

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра математического анализа и моделирования
Направление подготовки – 01.03.02 Прикладная математика и информатика

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
И.о. зав. кафедрой
_____ Н.Н. Максимова
« _____ » _____ 2021 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Имитационное моделирование работы отделения банка в среде
AnyLogic

Исполнитель
студент группы 752об

(подпись, дата)

А.В. Милюков

Руководитель
доцент, канд. физ.-мат. наук

(подпись, дата)

Н.Н. Максимова

Нормоконтроль
доцент, канд. физ.-мат. наук

(подпись, дата)

Е.М. Веселова

Благовещенск 2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет математики и информатики
Кафедра математического анализа и моделирования

УТВЕРЖДАЮ
И.о. зав. кафедрой
_____ Н.Н. Максимова
« _____ » _____ 2021 г.

З А Д А Н И Е

К бакалаврской работе студента Милюкова Алексея Владимировича

1. Тема бакалаврской работы: Имитационное моделирование работы отделения банка в среде AnyLogic (утверждена приказом от 23.04.2021 № 812-уч)
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 23.06.2021 г.
3. Исходные данные к бакалаврской работе: отчет по преддипломной практике, научная литература, учебно-методические работы, среда имитационного моделирования AnyLogic
4. Содержание бакалаврской работы (перечень подлежащих разработке вопросов): имитационное моделирование работы отделения банка в среде AnyLogic, основные концепции теории систем массового обслуживания, программные средства исследования сложных систем массового обслуживания, имитационное моделирование работы банковского отдела в среде AnyLogic
5. Перечень материалов приложения: скриншот запущенной имитационной модели банковского отдела, сертификат участника конференции
6. Консультанты по бакалаврской работе: нормоконтроль – Веселова Е.М., доцент, канд. физ.-мат. наук.
7. Дата выдачи задания: 07.05.2021 г.

Руководитель бакалаврской работы: Максимова Надежда Николаевна, доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент

Задание принял к исполнению (07.05.2021): _____ Милюков А.В.

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит 50 с., 49 рисунков, 2 приложения, 21 источник.

СИСТЕМА МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ANYLOGIC, СРЕДНЕЕ ВРЕМЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ, СРЕДНЯЯ ДЛИНА ОЧЕРЕДИ, ЗАЯВКИ, ВРЕМЕННОЙ ГРАФИК, ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРИБЫТИЯ, МОДЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ.

В бакалаврской работе построена и исследована в среде AnyLogic имитационная модель банковского отделения.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- изучены основы теории систем массового обслуживания, имитационного моделирования систем массового обслуживания;
- получены навыки работы в прикладном пакете AnyLogic;
- в среде AnyLogic построена модель, имитирующая работу банковского отдела;
- вычислены основные характеристики системы, осуществлен анализ результатов работы имитационной модели и даны рекомендации по оптимизации работы отделения.

Результаты работы докладывались и обсуждались на XXIX и XXX научных конференциях «День науки АмГУ». По результатам работы опубликована научная работа.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Основные концепции теории систем массового обслуживания	7
1.1 Основные понятия и определения теории массового обслуживания	7
1.2 Классификации систем массового обслуживания	9
1.3 Критерии качества работы систем массового обслуживания	10
2 Программные средства исследования сложных систем массового обслуживания	12
2.1 Методология имитационного моделирования	12
2.2 Программные средства для имитационного моделирования	12
2.3 AnyLogic для моделирования систем массового обслуживания	13
2.4 Пример построения имитационной модели в пакете AnyLogic	16
3 Имитационное моделирование работы банковского отдела в среде AnyLogic	28
3.1 Постановка задачи	28
3.2 Построение имитационной модели в AnyLogic	30
3.3 Анализ результатов моделирования	40
Заключение	45
Библиографический список	46
Приложение А Скриншот запущенной имитационной модели банковского отдела	49
Приложение Б Сертификат участника конференции	50

ВВЕДЕНИЕ

Исследование реальных систем массового обслуживания с привлечением математических инструментов (методами математического моделирования) является весьма трудной задачей. Исследование таких систем необходимо проводить для оптимизации их работы (например, определение оптимального количества кассиров на кассе, уменьшение длины очереди, увеличение доли обслуженных клиентов и др.) [4].

На помощь в данном случае приходит имитационное моделирование [5], которое позволяет описать все процессы, происходящие в системе, задать законы их работы и взаимодействие отдельных частей, а также относительно быстро получить значения основных характеристик работы (например, длина очереди, среднее время обслуживания, число занятых работников и т.п.) при различных значениях параметров (например, число каналов обслуживания, интенсивность появления заявок и т.п.).

Среди пакетов имитационного моделирования выделяется российский продукт AnyLogic [3], он включает в себя три метода моделирования (системная динамика, дискретно-событийное (процессное) моделирование, агентное моделирование). В настоящее время, данное программное средство используется для исследования и оптимизации работы самых разных объектов, которые можно отнести к системам массового обслуживания [14, 19-21].

Объектом исследования является система массового обслуживания.

Целью работы является построение и исследование в среде AnyLogic имитационной модели системы массового обслуживания, представляющей собой отделение банка.

Для достижения цели необходимо выполнить ряд поставленных задач:

- изучить основы теории систем массового обслуживания;
- ознакомиться с понятиями имитационного моделирования систем массового обслуживания и с возможностями прикладного пакета AnyLogic;

- построить в среде AnyLogic модель, имитирующую работу банковского отдела;

- вычислить основные характеристики системы, осуществить анализ результатов работы имитационной модели и дать рекомендации по оптимизации работы отделения.

Результаты работы докладывались и обсуждались на XXIX и XXX научных конференциях «День науки АмГУ». По результатам работы опубликована научная работа [12].

Работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка и двух приложений. Первые две главы являются обзорными. Первая глава посвящена основным понятиям теории систем массового обслуживания, здесь приведены основные понятия и определения, а также классификация систем. Во второй главе изложены основы имитационного моделирования, представлен обзор средств имитационного моделирования, подробно представлено описание возможностей пакета AnyLogic и приведен пример построения простейшей модели. В третьей главе отражена основная часть работы: пошагово описано построение имитационной модели работы банковского отдела в среде AnyLogic, проведен анализ результатов работы. В приложениях представлен скриншот запущенной имитационной модели банковского отдела и копия сертификата участника конференции.

1 ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ТЕОРИИ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

1.1 Основные понятия и определения теории массового обслуживания

Теория массового обслуживания – это раздел теории вероятностей, целью исследования является рациональный выбор структуры системы и процесса обслуживания на основе изучения потоков спроса, входящих и выходящих из системы, времени ожидания и длины очереди. Теория массового обслуживания использует методы теории вероятностей и математической статистики [4, 6-8, 16, 17].

Первые проблемы теории массового обслуживания были рассмотрены сотрудником Копенгагенской телефонной компании в период с 1908 по 1922 год. Задача состояла в том, чтобы оптимизировать работу телефонной станции и заранее рассчитать качество обслуживания клиентов в зависимости от количества используемых устройств.

Имеется телефонный узел (сервисное устройство), на котором телефонистки время от времени соединяют отдельные номера телефонов друг с другом. Системы массового обслуживания (СМО) могут быть двух видов: с ожиданием и без ожидания (то есть, с потерями). В первом случае вызов (требование, заявка), пришедший на станцию в момент, когда занята нужная линия, остается ждать момента соединения. Во втором случае он «покидает систему» и не требует внимания СМО.

Системы массового обслуживания являются эффективным математическим инструментом для изучения широкого спектра реальных социально-экономических и демографических процессов.

Каждая СМО включает в свою структуру определенное количество сервисных устройств (блоков, устройств, линий), которые называются сервисными каналами. Роль каналов могут играть лица, выполняющие определенные операции (кассиры, операторы, продавцы, парикмахеры и т.д.), линии связи, автомо-

били, краны, ремонтные бригады, железнодорожные пути, заправочные станции и т.д. [3].

Каждая СМО предназначена для обслуживания (выполнения) определенного потока запросов (или требований), которые поступают на вход системы, в основном не регулярно, а в произвольное время. Обслуживание запроса тоже длится не постоянное, заранее известное, а случайное время. После обработки запроса канал освобождается и готов к приему следующего запроса. Случайный характер потока и время их обслуживания приводят к неравномерной рабочей нагрузке СМО. В некоторые периоды времени на входе СМО могут накапливаться необслуживаемые запросы (они либо становятся в очередь, либо оставляют СМО необслуживаемым), в другие периоды, когда есть свободные каналы, на входе СМО не будет запросов, что приводит к недогрузке СМО, т. е. к бездействующим каналам. Схема системы массового обслуживания показана на рисунке 1 [4].

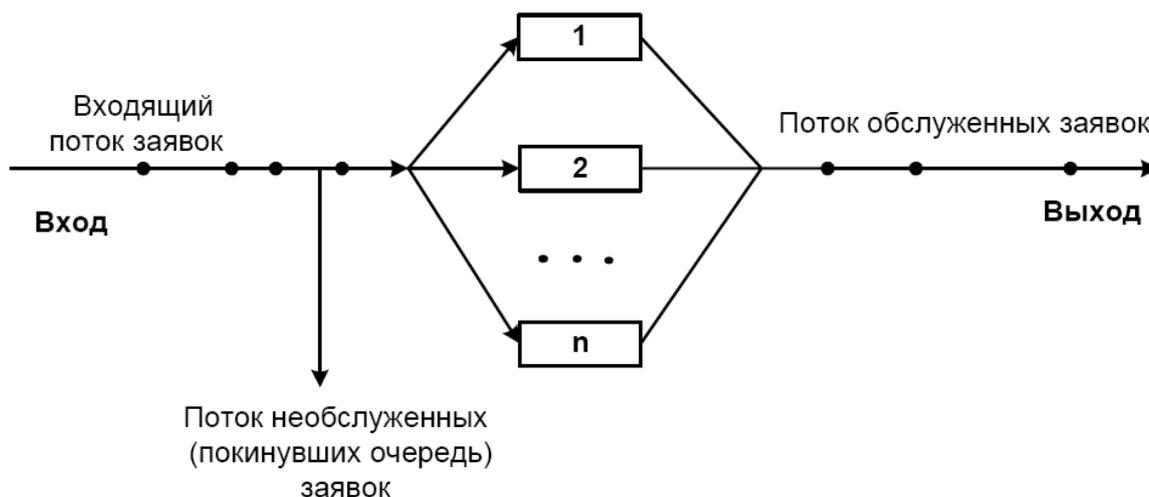


Рисунок 1 – Схема системы массового обслуживания

Поэтому в любой СМО можно отнести следующие элементы:

- 1) поток входящих заявок;
- 2) очередь;
- 3) каналы обслуживания;
- 4) исходящий поток обслуживаемых запросов.

Каждая СМО, в зависимости от её параметров: характера потока запросов, количества каналов обслуживания и их производительности, а также правил

организации работы, обладает определенной эффективностью функционирования (пропускной способностью), позволяющей ей более или менее успешно справляться с потоком запросов.

1.2 Классификации систем массового обслуживания

Системы массового обслуживания делятся на типы (или классы) по ряду критериев: расположение каналов, количество каналов обслуживания, возможность формирования очереди, дисциплина очереди, количество запросов.

По количеству каналов СМО делится на одноканальный (при наличии одного канала обслуживания) и многоканальный, точнее n -канальный (при количестве каналов $n \geq 2$) [7].

В соответствии с дисциплиной службы СМО делится на три класса:

1. **СМО с отказами**, при которых запрос, полученный на ввод СМО в то время, когда все каналы заняты, получает "отказ" и покидает СМО ("исчезает").

2. **СМО с ожиданием** (неограниченное ожидание или очередь). В таких системах запрос, полученный в момент занятости всех каналов, становится в очередь и ждет освобождения канала, который примет его на обслуживание.

3. **СМО смешанного типа** (с ограниченным ожиданием). Это системы, в которых накладываются некоторые ограничения на пребывание запроса в очереди. Ограничения ожидания могут относиться к времени, затраченному приложением в очереди, после чего оно покидает очередь и покидает систему, или к общему времени, затраченному заявкой в СМО (т.е. к общему времени, затраченному заявкой в очереди и в процессе обслуживания).

В соответствии с дисциплиной СМО делятся на несколько типов:

- **обслуживание «с приоритетом»;**

- **обслуживание «по правилам».**

По ограничению потоков заявок СМО делится на **замкнутые** и **открытые**. Если поток запросов ограничен и запросы, покинувшие систему, могут вернуться в нее, то СМО будет замкнутой, в противном случае она открыта.

По количеству этапов обслуживания системы СМО делятся на однофазные и многофазные. Если каналы СМО однородны, то есть выполняют одну и ту же операцию обслуживания, то такие СМО называются однофазными. Если каналы обслуживания расположены последовательно и они неоднородны, поскольку они выполняют различные операции обслуживания (т. е. обслуживание состоит из нескольких последовательных этапов или фаз), то СМО называется многофазным.

1.3 Критерии качества работы систем массового обслуживания

При решении задач большое значение имеет выбор критериев, определяющих исследуемый процесс. Трудно перечислить все показатели, которые могут быть универсальны во всех задачах массового обслуживания, поэтому мы ограничимся наиболее значимыми из них.

Критерии эффективности систем обслуживания с отказами

1. Вероятность отказа равна вероятности того, что все сервисные устройства будут заняты.
2. Степень загрузки сервисной системы можно охарактеризовать таким критерием, как среднее количество занятых устройств.
3. Более полно нагрузку на систему можно охарактеризовать законом распределения количества занятых устройств.
4. Может быть полезен такой критерий, как среднее число потерянных требований за определенный период времени.

Критерии эффективности систем обслуживания без отказов

Длина очереди является случайной величиной. В качестве характеристики длины очереди можно использовать ее математическое ожидание. Перечень критериев:

1. Математическое ожидание длины очереди.
2. Время ожидания начала обслуживания.
3. Закон распределения начала обслуживания.
4. Средняя длина очереди, полная характеристика которой может быть задана законом распределения длины очереди.

5. Среднее количество используемых сервисных устройств (это число является случайной величиной).

6. Вероятность наличия более m единиц в очереди в данный момент времени в исходном состоянии системы.

Критерии эффективности системы обслуживания смешанного типа

Критерии, характеризующие ход процесса обслуживания в системах смешанного типа, в основном те же, что и для задач первой и второй групп. Специальные критерии для обслуживания систем смешанного типа заключаются в следующем:

1. Время, затраченное на обслуживание тех требований, которые покинут систему до окончания обслуживания.

2. Общее время, затраченное всеми устройствами в системе.

2 ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

2.1 Методология имитационного моделирования

Моделирование решает реальные проблемы безопасно и разумно. Это удобный инструмент для анализа: он понятен, прост в понимании и тестировании. В различных областях бизнеса и науки моделирование помогает находить оптимальные решения и обеспечивает четкое понимание сложных систем.

Имитационное моделирование – это эксперимент по достоверному цифровому представлению любой системы [5]. В отличие от физического моделирования, такого как создание макета здания, имитационное моделирование основано на компьютерных технологиях, использующих алгоритмы и уравнения. Можно анализировать имитационную модель в динамике и просматривать анимацию в 2D или 3D.

Компьютерное моделирование используется в бизнесе, когда проведение экспериментов на реальной системе невозможно или нецелесообразно, чаще всего из-за их стоимости или продолжительности [2, 11, 15, 18].

Важнейшая особенность имитационного моделирования деятельности предприятий (организаций): инструментальное обеспечение анализа функционирования во всех мыслимых аспектах (технологическом, экономическом, организационном и др.) с целью совершенствования производственных и управленческих процессов, скоординированной и контролируемой работы всех подсистем [5].

Среди наиболее интересных проблем имитационного моделирования, которыми занимаются ученые и практики в последние годы, можно отметить следующие: в производстве, в сельском хозяйстве, на транспорте, в топливно-энергетическом комплексе, в социальной сфере и др.

2.2 Программные средства для имитационного моделирования

Для решения вышеперечисленных классов задач в современном имитационном моделировании сформированы и наиболее широко используются три ос-

новых подхода – дискретно-событийное моделирование, системная динамика и агентное моделирование.

Дискретно-событийное моделирование

Основным объектом в этой системе является пассивная транзакция (запрос на обслуживание), которая может определенным образом представлять работников, детали, сырье, документы, сигналы и т.д. Модель дискретных событий можно рассматривать как глобальную схему обслуживания приложений. В настоящий момент существует ряд инструментов, поддерживающих этот подход в моделировании: GPSS/PC, GPSS/H, GPSS World, Object GPSS, Arena, SimProcess, Enterprise Dynamics, Auto-Mod и т.д.

Системная динамика

Системная динамика как методология была предложена в качестве инструмента для изучения информационных обратных связей в производственно-хозяйственной деятельности, чтобы выяснить, как взаимодействуют организационная структура, усиления (в политике) и задержки (в принятии решений и действиях), влияющие на эффективность предприятия. Методы системной динамики поддерживаются такими инструментами, как DYNAMO, Stella, Vensim, PowerSim, iThink, ModelMaker и др.

Агентное моделирование

Агентное моделирование предполагает работу с децентрализованной моделью. Агентная модель состоит из набора отдельных объектов (агентов) и их окружения. Поведение системы описывается на индивидуальном уровне; глобальное поведение рассматривается как результат совместной деятельности агентов, каждый из которых действует в соответствии со своим "уставом", существует в общей среде, взаимодействует с окружающей средой и другими агентами. Карты состояний, которые являются стандартным инструментом UML, используются для описания поведения агентов.

2.3 AnyLogic для моделирования систем массового обслуживания

AnyLogic – это программное обеспечение для моделирования, разработанное российской компанией AnyLogic Company. Инструмент имеет современное

менный графический интерфейс и позволяет использовать язык Java для разработки моделей.

Продукт был назван AnyLogic, поскольку он поддерживал три известных метода моделирования [3, 9, 10, 13]: системная динамика, дискретно-событийное (процессное) моделирование и агентное моделирование.

Большой скачок был сделан в 2003 году, когда был выпущен AnyLogic 5, ориентированный на бизнес-моделирование.

AnyLogic 7 был выпущен в 2014 году и включал в себя множество существенных изменений. Целью нововведений было упрощение процесса создания модели, а именно: расширенная поддержка многопроходного моделирования, уменьшение необходимости написания кода вручную, обновление библиотек и другие улучшения.

В 2016 г. в AnyLogic 7.3 вышла новая Библиотека моделирования дорожного движения.

AnyLogic 8 был выпущен в 2017 году. С версии 8.0, среда разработки моделей AnyLogic интегрирована с AnyLogic Cloud, онлайн-сервисом для анализа имитационных моделей. AnyLogic 8 работает на базе среды разработки Eclipse.

В системе имитационного моделирования AnyLogic модели создаются в виде последовательности блоков. Все блоки настраиваются с помощью специальной панели свойств. Модель задачи показана на рисунке 2. Стоит отметить, что AnyLogic развивается очень быстро, и каждые несколько месяцев появляются новые обновления.

Система моделирования AnyLogic обладает большими возможностями, например, вы можете запрограммировать поведение некоторых объектов на Java.

Среда моделирования

Среда графического моделирования AnyLogic включает в себя следующие элементы:

- Диаграммы запасов и потоков (stock and flow diagram) используются при разработке моделей с использованием метода системной динамики.

- Диаграммы состояний (Statecharts) в основном используются в моделях агентов для определения поведения агентов. Они также часто используются в моделировании дискретных событий, например, для моделирования отказов машин.

- Диаграммы действий используются для построения алгоритмов. Он используется в моделировании дискретных событий (маршрутизация вызовов) и агентном моделировании (для логики решений агентов).

- Блок – схемы процессов (процесные диаграммы) – базовая конструкция, используемая для определения процессов в дискретно-событийном моделировании.

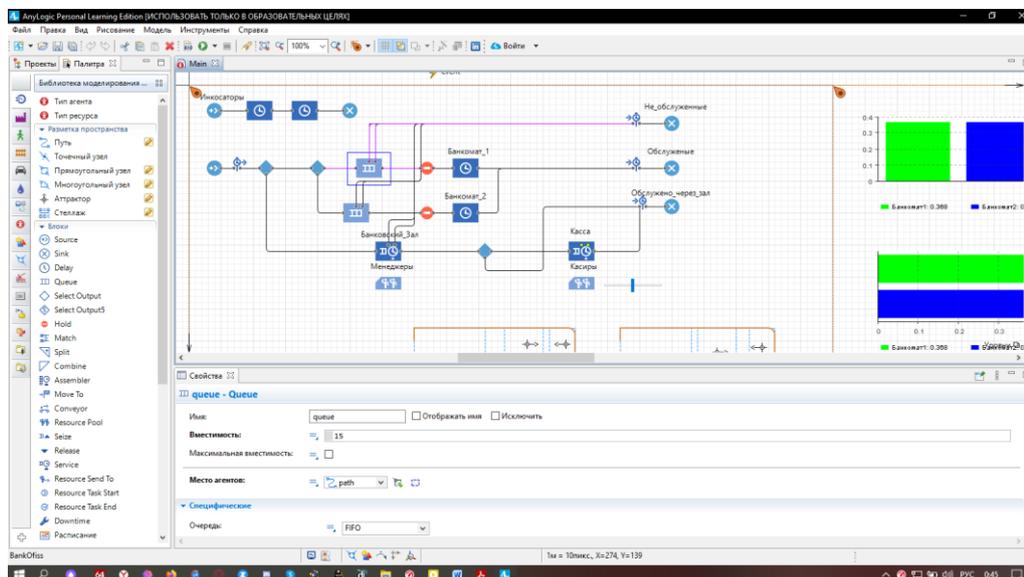


Рисунок 2 – Модель задачи в AnyLogic

Среда моделирования также включает: низкоуровневые конструкции моделирования (переменные, уравнения, параметры, события и т.д.). Формы представлений (линию, квадраты, овалы и т.д.), элементы анализа (базы данных, гистограммы, графики), изображения и экспериментальные формы.

Среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели и выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа – от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно определенного критерия [9].

Библиотеки AnyLogic.

Это наборы элементов, созданные для решения конкретной задачи моделирования или описания конкретной области применения. AnyLogic включает в себя набор стандартных библиотек: библиотека моделирования процессов, пешеходная библиотека, железнодорожная библиотека, библиотека моделирования потоков, библиотека дорожного движения, библиотека обработки [10].

В дополнение к стандартным библиотекам пользователи могут создавать свои собственные и использовать их для создания моделей.

2.4 Пример построения имитационной модели в пакете AnyLogic

Построим простейшую имитационную модель в среде AnyLogic.

Шаг 1. Создание простой модели

Созданная модель (рисунок 3) при создании имеет один тип агента, Main и Имитационный эксперимент. Агенты являются основными строительными блоками модели AnyLogic.

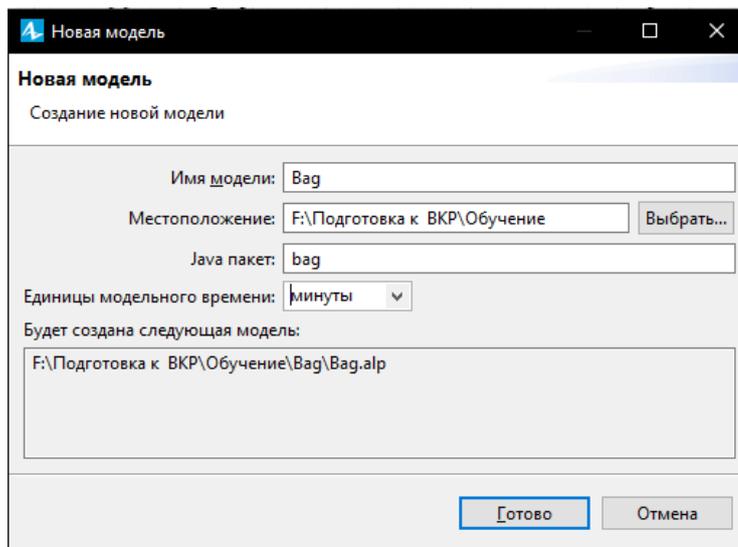


Рисунок 3 – Создание модели

В центре рабочей области (рисунок 4) расположен графический редактор диаграммы типа основного агента.

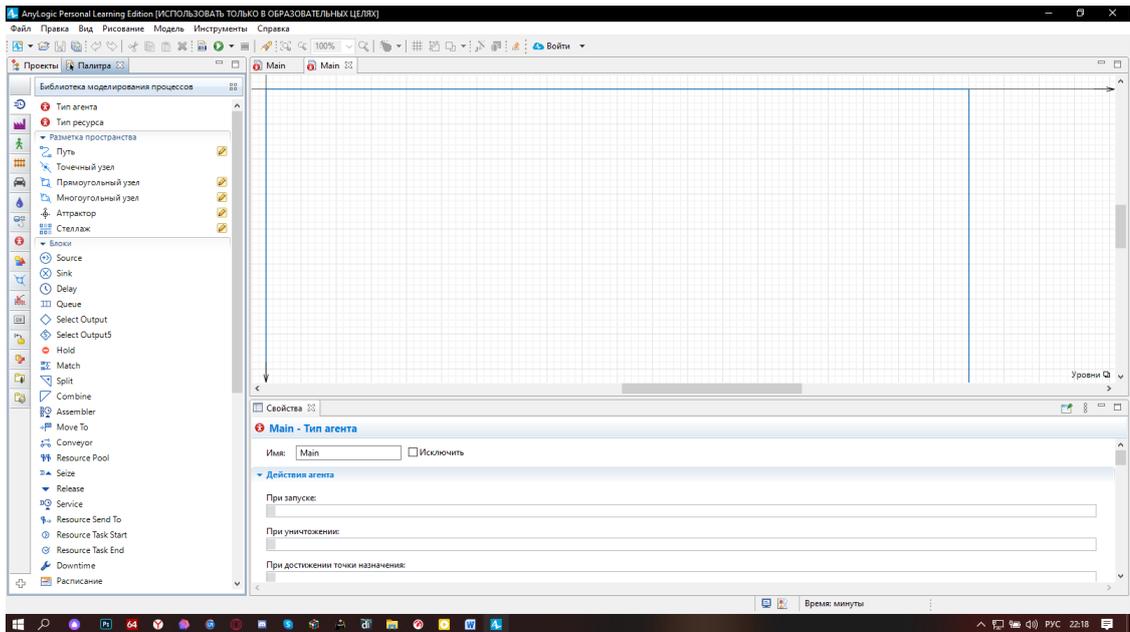


Рисунок 4 – Графический редактор

Схема процесса в AnyLogic создается путем добавления объектов библиотеки из палитры (рисунок 5) на диаграмму агента, подключения их портов и изменения значений свойств блоков в соответствии с требованиями модели.

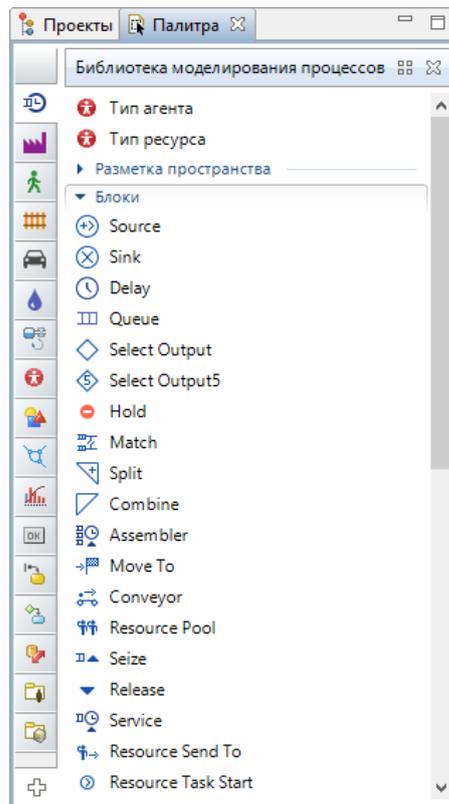


Рисунок 5 – Палитра

Добавим блоки библиотеки моделирования процессов на диаграмму (рисунок 6).

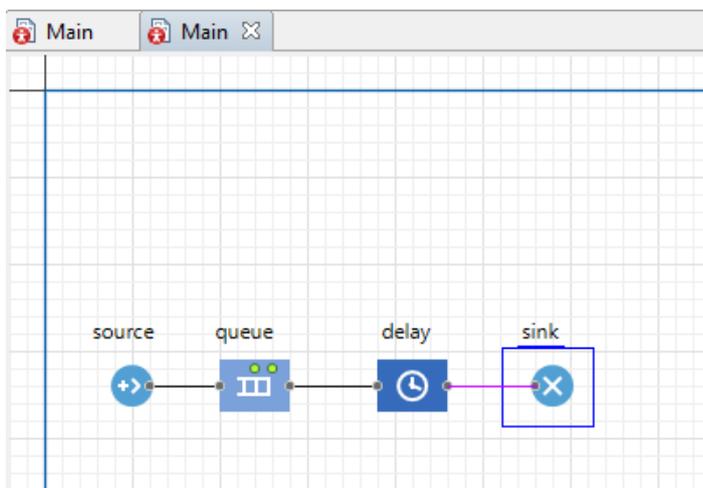


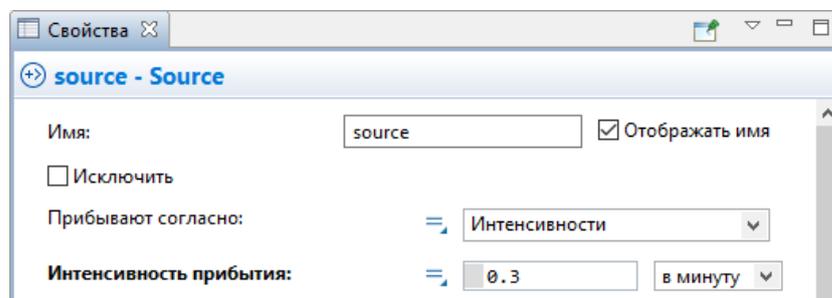
Рисунок 6 – Моделирование модели

Эта схема имитирует простую систему очередей, состоящую из источника агента, задержки (и очереди до задержки) и конечного завершения агента.

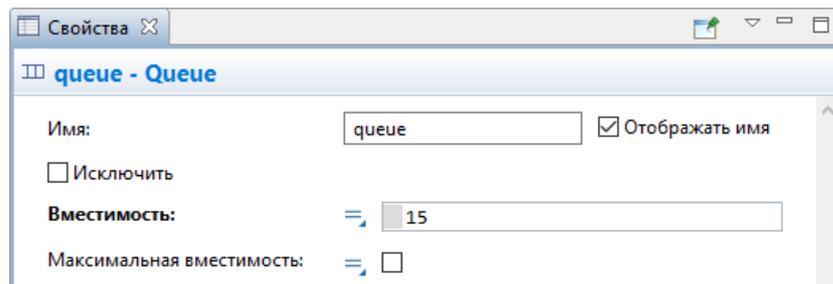
- ⊕ Исходный объект (source) генерирует агенты определенного типа.
- ▣ Объект очереди (queue) моделирует очередь агентов, ожидающих приема объектами, следующими за данными.
- 🕒 Объект задержки (delay) задерживает агенты на определенный период времени.
- ⊗ Объект-приемник (sink) уничтожает входящие агенты.

На рисунке 7 показаны настройки для блоков диаграммы.

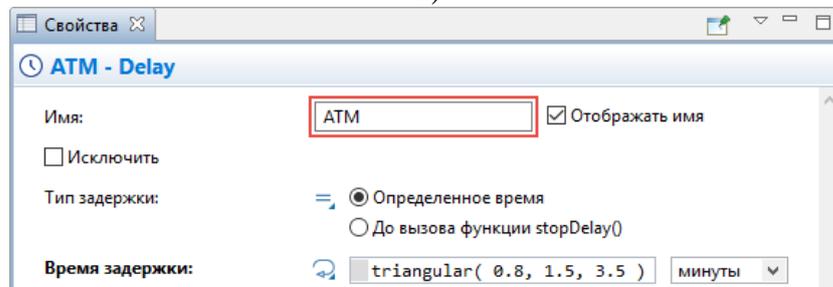
После моделирования простейшей системы очередей, можно запустить ее (рисунок 8 и 9). Можно изменить скорость выполнения модели с помощью кнопок замедления и ускорения на панели инструментов.



a)



б)



в)

Рисунок 7 – Свойства объектов (а – Source, б – Queue, в – Delay)

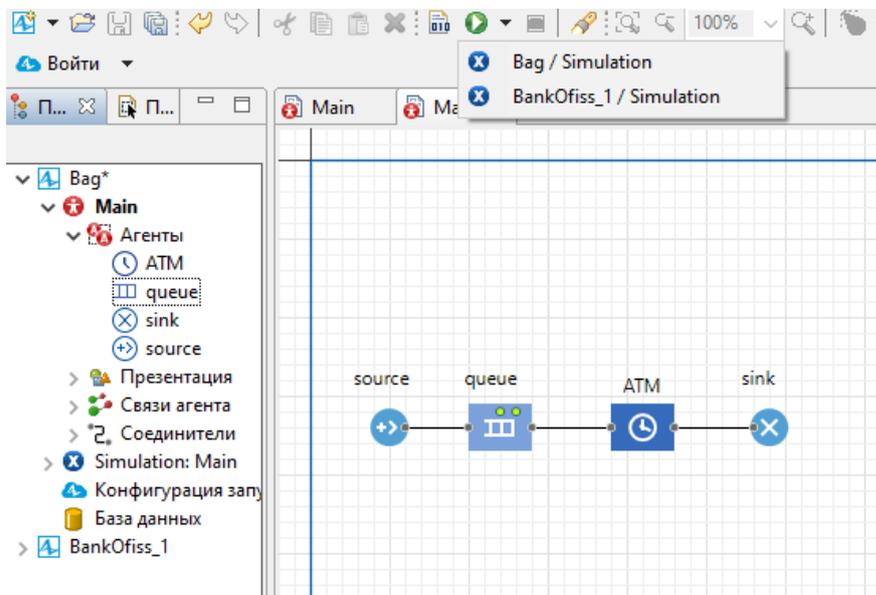


Рисунок 8 – Выбор запуска модели



Рисунок 9 – Осуществлён запуск модели

Состояние любого блока схемы процесса можно отслеживать во время выполнения модели с помощью окна инспектора объекта (рисунок 10).

В строке *Содержит* отображается количество агентов, находящихся сейчас на объекте, а также идентификатор этих агентов.

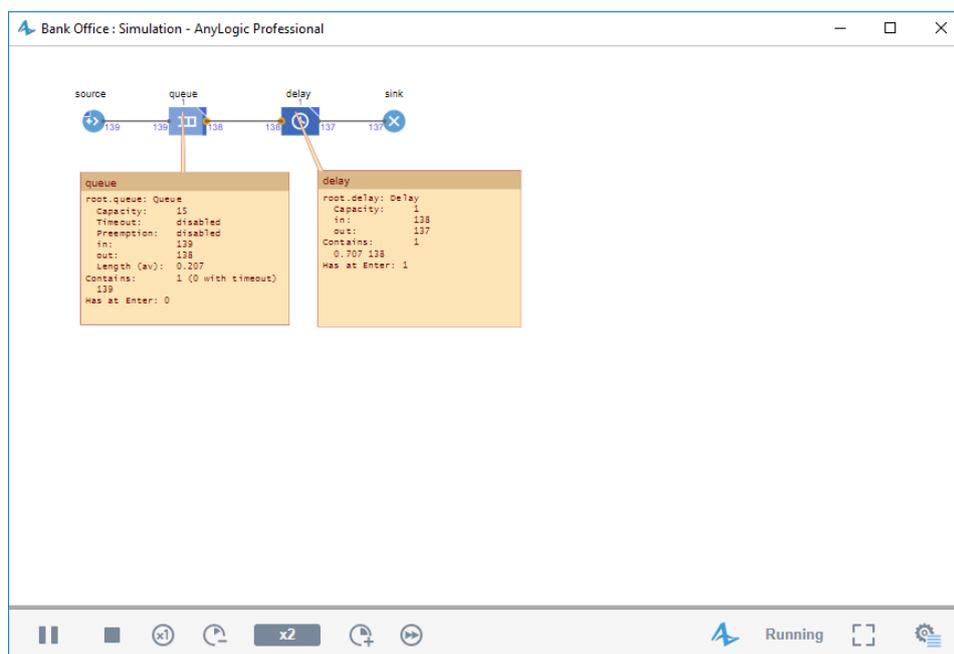


Рисунок 10 – Окно запущенной программы

Шаг 2. Добавление анимации

Проанализировать работу запущенной модели с помощью диаграммы процесса хорошо, но удобнее и нагляднее наблюдать анимацию процесса, который мы моделируем. Создадим визуальный план отделения банка. Добавим анимацию интересующих нас объектов (банкомат и очередь клиентов, ведущих к нему). Анимация модели рисуется на той же схеме (в графическом редакторе), в которой задана схема моделируемого процесса.

Добавление фигур разметки пространства происходит следующим образом.

1. Настройка формы анимации банкомата (рисунок 11).

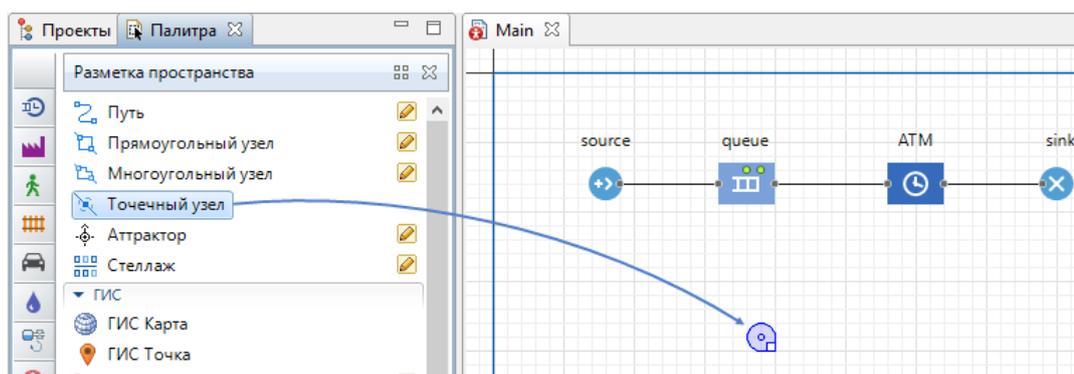


Рисунок 11 – Точечный узел

Нажмём на точечный узел, чтобы открыть для него панель свойств. Для изменения цвета фигуры во время моделирования, введите выражение, которое будет постоянно вычисляться снова при выполнении модели, в поле Цвет: «ATM.size () > 0 ? red : green»

2. Настройка формы анимации очереди к банкомату (рисунок 12).

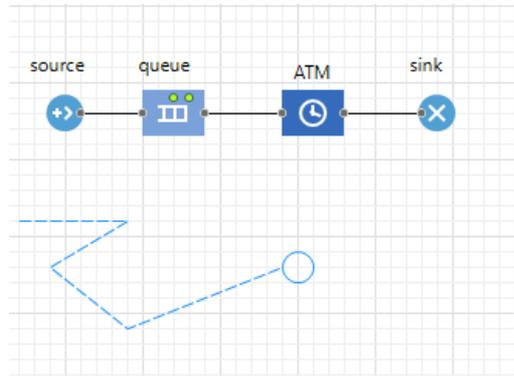


Рисунок 12 – Создание 2D

Теперь в модели появилась простая анимация – банкомат и очередь клиентов, ведущих к нему (рисунок 13). Цвет формы банкомата будет меняться в зависимости от того, обслуживается ли клиент.

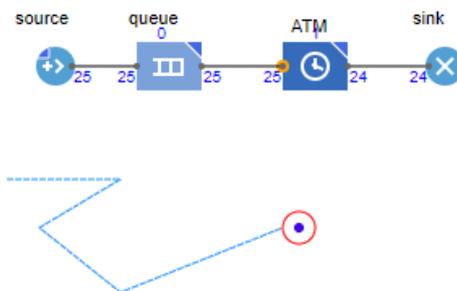


Рисунок 13 – Запуск программы

3. Добавление 3D-окна и 3D-анимации (рисунок 14-16).

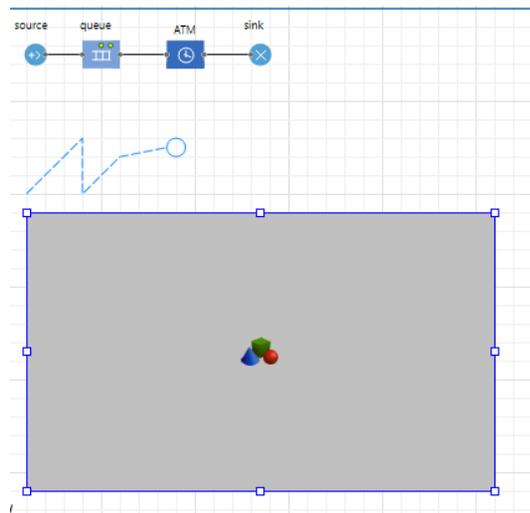


Рисунок 14 – 3D окно

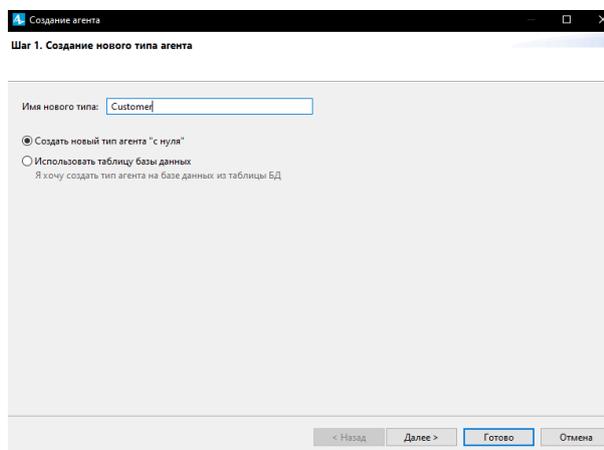


Рисунок 15 – Создание агента

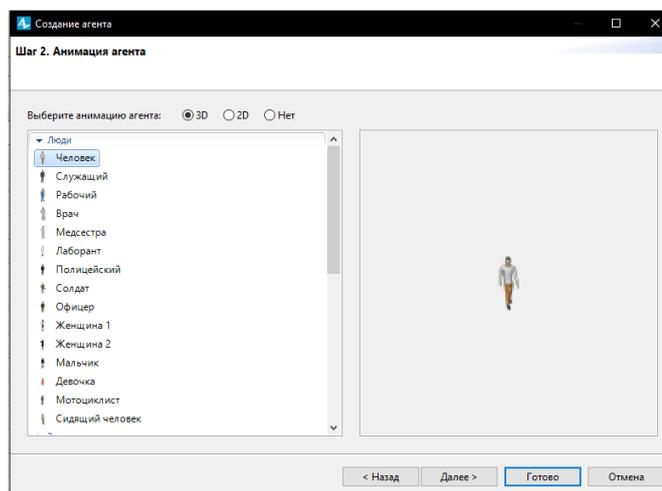


Рисунок 16 – Анимация агента

Новая диаграмма агента клиента откроется автоматически. Здесь можно найти 3D-человеческую фигуру в начале координат.

Настроим использование агента нового типа в блок-схеме. На главной диаграмме (Main) выберем исходный блок (*source*) в графическом редакторе,

выберем тип агента клиента в раскрывающемся списке параметра Новый агент (рисунок 17).

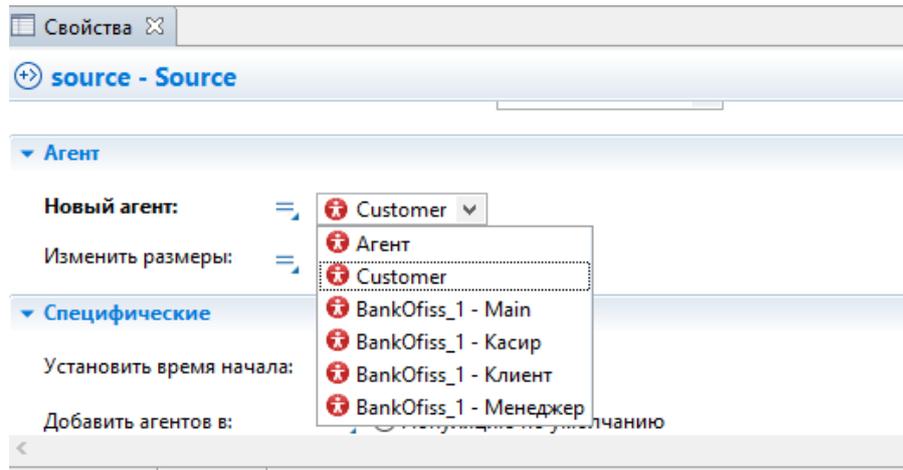


Рисунок 17 – Выбор агента

Далее при запуске модели уже будет видна анимация клиентов в очереди (рисунок 18).

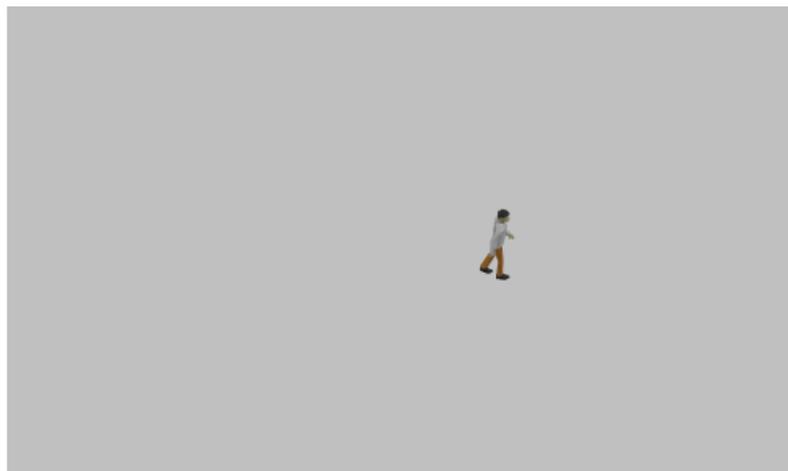


Рисунок 18 – 3D модель

Таким же способом добавляем банкомат (рисунок 19).

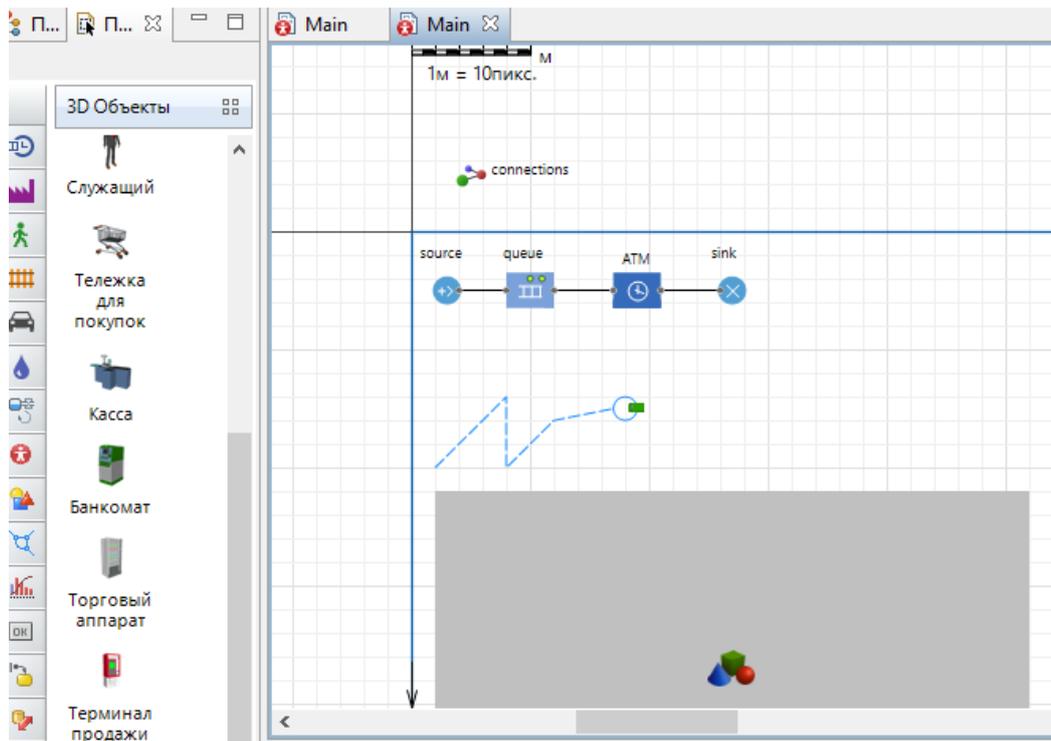


Рисунок 19 – Добавление банкомата

При запуске модели и просмотре 3D-анимации в режиме 3D-просмотра окна заметим появление банкомат (рисунок 20).

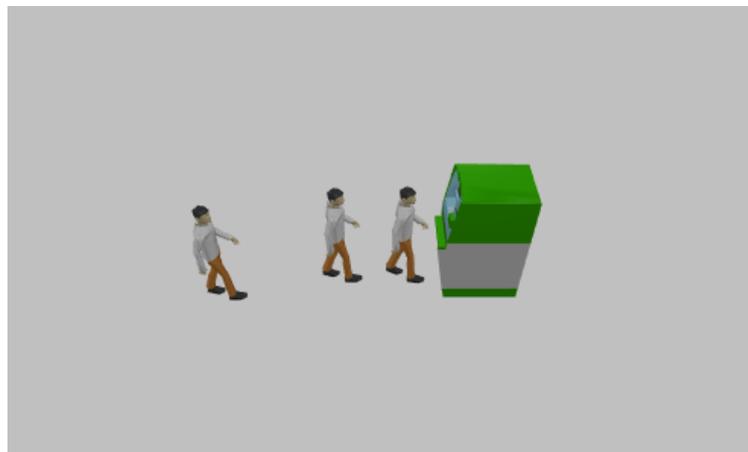


Рисунок 20 – Очередь к банкомату

Шаг 3. Аккумуляция данных

AnyLogic даёт пользователю комфортные инструменты для сбора статистики по работе блоков диаграмм процессов. Блоки Библиотеки моделирования процессов самостоятельно собирают основную статистику.

Добавление диаграммы для отображения средней загрузки банкоматов

1. Откроем палитру *Статистики*. Перетащим элемент гистограммы из палитры Статистики на диаграмму (рисунок 21).

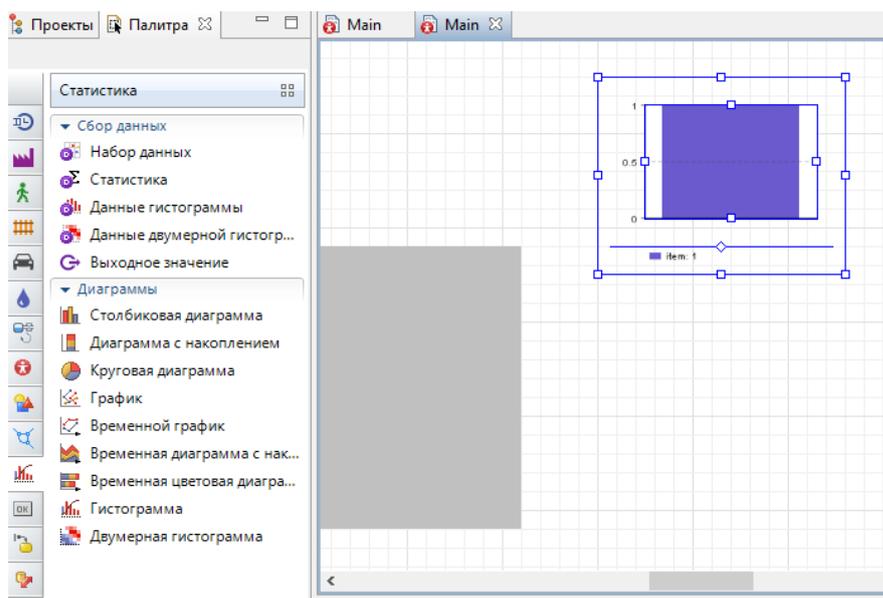


Рисунок 21 – Создание статистики

2. Перейдем в раздел «Данные» свойств гистограммы и нажмем кнопку  Добавить элемент данных, чтобы указать данные для отображения на диаграмме.

3. Изменим название на «Использование банкомата».

4. Введем `ATM.statsUtilization.mean()` в поле Значение. Функция `mean()` возвращает среднее значение всех значений, измеренных этим набором данных. Также можете использовать другие методы, такие как `min()` или `max()` (рисунок 22).

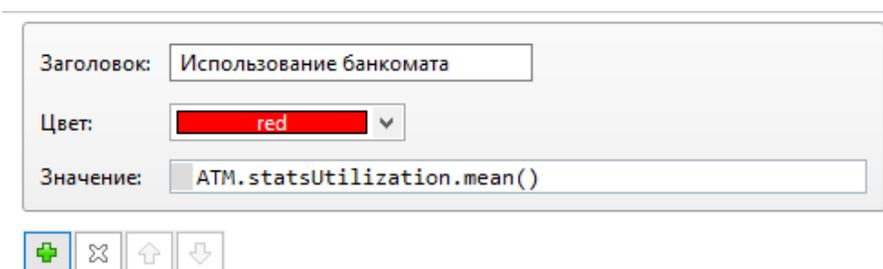


Рисунок 22 – Настройка диаграммы

5. Перейдем в раздел легенда обозначения панели свойств и изменим положение легенды относительно графика (чтобы она отображалась справа) и ее размер (рисунок 23).

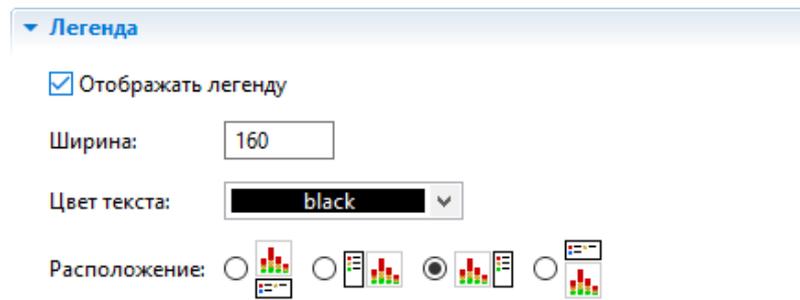


Рисунок 23 – Настройка легенды

Подобным образом добавим еще гистограмму (рисунок 24). Перейдем в раздел Внешний вид панели Свойств и выберем параметр Направление столбцов, чтобы столбцы гистограммы росли влево. Кроме того, изменим положение легенды в разделе Легенды (рисунок 25).

В разделе Данные свойств диаграммы нажмем кнопку  Добавить и изменим заголовок на длину очереди. Установим значение: `queue.statsSize.mean()`. Здесь `Statsize` – это имя объекта `StatisticsContinuous`, который собирает статистику о размере очереди.

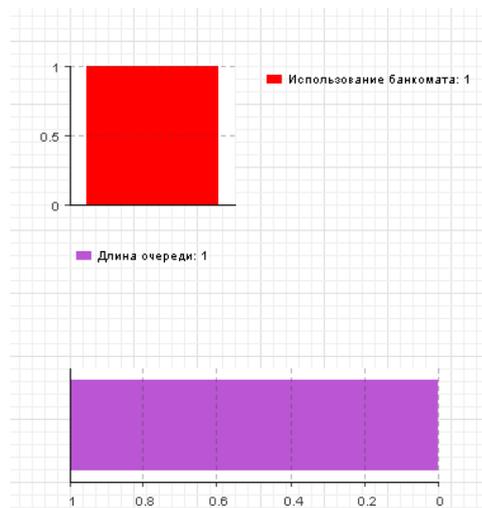


Рисунок 24 – Длина очереди и загруженность

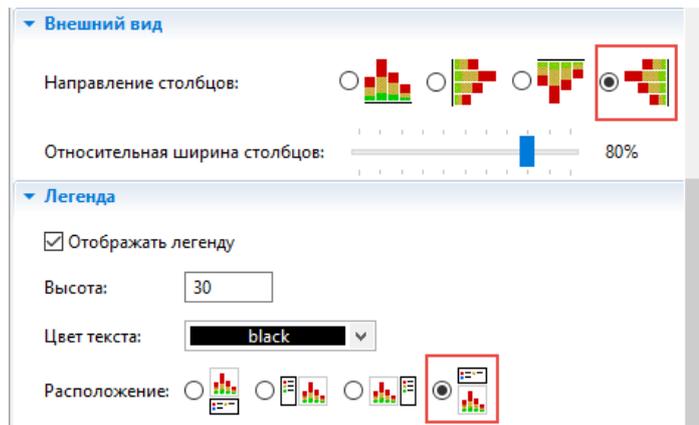


Рисунок 25 – Настройка диаграммы

Запустим модель и увидим заполненность банкоматов и среднюю длину очереди, используя только что созданные диаграммы (рисунок 26).



Рисунок 26 – Запущенная модель

Перейдем к созданию более сложной модели для исследования работы отделения банка.

3 ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ БАНКОВСКОГО ОТДЕЛА В СРЕДЕ ANYLOGIC

3.1 Постановка задачи

Построим модель работы банковского отдела. Опишем основные характеристики этого отделения.

Время работы отдела 9:00 – 23:00. В отделение банка приходят посетители; интенсивность прихода зависит от времени суток. Расписание интенсивности посетителей представлено ниже:

9:00–10:00 – 0.5 чел/мин;

10:00–13:00 – 0.6 чел/мин;

13:00–14:00 – 1.5 чел/мин.

14:00–17:00 – 0.6 чел/мин;

17:00–20:00 – 2.0 чел/мин;

20:00–22:00 – 0.1 чел/мин.

22:00–23:00 – 0 чел/мин.

Посетители банка могут выбрать одну из четырёх фаз обслуживания:

- 1) выполнит операции с помощью банкомата (вероятность 0.49);
- 2) обратится за помощью к менеджеру (вероятность 0.4);
- 3) обратится к кассирам для того, чтобы обменять или снять деньги или выполнить иные операции с наличностью (вероятность 0.1);
- 4) не будет ничего делать, например, сопроводил другого клиента или иное (вероятность 0.01).

Опишем подробнее действия в первых трех пунктах.

В зале имеется пять банкоматов. Время использование банкомата от 0.3 до 3.5 минут, в среднем 1.5 минуты.

Если время ожидания банкомата превышает 5 минут, то клиент выходит из банка не обслуженный. Когда очередь 15 человек, то клиент также покидает банк необслуженным.

В течение дня банкоматы обслуживаются инкассаторами. Расписание прихода инкассаторов: в первый раз они приходят в 10:00, а потом каждые 6 часов. Инкассаторы закрывают банкоматы на обслуживание от 4 до 6 минут, в среднем – 5 минут.

В зале отделения постоянно находятся менеджеры. Количество зависит от времени суток. Расписание смен менеджеров:

- 9:00–12:00 – 2 менеджера;
- 12:00–13:00 – 3 менеджера;
- 13:00–17:00 – 5 менеджеров;
- 17:00–20:00 – 4 менеджера;
- 20:00–22:00 – 2 менеджера;
- 22:00–23:00 – 1 менеджер.

Время работы менеджера с клиентом от 3 до 15 минут, в среднем – 6.5 минуты. После менеджера клиент уходит из отделения или обращается в кассу.

Если время ожидания менеджера превышает 10-20 минут (время ожидания – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке [10, 20] мин.), клиент покидает банк необслуженным. Когда очередь 20 человек, то клиент также покидает банк необслуженным.

Количество кассиров на кассе зависит от времени суток. Расписание смен кассиров:

- 9:00–12:30 – 2 кассира;
- 12:30–17:00 – 3 кассира;
- 17:00–20:00 – 4 кассира;
- 20:00–23:00 – 2 кассира.

Время необходимое кассирам на обслуживание клиента от 1 до 3 минут, в среднем – 1.5 минуту.

Расписание обедов на кассе:

- 12:00–12:30 и 16:30–17:00.

Если время ожидания кассира превышает 10-15 минут (время ожидания – случайная величина, равномерно распределенная на отрезке [10, 15] мин.), то

клиент выходит из банка не обслуженным. Когда очередь 10 человек, то клиент также покидает банк не обслуженным.

Необходимо с помощью библиотеки моделирования процессов построить имитационную модель для исследования работы отделения банка при имеющихся входных данных и проанализировать выходные данные (среднее время нахождения посетителей банка в отделении, длину очереди к банкоматам, загрузка банкоматов в течении дня, статистика по клиентам банка).

3.2 Построение имитационной модели в AnyLogic

Создадим имитационную модель банковского отдела в среде AnyLogic.

Шаг 1. Создание модели

Добавим блоки Библиотеки моделирования процессов на диаграмму, и соедините их, как показано на рисунке 27.

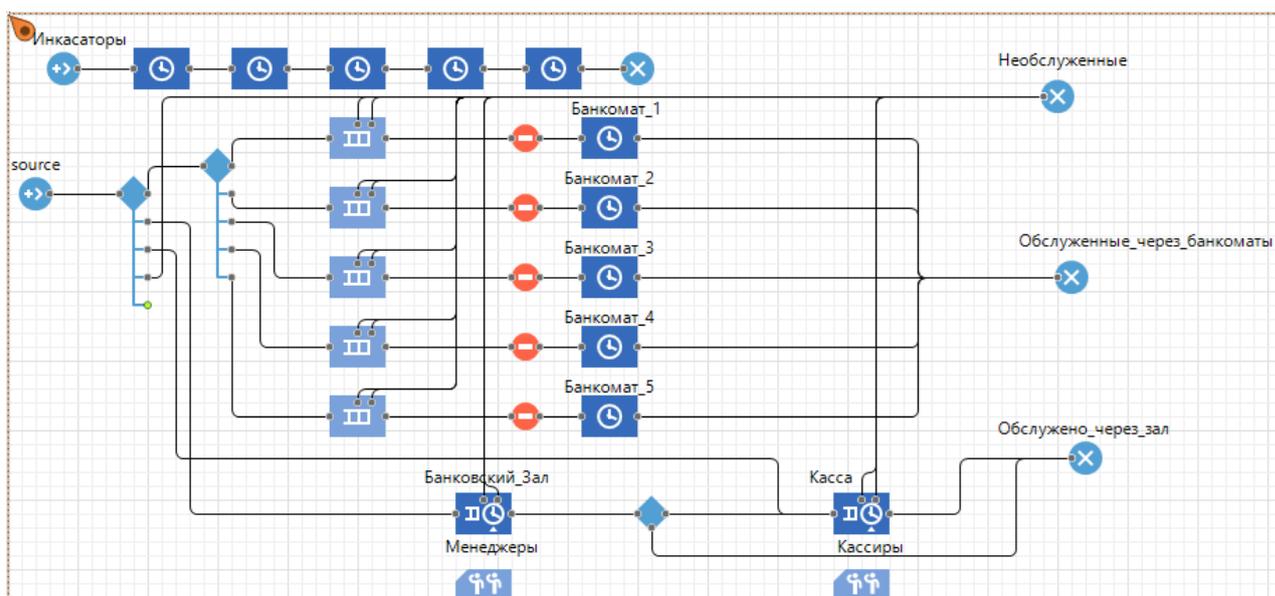


Рисунок 27 – Моделирование модели

Опишем эти объекты диаграммы.

Элементы как `source`, `queue`, `delay`, `sink` – были описаны выше в пункте 2.4

Блок `SelectOutput5` направляет входящих агентов в один из пяти выходных портов в зависимости от выполнения заданных (детерминистических или заданных с помощью вероятностей) условий.

Блок `Hold` блокирует/снимает блокировку с потока агентов на определенном участке блок-схемы. Блок `Hold` используется, например, когда блок может

принимать агентов, но вы не хотите (временно) продолжать их обработку или когда нужно заблокировать поступление агентов только от какого-то определенного блока, в то же время, принимая агентов, приходящих с выходных портов других блоков.

В имитационной модели присутствует два объекта source, которые генерируют создание агентов.

Первый объект source моделирует приход инкассаторов в банковский отдел (в зависимости от расписания прихода), для обслуживания банкоматов, показан на рисунке 28.

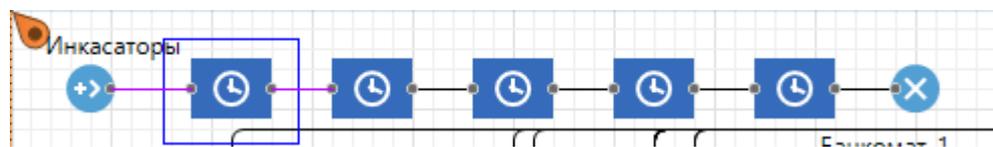


Рисунок 28 – Моделирование прихода инкассаторов

Они поочередно закрывают доступ к банкоматам ($triangular(4, 5,6)$) при помощи объекта *Hold* (рисунок 29).

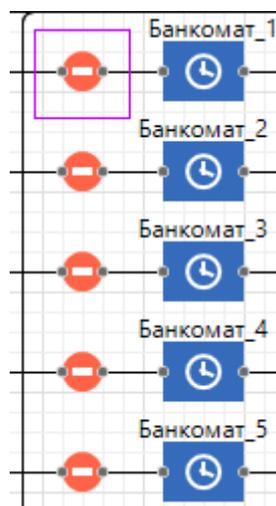


Рисунок 29 – Моделирование прихода инкассаторов

Функция $triangular()$ это стандартная функция генерации случайных чисел AnyLogic. AnyLogic предоставляет функции и для других случайных распределений, нормальное, равномерное, треугольное и т. д.

Второй объект source моделирует приход в банковский отдел клиентов, интенсивность прихода зависит от расписания прихода клиентов (рисунок 30). После того как агенты создались они попадают в блок выбора *SelectOutput5* и

выбирают один из вариантов исходов событий (1 – Идти к банкоматам, 2 – Идти в банковский зал, 3 – Идти в кассу, 4 – Зашел и вышел). Опишем их подробно.

1) Идти к банкоматам

Агент попадает во второй блок с выбором *SelectOutput5* и после него с вероятностью в 0.2 идёт в одну из очередей (Queue) к банкоматам. Вместимость, которой 15 агентов и время ожидания 5 минут. Банкоматы изображаются объектом *Delay* и задерживают одного агента с помощью функции *triangular(0.3, 1.5, 3.5)*. В конце при помощи объекта *Sink(Обслуженные_через_банкоматы)* агенты уничтожаются.

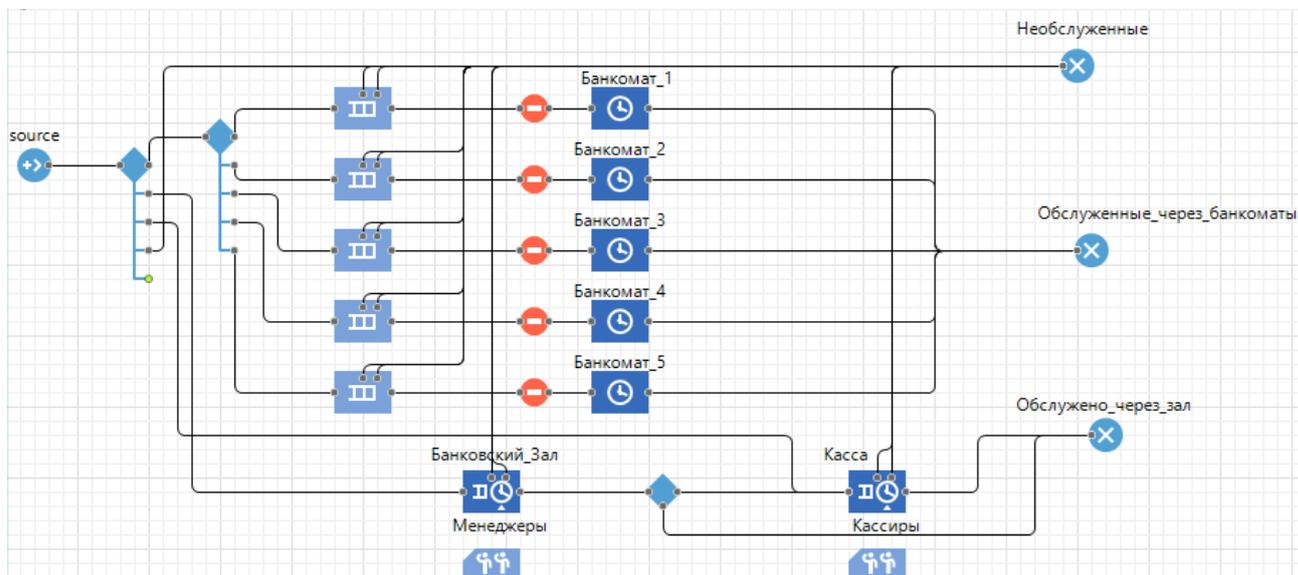


Рисунок 30 – Моделирование прихода клиентов

2) Идти в банковский зал

Service – захватывает указанное количество ресурсов для агента, удерживает их, а затем освобождает захваченные ресурсы. Эквивалентен последовательности блоков *Seize*, *Delay*, *Release* (и сам реализован именно таким способом) и должен использоваться в тех случаях, когда все, что требуется - это задержать захваченные ресурсы на заданное время, а затем их отпустить. Большинство параметров этих вложенных блоков вынесены в интерфейс блока *Service*.

Банковский зал изображен на процессорной диаграмме с помощью блока

Service. Вместимость 20 агентов, время выхода агента из очереди задано функцией *uniform(10,15)* и содержит ресурс (ResourcePool) «Менеджеры» которые задерживают агенты с помощью функции *triangular(3, 6.5, 15)*, а приходят «менеджеры» по расписанию смен рисунок 31.

ResourcePool - Задаёт набор ресурсов, которые могут захватываться и освобождаться агентами с помощью блоков *Seize*, *Release*, *Assembler* и *Service*.

Ресурсы могут быть трех типов:

- Статические ресурсы привязаны к определенному местоположению (например, узлу) внутри сети и не могут быть перемещаться или быть перемещены. Примером статического ресурса может быть рентгеновский кабинет или весы-платформа.

- Движущиеся ресурсы могут перемещаться сами по себе, они могут представлять персонал, транспорт, и т.д.

- Переносные ресурсы могут быть перемещены агентами или движущимися ресурсами. Переносное ультразвуковое устройство или кресло-каталка могут быть примерами переносных ресурсов.

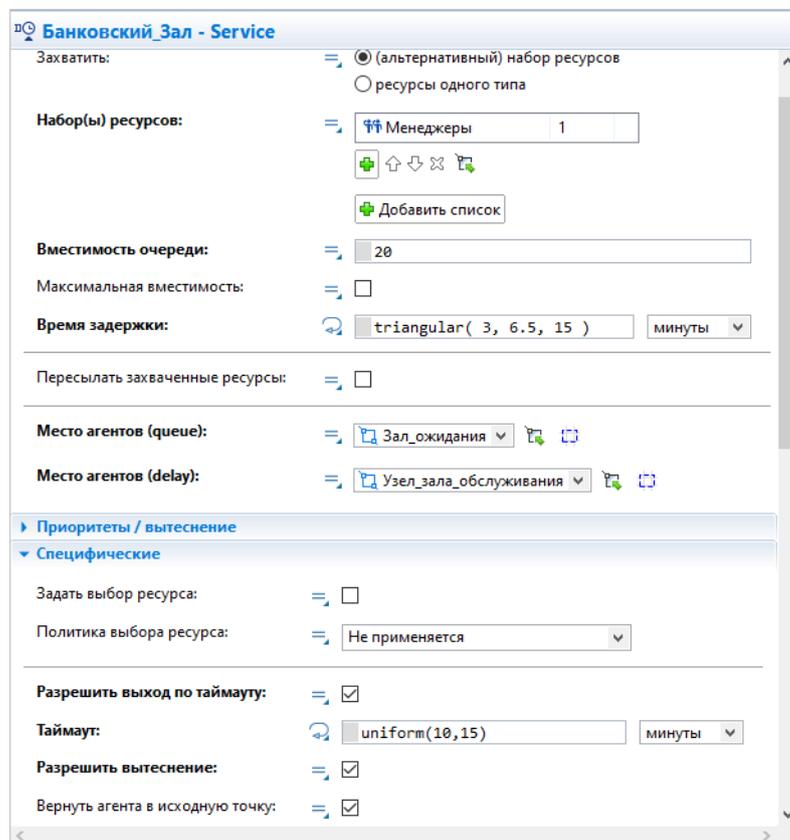


Рисунок 31 – Банковский зал

При выходе из объекта *Service* агенту вешается шлаг *true* с вероятностью 0.4 (*if (randomTrue(0.4)) agent.Тип_Клиента=true*). Агент переходит в блок *selectOutput*, там проверяется условие (*agent.Тип_Клиента==true*), если оно ложное, то агент уничтожается блоком *Sink(Обслужено_через_зал)*.

Иначе агент идет на обслуживание в кассу. Блока *Servis* у которого вместимость 10, время выхода агента из очереди задаётся функцией *uniform(10,15)* и содержит ресурс (*ResourcePool*) «Кассиры» которые задерживают агенты с помощью функции *triangular(1,1.5,3)*, «Кассиры» приходят по расписанию кассиров. В конце агенты уничтожаются блоком *Sink(Обслужено_через_зал)*

3) Идти в кассу

Агент немедленно отправляется в блок «Касса», где он также выполняется, как описано выше в пункте 2.

4) Зашел и вышел

Создается агент, который вошел в банковский отдел, а затем покинул его.

После можем запускать модель, при запуске она автоматически сохранится (Приложение А). Можем изменить скорость выполнения модели. За состоянием любого блока диаграммы процесса можно следить во время выполнения модели с помощью окна инспектора этого объекта для его вызова надо щелкнуть мышкой по этому блоку

Шаг 2. Создание анимации модели

Создадим визуализированный план банковского отделения. Добавим схематическую анимацию интересующих нас объектов –банкомат и ведущую к нему очередь клиентов (рисунок 32).

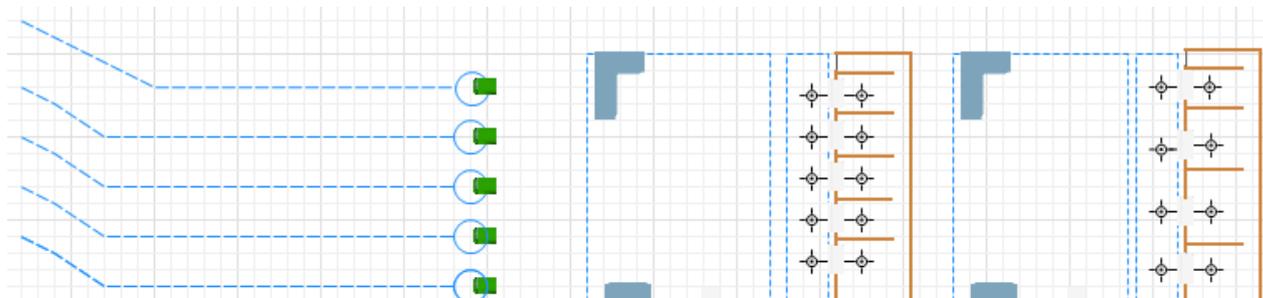


Рисунок 32 – Создание 2D анимации

Выделим щелчком точечный узел в графическом редакторе, для открытия панели *Свойства*. Чтобы изменить цвет фигуры во время моделирования, введите выражение, которое будет постоянно вычисляться снова при выполнении модели, в поле Цвет: «Банкомат_1.size()>0? red: green»

«Банкомат_1» - это имя объекта задержки. Функция size() возвращает количество людей, обслуженных в данный момент времени. Если банкомат свободен, цвет круга будет зелёным, в противном случае - красным.

Нажмите на блок очереди на диаграмме процесса, чтобы открыть для него панель свойств и соедините его с *path*, теперь у нас появилась очередь к банкоматам.

Теперь модель имеет простую анимацию - банкомат и очередь клиентов, ведущих к нему. Цвет формы банкомата будет меняться в зависимости от того, обслуживается ли клиент.

Зона банковского зала разделена на три части, первая очередь - зал ожидания, вторая задержка - узел зала обслуживания, третья часть – это место менеджеров. Область кассы идентичная банковскому залу рисунок 33.

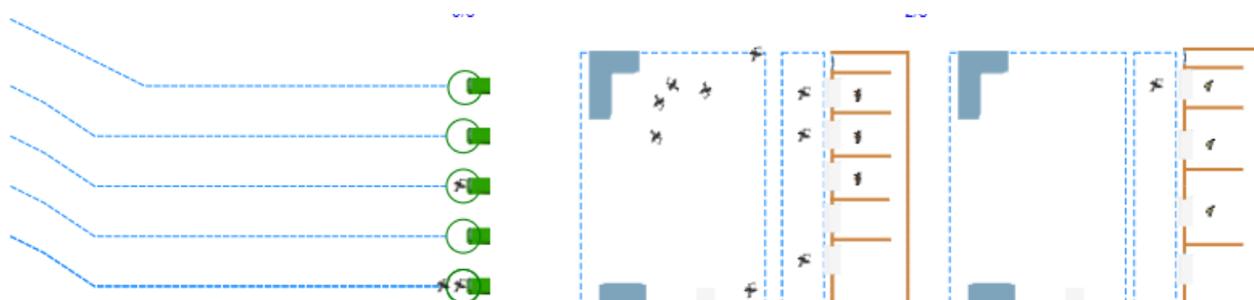


Рисунок 33 – Запуск программы

Добавление 3D окна и 3D анимации (рисунок 35). Добавим фигуру клиента банка, менеджерам и кассирам (рисунок 34).

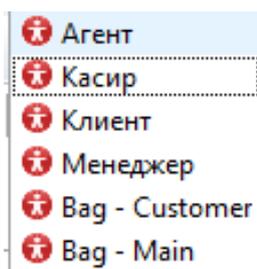


Рисунок 34 – Назначение агентам анимации

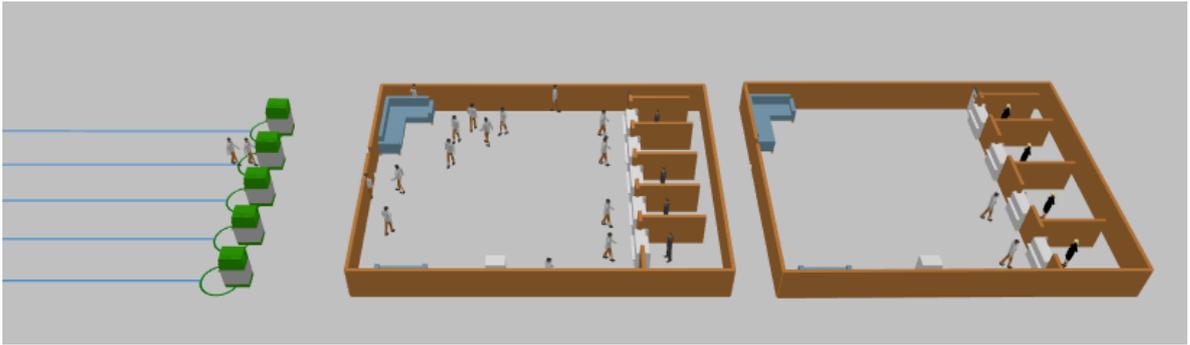


Рисунок 35 – 3D–модель

Шаг 3. Аккумуляция данных

Длина очереди измеряется количестве заявок в ней, а загруженность банкомата измеряется в процентах (доля занятости).

Используя палитру свойств, добавьте диаграмму (*Chart*), она будет показывать загруженность банкоматов (`Банкомат_1.statsUtilization.mean()`) (рисунок 36).

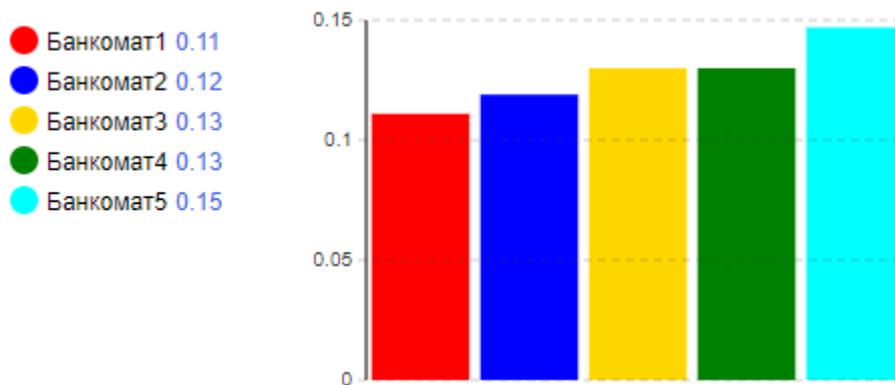


Рисунок 36 – Загруженность банкоматов

«Банкомат_1» – это имя нашего объекта задержки. Каждый объект задержки имеет встроенный набор данных `statsUtilization`, который собирает статистику использования для этого объекта. Функция `mean()` возвращает среднее значение всех значений, измеренных этим набором данных. Вы также можете использовать другие методы сбора статистики, `min()` или `max()`.

Добавим вторую столбиковую диаграмму, изменив внешний вид (направим столбики вертикально) и она будет показывать длину очереди к банкоматам (`queue.statsSize.mean()`) (рисунок 37).

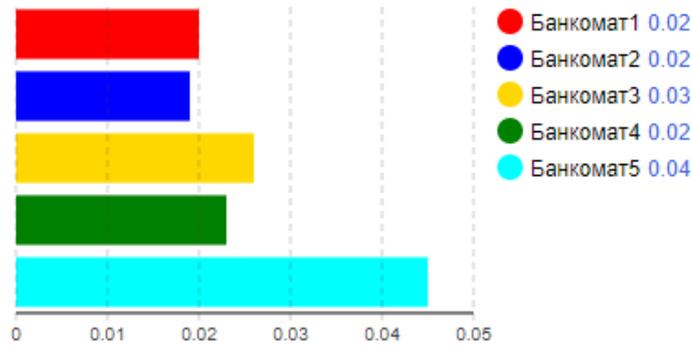


Рисунок 37 – Очередь к банкоматам

«*queue*» - это имя нашего объекта очереди. Каждый объект очереди, как и объект задержки, имеет встроенный набор данных *Statsize*, который собирает статистику использования для этого объекта. Функция *mean()* возвращает среднее значение всех значений, измеренных этим набором данных.

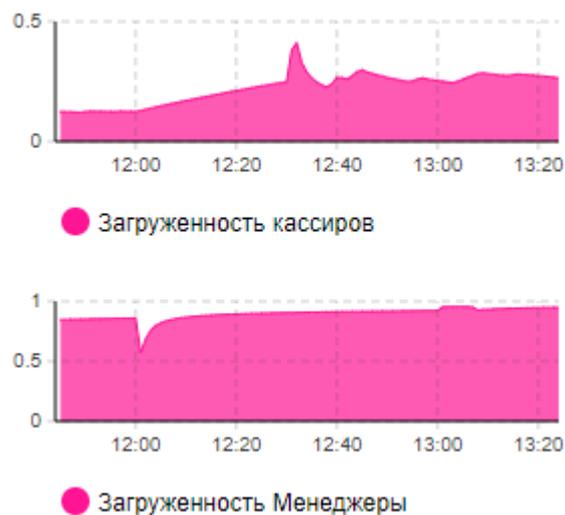


Рисунок 38 – Загруженность кассиров и менеджеров

Функция *utilization()* - Возвращает среднее значение коэффициентов загрузки каждого ресурса этого блока (собранные за время, прошедшее с последнего вызова функции *resetStats()*). Если количество доступных ресурсов задано с помощью расписания, то коэффициент загрузки рассчитывается только для рабочих часов (рисунок 38).

Для того чтоб посмотреть количество занятых менеджеров и кассиров построим временную диаграмму с накоплением. По ней видно, когда менеджеры и кассиры заняты, а когда просто простаивают время (рисунок 39).

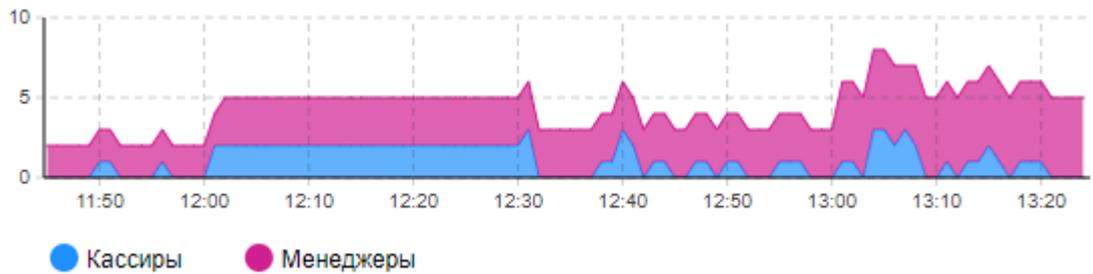


Рисунок 39 – Временная диаграмма занятости менеджеров и кассиров

Функция *busy()* - Возвращает сумму занятых ресурсов, даже те, которые находятся в процессе завершения, обслуживания, перерыва или сбоя.

Добавим круговую диаграмму, которая покажет, сколько людей обслуживается банкоматами, обслуживается через зал банка и не обслуживается вообще. Для этого мы пишем код на каждом блоке (*sink*) (на первом (Обслужено_банкомат++;), на втором (Обслужено_зал++;), на третьем (Не_обслужено++;)) (рисунок 40).

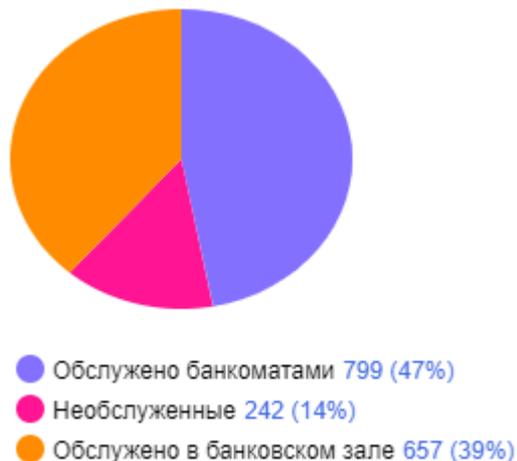
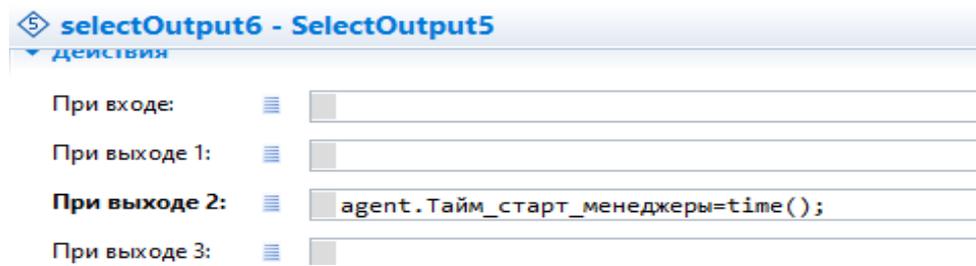


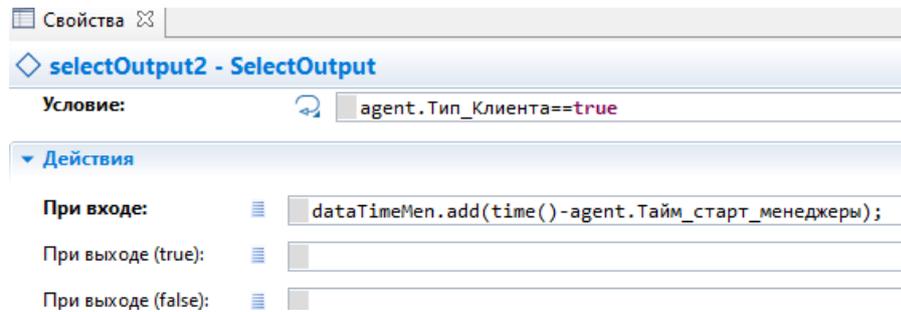
Рисунок 40 – Круговая диаграмма

Чтобы узнать среднее время у менеджеров и время нахождения в банке используется код при входе и выходе в определённых блоках.

Аналогично блокам *TimeMeasureStart* и *TimeMeasureEnd* библиотеки моделирования процессов [13]. Которые записывают время прохождения через счетчик начала и конца. Присутствует две пары таких счетчиков (рисунок 41).



a



б

Рисунок 41 – Код для подсчета среднего времени:

a – начальный счетчик, *б* – конечный счетчик

Добавление гистограммы и *dataTimeBank* (данные гистограммы), чтобы получить среднее время, проведенное клиентами в банке. Для этого мы пишем код на подходе к выходу *Source* (*agent.Тайм_старт=time();*) и на каждом блоке *sink* (*dataTimeBank.add(time()-agent.Тайм_старт);*) (рисунок 42).

Объект **Данные гистограммы:**

- Выполняет обычный статистический анализ добавленных значений (вычисляет среднее значение, минимум, максимум, дисперсию, средний доверительный интервал, и т.д.).
- Производит построение функции плотности распределения вероятности и интегральной функции распределения на фиксированном или автоматически выбирающемся наборе интервалов.
- Вычисляет верхний и нижний процентиля (или рисковые значения с заданным процентом) с отклонением, равным ширине интервала.



Рисунок 42 – Среднее время нахождения клиентов в банковском отделе

Добавим гистограмму и `dataTimeMen`(Данные гистограммы), для получения среднего времени нахождения клиентов у менеджеров. Для этого прописываем код на подходе к выходу 2 `selectOutput6` (`agent.Тайм_старт_менеджеры=time();`) и при входе в блоке `selectOutput2` (`dataTimeMen.add(time()-agent.Тайм_старт_менеджеры);`) (рисунок 43).



Рисунок 43 – Среднее время нахождения клиентов у менеджеров

3.3 Анализ результатов моделирования

Анализ результатов работы при неоднократном запуске имитации показывает следующее:

- все пять банкоматов загружены незначительно, об этом говорит и малое значение очереди к каждому из них;
- загруженность кассиров не превышает 45% в часы пик, в остальное вре-

мя эта величина составляет 20-30%;

- менеджеры отделения загружены сильно, в часы пик эта величина превышает значение 95%;

- необслуженными из отделения уходят 14% посетителей, при этом большая часть этого значения приходится на не дождавшихся своей очереди на обслуживание у менеджеров;

- большая часть клиентов находится в отделении менее 5 минут, при этом для большинства посетителей время нахождения у менеджеров с учетом нахождения в очереди составляет от 10-25 минут.

С целью оптимизации рабочего времени сотрудников и уменьшению доли клиентов, покидающих отделение необслуженными, внесем в модель следующие изменения:

- количество банкоматов сократим до 3;
- установим новое расписание смен менеджеров:

9:00–12:00 – 3 менеджера;

12:00–13:00 – 4 менеджера;

13:00–17:00 – 7 менеджеров;

17:00–20:00 – 6 менеджера;

20:00–22:00 – 3 менеджера;

22:00–23:00 – 2 менеджера;

- установим новое расписание смен кассиров:

9:00–12:30 – 1 кассир;

12:30–17:00 – 2 кассира;

17:00–20:00 – 3 кассира;

20:00–23:00 – 1 кассир.

Проведем запуск имитационной модели и получим новые данные о работе отделения (рисунок 43-49).



Рисунок 43 – Загруженность банкоматов

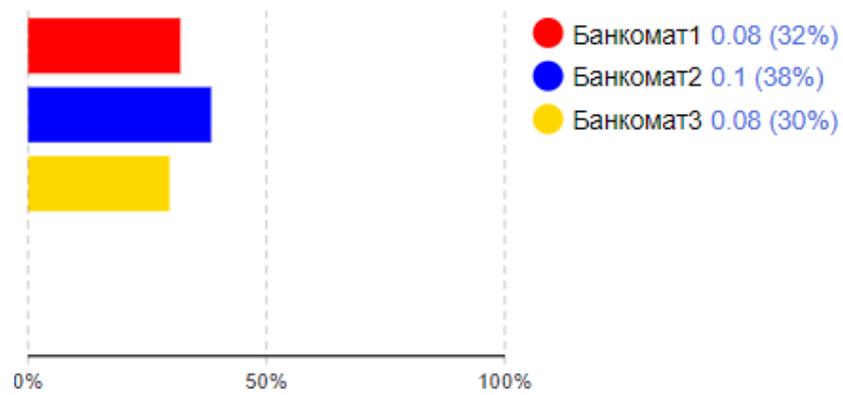
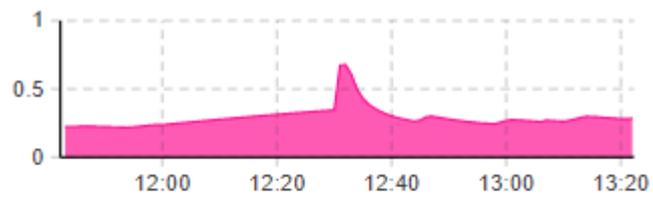
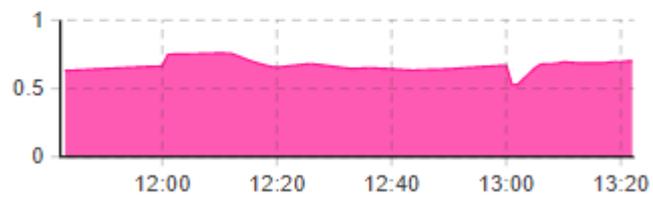


Рисунок 44 – Очередь к банкоматам



● Загруженность кассиров



● Загруженность Менеджеры

Рисунок 45 – Загруженность кассиров и менеджеров

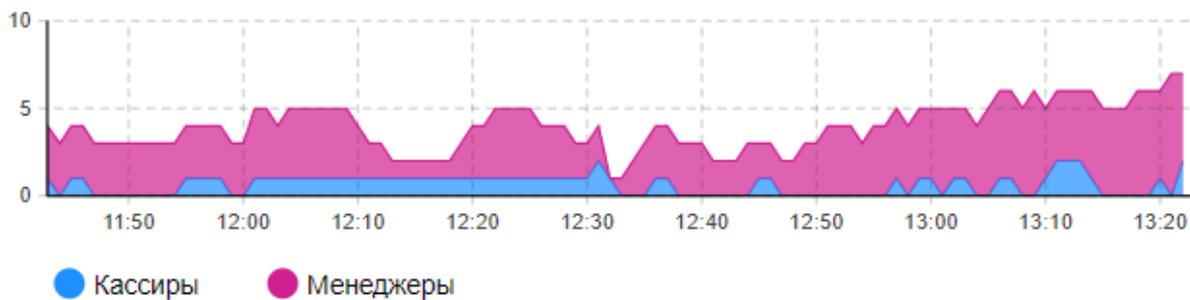
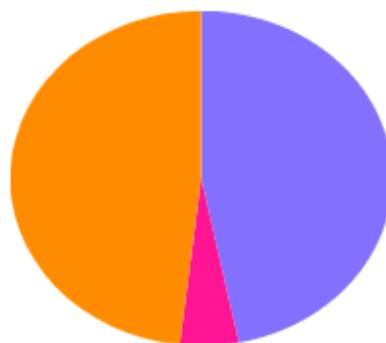
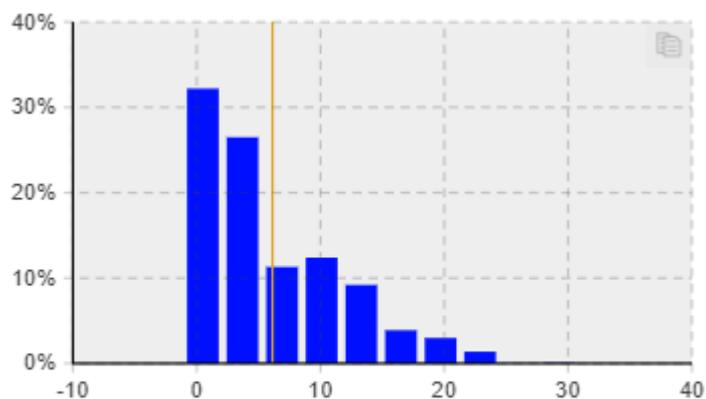


Рисунок 46 – Временная диаграмма занятости менеджеров и кассиров



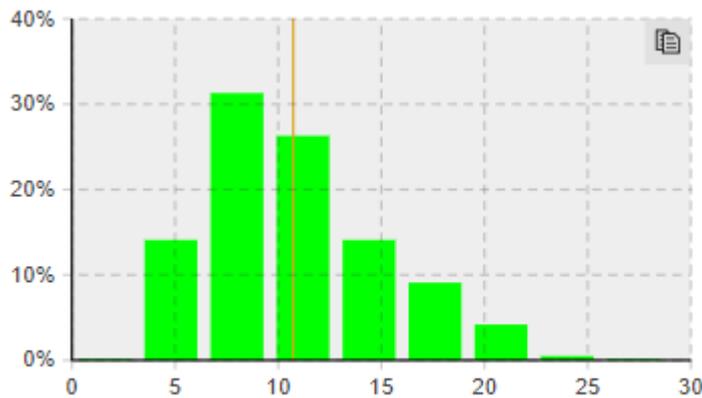
- Обслужено банкоматами 728 (47%)
- Необслуженные 77 (5%)
- Обслужено в банковском зале 749 (48%)

Рисунок 47 – Круговая диаграмма



- Среднее время нахождения в банке 6.12

Рисунок 48 – Среднее время нахождения клиентов в банковском отделе



● Среднее время нахождения клиентов у менеджеров 10.73

Рисунок 49 – Среднее время нахождения клиентов у менеджеров

Запуск имитации с новыми входными данными показал, что:

- до 5%, сократился процент необслуженных клиентов;
- загруженность кассиров возросла, но остается низкой;
- загруженность менеджеров сократилась и в часы пик составила от 60 до 70%;
- сократилось среднее время нахождения клиентов в отделении (с 7.18 до 6.12 мин.) и среднее время нахождения клиентов у менеджеров (с 14.48 до 10.73 мин).

Это говорит, что система с новыми данными работает эффективнее. Далее можно еще уменьшить количество кассиров и увеличить количество менеджеров, либо продумать механизмы по ускорению их работы. Эти меры необходимы, во-первых, чтобы сократить количество персонала, которые не заняты в большей части рабочего времени и, во-вторых, сократить количество необслуженных посетителей банка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Имитационное моделирование является мощным и удобным средством исследования сложных систем, математическое описание которых является достаточно сложным, а в некоторых случаях и невозможным. Методы и средства имитационного моделирования позволяют избегать реальных испытаний над объектами, разумеется, при условии, что для построения имитационной модели были учтены и корректно описаны все основные компоненты системы и связи между этими элементами.

В настоящее время существует множество средств имитационного моделирования. Как правило, каждый из пакетов настроен на исследование определенного вида моделей (транспортные потоки, системы массового обслуживания, химико-технологические процессы и др.).

В данной бакалаврской работе в среде AnyLogic построена и исследована имитационная модели банковского отделения.

По результатам работы на XXIX и XXX научных конференциях «День науки АмГУ» были сделаны доклады, опубликована одна научная статья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Ivanov, D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic: decision-oriented introductory notes for master students / D. Ivanov. – 2nd Edition. – E-Textbook. – Berlin School of Economics and Law (preprint), 2017. – 97 p.
- 2 Березовская, Е.А. Имитационное моделирование рекламной кампании интернет-предприятия в среде AnyLogic / Е.А. Березовская, С.А. Плотников // Міжнародний науковий журнал, 2015. – № 9. – С. 86-90.
- 3 Боев, В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7 / В.Д. Боев. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с
- 4 Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: учебное пособие для вузов / Е.С. Вентцель. – М.: Дрофа, 2006. – 206 с.
- 5 Данилов, А.М. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем: учебное пособие / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Э.Р. Домке. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ЭБС АСВ, 2011. – 296 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23100.html>
- 6 Карташевский, В.Г. Основы теории массового обслуживания: учебное пособие для вузов / В.Г. Карташевский. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 130 с.
- 7 Климов, Г.П. Теория массового обслуживания: учебное пособие / Г.П. Климов. – Электрон. текстовые данные. – М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2011. – 312 с.
- 8 Кошуняева, Н.В. Теория массового обслуживания (практикум по решению задач): Учебно-методическое пособие / Н.В. Кошуняева, Н.Н. Патронова. – Архангельск, 2013. – 109 с.
- 9 Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7. В 2 ч., ч. 1: учебное пособие / О.В. Лимановская. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 152 с.

10 Лимановская, О.В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7. В 2 ч., ч. 2: лабораторный практикум / О.В. Лимановская. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 104 с.

11 Липенков, А.В. О практическом опыте моделирования нового сервиса в крупном торгово-развлекательном центре / А.В. Липенков, С.П. Усов, С.В. Масыгин, М.В. Толстогузов // ИММОД, 2017. – № 3. – С. 452-455.

12 Максимова, Н.Н. Имитационное моделирование работы отделения банка в среде AnyLogic / Н.Н. Максимова, А.В. Милюков // материалы региональной научно-практической конференции «ТОГУ-Старт: фундаментальные и прикладные исследования молодых». – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2021. – С. 132-139.

13 Мезенцев, К.Н. Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1: учебное пособие». Часть 2 / К.Н. Мезенцев, под редакцией Заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора А.Б. Николаева. – М.: МАДИ, 2011. – 103 с.

14 Мокшин, В.В. Особенности оптимизации работы систем массового обслуживания в AnyLogic на примере фитнес-центра / В.В. Мокшин, А.П. Кирпичников, Е.Л. Буйнова, Э.Р. Гараева, А.А. Ямалтдинова, А.В. Золотухин // Вестник Технологического университета, 2019. – Т. 22, № 5. – С. 132-140

15 Рыжиков, Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями: учебное пособие / Ю.И. Рыжиков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 112 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113404>

16 Саакян, Г.Р. Теория массового обслуживания: лекция / Г.Р. Саакян. – Шахты, 2006. – 28 с.

17 Солнышкина, И.В. Теория систем массового обслуживания: учебное пособие / И.В. Солнышкина. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 76 с.

18 Стерлигов, А.К. Использование метода имитационного моделирования в прикладных логистических задачах: научная статья / А.К. Стерлигов // Логистика сегодня, 2006. – № 1. – С. 40-48.

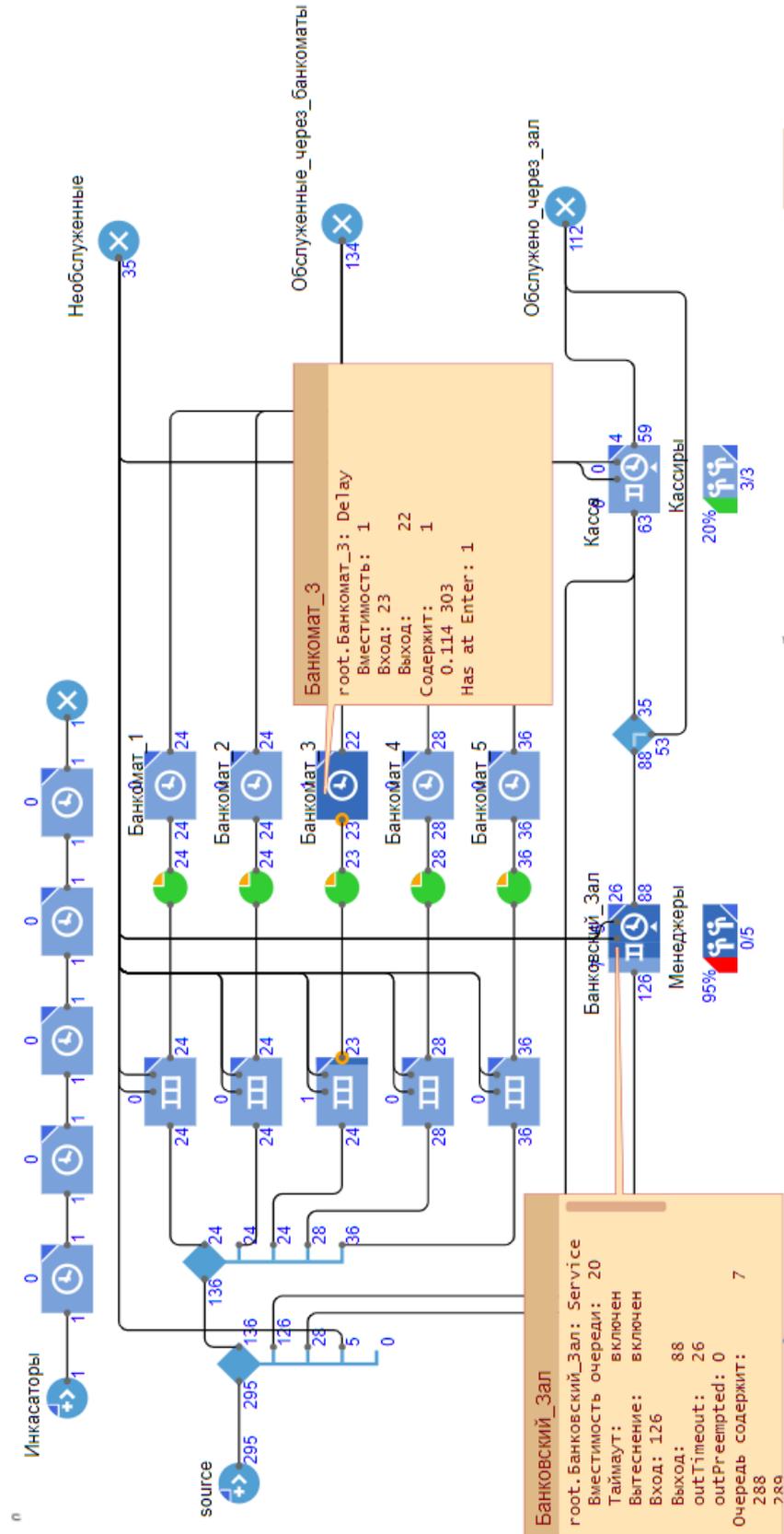
19 Тихонова, Н.В. Имитационное моделирование с AnyLogic в логистике / Н.В. Тихонова, Е.С. Минкова // Транспорт и сервис, 2016. – № 4. – С. 32-41.

20 Шамлицкий, Я.И. Моделирование транспортных потоков в среде AnyLogic / Я.И. Шамлицкий, А.С. Охота, С.Н. Мироненко // Программные продукты и системы, 2018. – № 3. – С. 632-635.

21 Шарнин, Л.М. Моделирование задачи производства изделий с помощью AnyLogic / Л.М. Шарнин, А.П. Кирпичников, Р.А. Нитшаев, Б.М. Заляев, В.Д. Васильев, Ш.А. Шайхутдинов. // Вестник Технологического университета, 2019. – С. 22, № 4. – С. 153-157

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Скриншот запущенной имитационной модели банковского отдела



ПРИЛОЖЕНИЕ Б
Сертификат участника конференции



Амурский
Государственный
Университет

СЕРТИФИКАТ

Настоящий сертификат подтверждает, что

Минюков Алексей

приняла участие в XXX научной конференции
Амурского государственного университета
«День науки»
на секции

Математическое и
компьютерное моделирование

Плутенко А.Д.
Ректор, председатель
оргкомитета конференции

Благовещенск
15 апреля 2021

