ускорению разработки и повышению качества кода.

### **3.5.3 UX тестирование**

UX (user experience) тестирование – это один из неавтоматизированных видов тестирования, который позволяет проверить приложение на степень удобства пользования, правильность логики его работы, привлекательность и прочие субъективные параметры, которые нельзя протестировать в рамках обычного тестирования кодом.

Результатом UX тестирования является перечень замечаний и рекомендаций от респондентов (людей, которые непосредственно взаимодействуют с системой в рамках тестирования).

Большое значение в данном виде тестирования имеет не только сам процесс тестирования, но и подбор респондента. Респондент должен соответствовать следующим критериям:

- не должен быть разработчиком или быть косвенным участником процесса разработки;
- респондент не должен быть ранее знаком с интерфейсом системы (если респондент играет роль нового пользователя);
- респондент должен относиться к одной из целевых аудиторий, на которую нацелен программный продукт;
- навыки и знания респондента должны соответствовать минимальному уровню, который ожидается от потенциального пользователя системы.

Соблюдение перечисленных критериев обеспечивает чистоту тестирования и позволяет выявить проблемы, которые действительно возникли бы у пользователя, который воспользуется функционалом программной системы.

Процесс UX тестирования выглядит как последовательное выполнение респондентом заданий из заранее определенного списка. Типичные формулировки задания могут выглядеть следующим образом: «зарегистрироваться», «выйти и авторизоваться», «найти любого пользователя и отправить ему сообщение», «изменить пароль в настройках профиля», «перейти на экран справочного меню» и т.д.

После выполнения каждого задания респондент отвечает на вопросы о сложности задания, очевидности использования необходимых функциональных элементов, степени удобства. Также респондент может выразить свое собственное мнение и предложения по улучшению интерфейса системы.

Таблица 9 – Пример Фрагмента таблицы для UX тестирования

<b>Задание</b>	<b>Результат</b>	<b>Оценка респондента</b>	<b>Комментарий от респондента</b>
Зарегистрироваться	100% выполнение	Изначально не известны требования к паролю	Можно описать требования к паролю рядом с полем
Зайти в настройки профиля	100% выполнение	ОК	ОК
Найти другого пользователя и отправить ему сообщение	50%	Возникли проблемы с нахождением пользователя	Надо добавить больше возможностей по нахождению пользователя, помимо строки поиска в шапке
Создание сеанса моделирования	100%	ОК	Отсутствуют «настройки по умолчанию»



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с техническим заданием была разработана программная система моделирования искусственной жизни с использованием цифровых автоматов в качестве выпускной квалификационной работы.

Разработанная система представляет из себя веб-приложение, доступное широкому кругу пользователей в глобальной сети Интернет. Веб-приложение позволяет моделировать самоорганизующиеся системы наподобие реальных биологических.

При разработке системы были предусмотрена возможность расширения системы, вследствие чего вся система была спроектирована как совокупность небольших модулей, а горизонтальные связи между однородными компонентами сведены к минимуму.

Для упрощения интеграции текущих и последующих модулей системы для обмена данными между компонентами системы использовались стандартные сетевые протоколы HTTP, TCP и UDP.

Для упрощения администрирования системы и повышения отказоустойчивости была использована система оркестровки контейнерами Kubernetes совместно с технологией контейнеризации Docker.

Разработанная система имеет дальнейшие перспективы для развития и модификации. На полезности системы сильно отразится добавление новых типов моделирования, социального взаимодействия между пользователями системы, возможность импорта данных моделирования в человеко-читальные форматы (XML, YAML), улучшения графической и звуковой части сеанса моделирования (дополнительные фильтры, плавное перемещение агентов, звуки оповещения, 3D модели).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / Под ред. В. М. Курейчика. — 2-е изд., исправл. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 368 с.
2. Гуренко В.В. Введение в теорию автоматов [Электронный ресурс] : электронное учебное издание: учебное пособие по дисциплинам "Теория автоматов", "Прикладная теория цифровых автоматов" / В. В. Гуренко ; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана, Фак. "Информатика и системы управления", Каф. "Компьютерные системы и сети". - Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 62 с.
3. Скобцов Ю. А. Основы эволюционных вычислений: учебное пособие / Ю. А. Скобцов ; М-во образования и науки Украины, Донецкий нац. технический ун-т. - Донецк : ДонНТУ, 2008. - 326 с
4. Введение в ГА и Генетическое Программирование [Электронный ресурс] // Алголист: алгоритмы и методы вычислений. URL: <http://www.algolist.ru> (дата обращения 20.10.2019)
5. Атлас простейших клеточных автоматов Стивена Вольфрама [Электронный ресурс] // Атлас Вольфрама. URL: <<http://atlas.wolfram.com>>
6. Голубин А.В. Определение параметров генетического алгоритма для оптимизации многопараметрических функций // Прогрессивные технологии, конструкции и системы в приборо- и машиностроении. / Сб. статей. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - С. 65-67.
7. Простейшие клеточные автоматы и их применение [Электронный ресурс] // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/273393/> (дата обращения 11.11.2019)
8. Эволюционирующие клеточные автоматы [Электронный ресурс] // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/455958/> (дата обращения 28.09.2019)
9. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 432 с.

10. Штуца И.М. Модели и алгоритмы принятия решений на основе генетического поиска // Штуца И.М.; – Москва, 2008. - №1. – 19 с.
11. Клеппман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка. — СПб.: Питер, 2018. — 640 с.
12. Марко Лукша. Kubernetes в действии / пер. с англ. А. В. Логунов. — М.: ДМК Пресс, 2019. — 672 с.
13. Сайфан Джиджи. Осваиваем Kubernetes. Оркестрация контейнерных архитектур. — СПб.: Питер, 2019. — 400 с.
14. Модели жизненного цикла программного обеспечения [Электронный ресурс] // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/111674/> (дата обращения 21.02.2020).
15. Иванова Г.С. Технология программирования. М. : Изд-во КНОРУС, 2011.

# **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

## **Техническое задание**

Листов 10

# **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

(обязательное)

## **Руководство пользователя**

Листов ??

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

(рекомендуемое)

### **Фрагменты исходного кода системы**

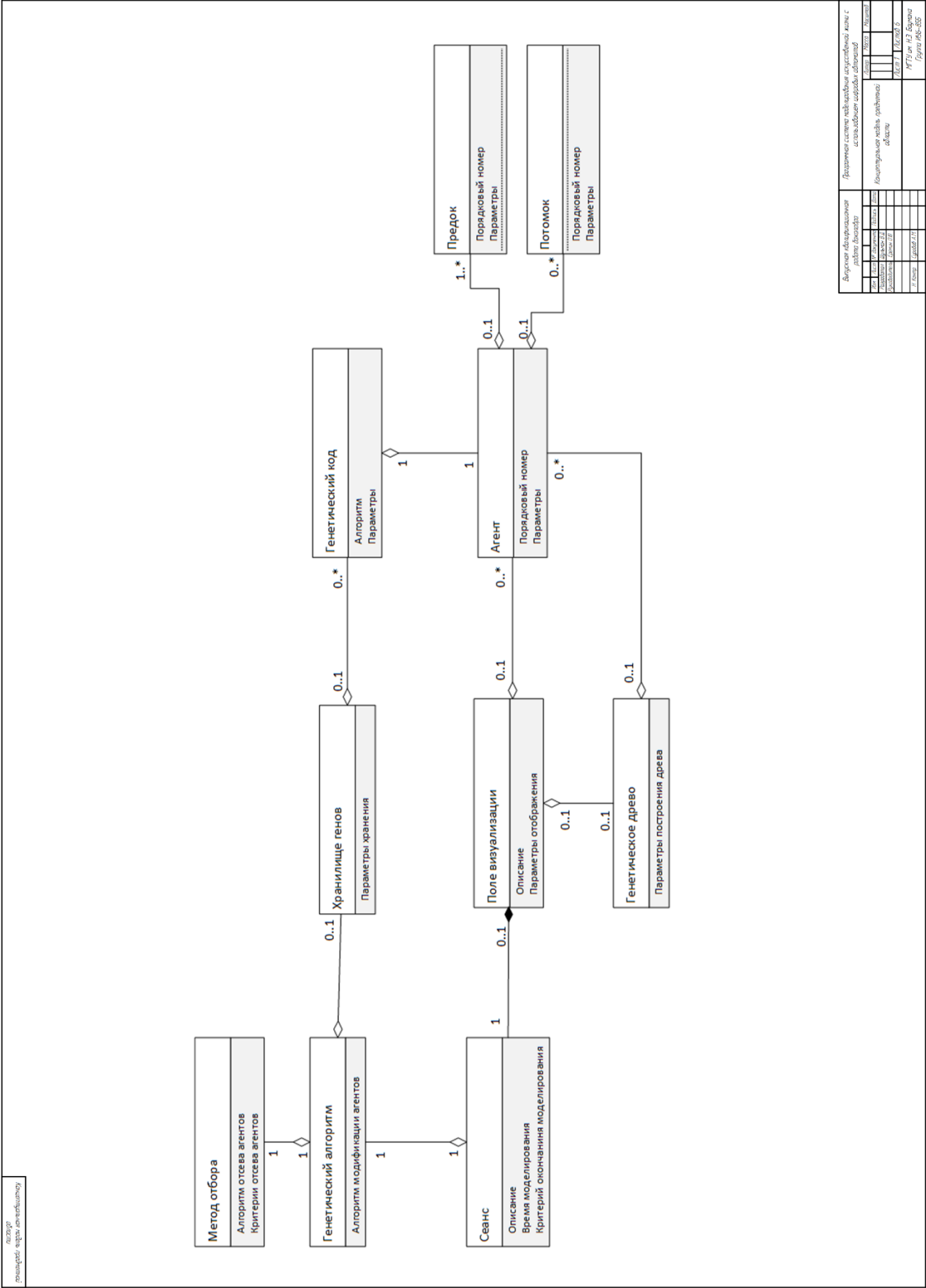
Листов ??

# **ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

(обязательное)

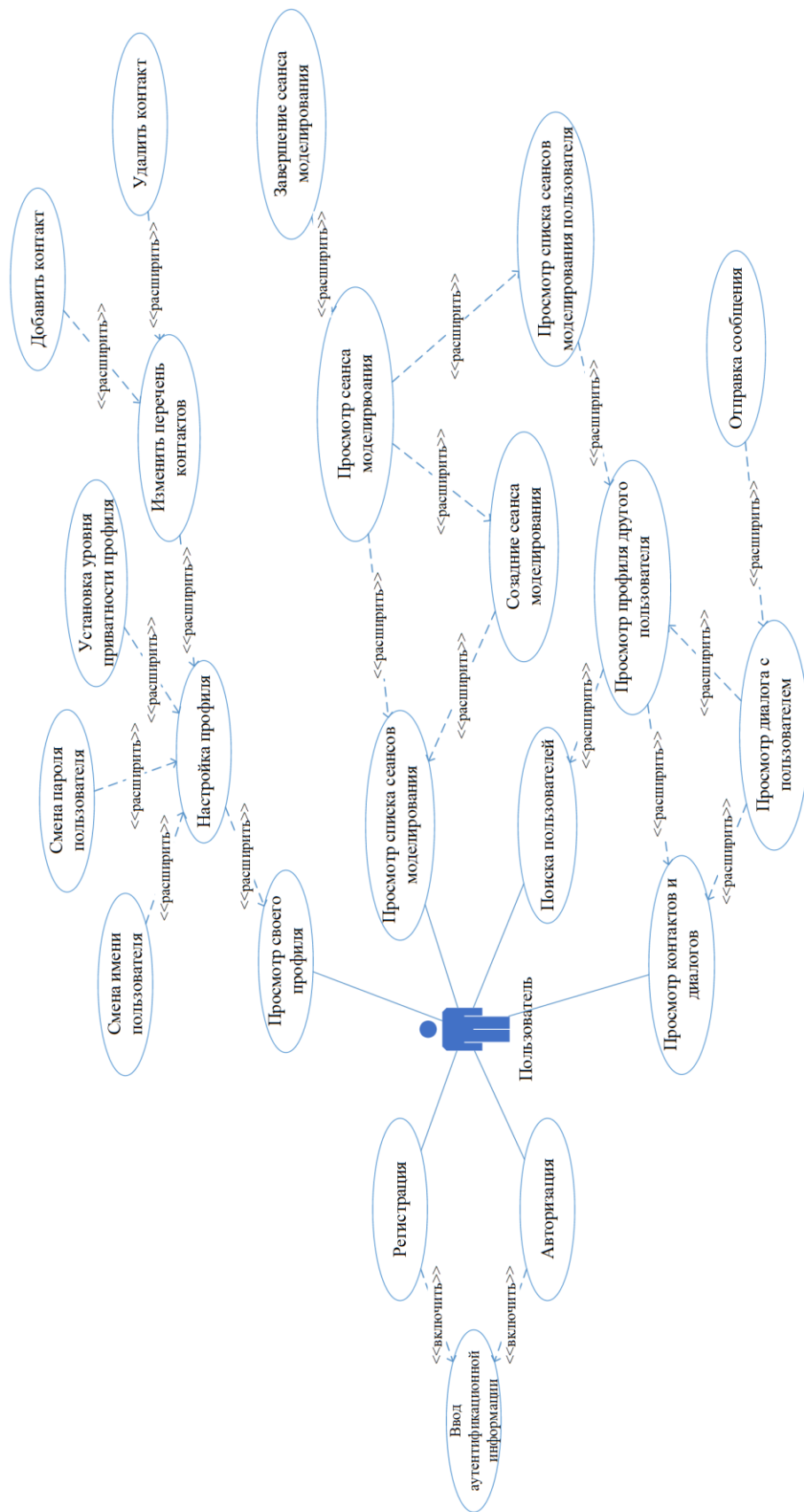
**Копии листов графической части**

Листов 6

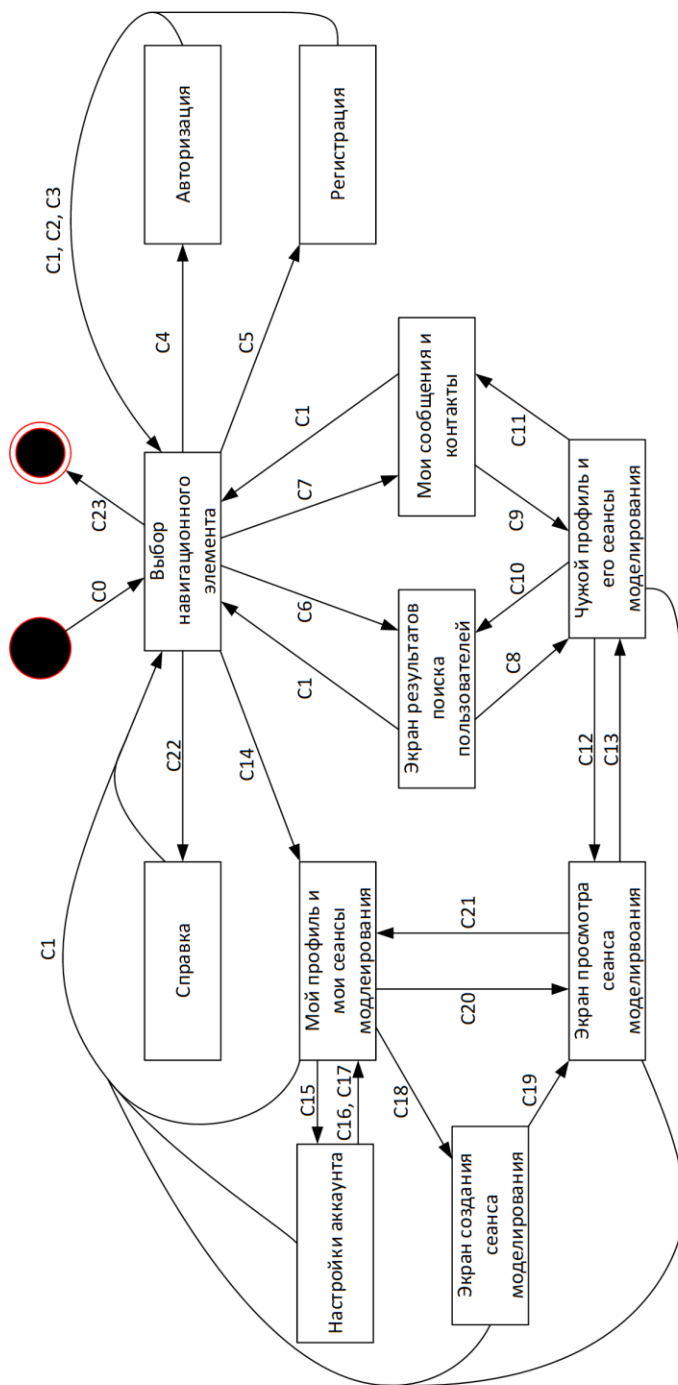






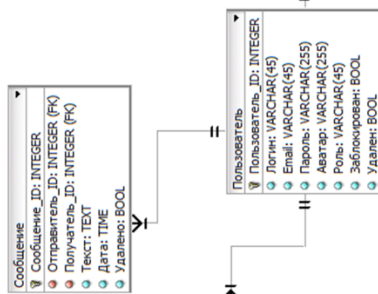
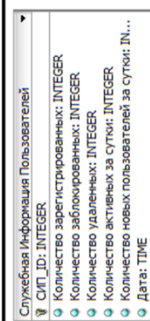


Версия: 1.0.0.0		Платформа: Windows		Платформа: Linux		Платформа: macOS		Платформа: Android		Платформа: iOS	
1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0	1.0.0.0
Диагностика: Диагностика системы											
МТД: 1.0.0.0											
Группа: 100-000											

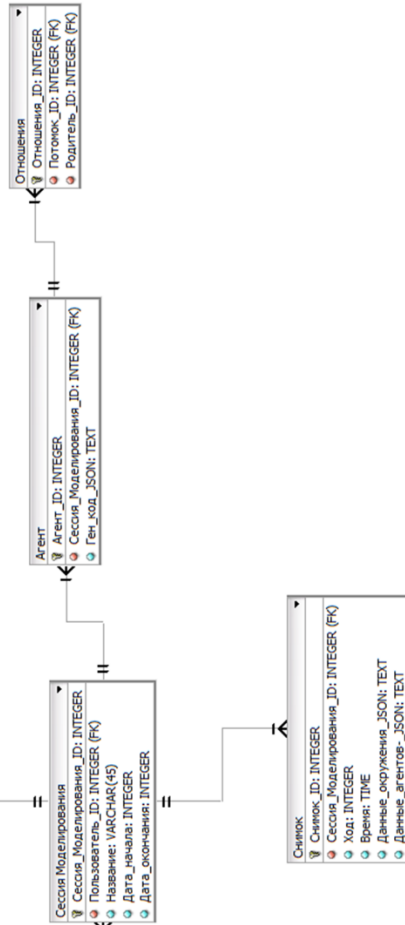


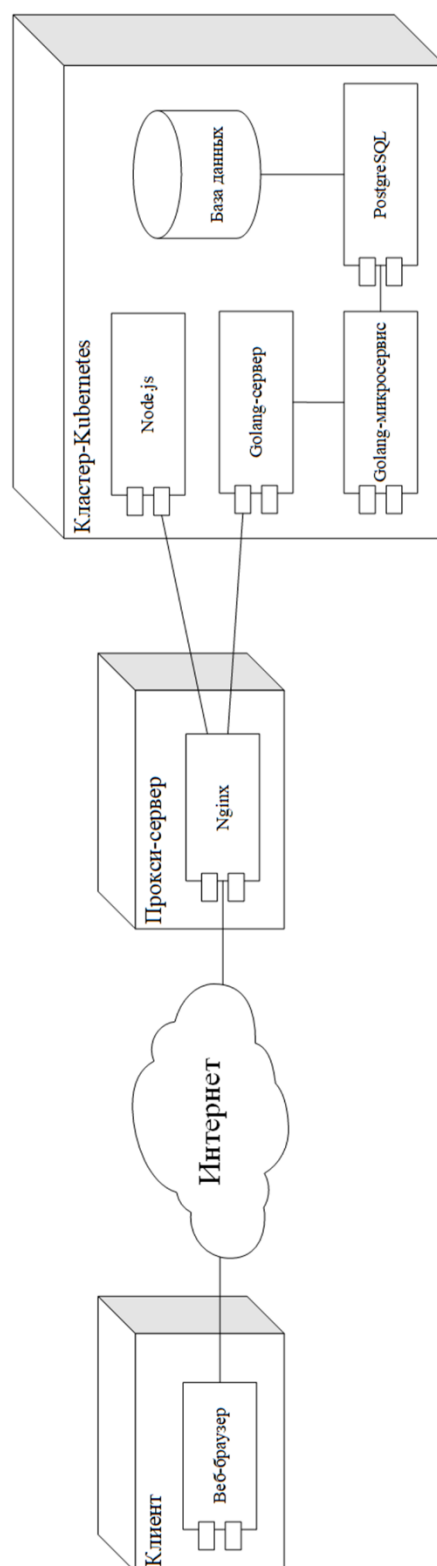
Версия документа		История изменений		История изменений	
№	Дата	№	Дата	№	Дата
1	01.01.2020	1	01.01.2020	1	01.01.2020
2	02.01.2020	2	02.01.2020	2	02.01.2020
3	03.01.2020	3	03.01.2020	3	03.01.2020
4	04.01.2020	4	04.01.2020	4	04.01.2020
5	05.01.2020	5	05.01.2020	5	05.01.2020
6	06.01.2020	6	06.01.2020	6	06.01.2020
7	07.01.2020	7	07.01.2020	7	07.01.2020
8	08.01.2020	8	08.01.2020	8	08.01.2020
9	09.01.2020	9	09.01.2020	9	09.01.2020
10	10.01.2020	10	10.01.2020	10	10.01.2020
11	11.01.2020	11	11.01.2020	11	11.01.2020
12	12.01.2020	12	12.01.2020	12	12.01.2020
13	13.01.2020	13	13.01.2020	13	13.01.2020
14	14.01.2020	14	14.01.2020	14	14.01.2020
15	15.01.2020	15	15.01.2020	15	15.01.2020
16	16.01.2020	16	16.01.2020	16	16.01.2020
17	17.01.2020	17	17.01.2020	17	17.01.2020
18	18.01.2020	18	18.01.2020	18	18.01.2020
19	19.01.2020	19	19.01.2020	19	19.01.2020
20	20.01.2020	20	20.01.2020	20	20.01.2020
21	21.01.2020	21	21.01.2020	21	21.01.2020
22	22.01.2020	22	22.01.2020	22	22.01.2020
23	23.01.2020	23	23.01.2020	23	23.01.2020
24	24.01.2020	24	24.01.2020	24	24.01.2020
25	25.01.2020	25	25.01.2020	25	25.01.2020
26	26.01.2020	26	26.01.2020	26	26.01.2020
27	27.01.2020	27	27.01.2020	27	27.01.2020
28	28.01.2020	28	28.01.2020	28	28.01.2020
29	29.01.2020	29	29.01.2020	29	29.01.2020
30	30.01.2020	30	30.01.2020	30	30.01.2020
31	31.01.2020	31	31.01.2020	31	31.01.2020
32	32.01.2020	32	32.01.2020	32	32.01.2020
33	33.01.2020	33	33.01.2020	33	33.01.2020
34	34.01.2020	34	34.01.2020	34	34.01.2020
35	35.01.2020	35	35.01.2020	35	35.01.2020
36	36.01.2020	36	36.01.2020	36	36.01.2020
37	37.01.2020	37	37.01.2020	37	37.01.2020
38	38.01.2020	38	38.01.2020	38	38.01.2020
39	39.01.2020	39	39.01.2020	39	39.01.2020
40	40.01.2020	40	40.01.2020	40	40.01.2020
41	41.01.2020	41	41.01.2020	41	41.01.2020
42	42.01.2020	42	42.01.2020	42	42.01.2020
43	43.01.2020	43	43.01.2020	43	43.01.2020
44	44.01.2020	44	44.01.2020	44	44.01.2020
45	45.01.2020	45	45.01.2020	45	45.01.2020
46	46.01.2020	46	46.01.2020	46	46.01.2020
47	47.01.2020	47	47.01.2020	47	47.01.2020
48	48.01.2020	48	48.01.2020	48	48.01.2020
49	49.01.2020	49	49.01.2020	49	49.01.2020
50	50.01.2020	50	50.01.2020	50	50.01.2020
51	51.01.2020	51	51.01.2020	51	51.01.2020
52	52.01.2020	52	52.01.2020	52	52.01.2020
53	53.01.2020	53	53.01.2020	53	53.01.2020
54	54.01.2020	54	54.01.2020	54	54.01.2020
55	55.01.2020	55	55.01.2020	55	55.01.2020
56	56.01.2020	56	56.01.2020	56	56.01.2020
57	57.01.2020	57	57.01.2020	57	57.01.2020
58	58.01.2020	58	58.01.2020	58	58.01.2020
59	59.01.2020	59	59.01.2020	59	59.01.2020
60	60.01.2020	60	60.01.2020	60	60.01.2020
61	61.01.2020	61	61.01.2020	61	61.01.2020
62	62.01.2020	62	62.01.2020	62	62.01.2020
63	63.01.2020	63	63.01.2020	63	63.01.2020
64	64.01.2020	64	64.01.2020	64	64.01.2020
65	65.01.2020	65	65.01.2020	65	65.01.2020
66	66.01.2020	66	66.01.2020	66	66.01.2020
67	67.01.2020	67	67.01.2020	67	67.01.2020
68	68.01.2020	68	68.01.2020	68	68.01.2020
69	69.01.2020	69	69.01.2020	69	69.01.2020
70	70.01.2020	70	70.01.2020	70	70.01.2020
71	71.01.2020	71	71.01.2020	71	71.01.2020
72	72.01.2020	72	72.01.2020	72	72.01.2020
73	73.01.2020	73	73.01.2020	73	73.01.2020
74	74.01.2020	74	74.01.2020	74	74.01.2020
75	75.01.2020	75	75.01.2020	75	75.01.2020
76	76.01.2020	76	76.01.2020	76	76.01.2020
77	77.01.2020	77	77.01.2020	77	77.01.2020
78	78.01.2020	78	78.01.2020	78	78.01.2020
79	79.01.2020	79	79.01.2020	79	79.01.2020
80	80.01.2020	80	80.01.2020	80	80.01.2020
81	81.01.2020	81	81.01.2020	81	81.01.2020
82	82.01.2020	82	82.01.2020	82	82.01.2020
83	83.01.2020	83	83.01.2020	83	83.01.2020
84	84.01.2020	84	84.01.2020	84	84.01.2020
85	85.01.2020	85	85.01.2020	85	85.01.2020
86	86.01.2020	86	86.01.2020	86	86.01.2020
87	87.01.2020	87	87.01.2020	87	87.01.2020
88	88.01.2020	88	88.01.2020	88	88.01.2020
89	89.01.2020	89	89.01.2020	89	89.01.2020
90	90.01.2020	90	90.01.2020	90	90.01.2020
91	91.01.2020	91	91.01.2020	91	91.01.2020
92	92.01.2020	92	92.01.2020	92	92.01.2020
93	93.01.2020	93	93.01.2020	93	93.01.2020
94	94.01.2020	94	94.01.2020	94	94.01.2020
95	95.01.2020	95	95.01.2020	95	95.01.2020
96	96.01.2020	96	96.01.2020	96	96.01.2020
97	97.01.2020	97	97.01.2020	97	97.01.2020
98	98.01.2020	98	98.01.2020	98	98.01.2020
99	99.01.2020	99	99.01.2020	99	99.01.2020
100	100.01.2020	100	100.01.2020	100	100.01.2020

## Информация пользователей



## Информация моделирования

[illegible]



308-004-00000	фасадная панель керамическая	шт	1	100	100
сметчик Е.И.М.И.	материалы	шт	1	100	100
6	материалы	шт	1	100	100
7	материалы	шт	1	100	100
8	материалы	шт	1	100	100
9	материалы	шт	1	100	100
10	материалы	шт	1	100	100
11	материалы	шт	1	100	100
12	материалы	шт	1	100	100
13	материалы	шт	1	100	100
14	материалы	шт	1	100	100
15	материалы	шт	1	100	100
16	материалы	шт	1	100	100
17	материалы	шт	1	100	100
18	материалы	шт	1	100	100
19	материалы	шт	1	100	100
20	материалы	шт	1	100	100
21	материалы	шт	1	100	100
22	материалы	шт	1	100	100
23	материалы	шт	1	100	100
24	материалы	шт	1	100	100
25	материалы	шт	1	100	100
26	материалы	шт	1	100	100
27	материалы	шт	1	100	100
28	материалы	шт	1	100	100
29	материалы	шт	1	100	100
30	материалы	шт	1	100	100
31	материалы	шт	1	100	100
32	материалы	шт	1	100	100
33	материалы	шт	1	100	100
34	материалы	шт	1	100	100
35	материалы	шт	1	100	100
36	материалы	шт	1	100	100
37	материалы	шт	1	100	100
38	материалы	шт	1	100	100
39	материалы	шт	1	100	100
40	материалы	шт	1	100	100
41	материалы	шт	1	100	100
42	материалы	шт	1	100	100
43	материалы	шт	1	100	100
44	материалы	шт	1	100	100
45	материалы	шт	1	100	100
46	материалы	шт	1	100	100
47	материалы	шт	1	100	100
48	материалы	шт	1	100	100
49	материалы	шт	1	100	100
50	материалы	шт	1	100	100
51	материалы	шт	1	100	100
52	материалы	шт	1	100	100
53	материалы	шт	1	100	100
54	материалы	шт	1	100	100
55	материалы	шт	1	100	100
56	материалы	шт	1	100	100
57	материалы	шт	1	100	100
58	материалы	шт	1	100	100
59	материалы	шт	1	100	100
60	материалы	шт	1	100	100
61	материалы	шт	1	100	100
62	материалы	шт	1	100	100
63	материалы	шт	1	100	100
64	материалы	шт	1	100	100
65	материалы	шт	1	100	100
66	материалы	шт	1	100	100
67	материалы	шт	1	100	100
68	материалы	шт	1	100	100
69	материалы	шт	1	100	100
70	материалы	шт	1	100	100