

## Содержание

### Введение

### Глава 1. Теоретические основы имитационного моделирования

#### 1.1 Понятие имитационного моделирования

#### 1.2 Этапы имитационного моделирования

#### 1.3 Обзор систем имитационного моделирования

#### 1.4 Среда имитационного моделирования Anylogic

#### 1.5 Общая характеристика систем массового обслуживания

### Глава 2. Практическая часть

#### 2.1 Описание моделируемого процесса

#### 2.2 Формализация моделируемого процесса

#### 2.3 Разработка имитационной модели

#### 2.4 Вычислительный эксперимент

### Заключение

### Список литературы

### Введение

Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) - метод, позволяющий строить модели, описывающие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно "проиграть" во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

Стремительное развитие области информационных технологий и ее преобразующая роль в управлении общественными процессами сделали область информационных технологий катализатором управленческого прогресса. В России в последнее время активно предпринимаются шаги, направленные на превращение страны в современное высокотехнологичное государство. Мировая практика принятия сложных управленческих решений в различных экономических, социальных, политических, технических, военных и иных системах перешла на принципиально новый уровень методологической и инструментальной поддержки, когда те или иные варианты решений должны быть предварительно апробированы не на реальных объектах и людях, а на их аналогах, т. е. на моделях. В этой связи осуществление экономических, технических, политических решений или новаций требует предварительных оценок финишных результатов при помощи системного анализа и имитационного моделирования (ИМ). Этим объясняется актуальность темы данного исследования.

Целью курсовой работы является разработка имитационной модели технического

контроля изделий в среде AnyLogic.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- рассмотреть основные понятия имитационного моделирования;
- изучить модель технического контроля изделий;
- изучить возможности работы среды разработки компьютерных моделей AnyLogic;
- построить концептуальную модель технического контроля изделий;
- построить имитационную модель технического контроля изделий;
- разработать анимацию в среде AnyLogic;
- оценить адекватность модели;
- провести калибровку;
- провести вычислительные эксперименты;
- произвести статистический анализ результатов.

Особое место среди сред разработки компьютерных моделей сложных систем принадлежит много подходной среде моделирования имитационных моделей - AnyLogic. Разные средства спецификации и анализа результатов, имеющиеся в AnyLogic, позволяют строить модели имитирующие практически любой реальный процесс. Графическая среда моделирования поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов, оптимизацию параметров относительно некоторого критерия.

Глава 1. Теоретические основы имитационного моделирования

### 1.1 Понятие имитационного моделирования

Создание вычислительных машин обусловило развитие нового подкласса математических моделей - имитационные модели.

Процесс создания и испытания таких моделей называется имитационным моделированием, а сам алгоритм - имитационной моделью.

Имитационное моделирование предполагает представление модели в виде некоторого алгоритма - компьютерной программы, выполнение которого имитирует последовательность смены состояний в системе и таким образом представляет собой поведение моделируемой системы.

В чем заключается отличие имитационных и аналитических моделей?

В случае аналитического моделирования ЭВМ является мощным калькулятором, арифмометром. Аналитическая модель решается на ЭВМ.

В случае же имитационного моделирования имитационная модель - программа - реализуется на ЭВМ.

Имитационные модели достаточно просто учитывают влияние случайных факторов. Для аналитических моделей это серьезная проблема. При наличии случайных факторов необходимые характеристики моделируемых процессов получают многократными прогонами (реализациями) имитационной модели и дальнейшей статистической обработкой накопленной информации. Поэтому часто имитационное моделирование процессов со случайными факторами называют статистическим моделированием.

Если исследование объекта затруднено использованием только аналитического или

имитационного моделирования, то применяют смешанное (комбинированное), аналитико-имитационное моделирование. При построении таких моделей процессы функционирования объекта декомпозируются на составляющие подпроцессы, для которых возможно используют аналитические модели, а для остальных подпроцессов строят имитационные модели. Имитационный модель компьютерный. Наиболее важный признак имитационной модели - способ представления в модели динамики (движения) системы. Она может быть описана посредством событий, работ (активностей), процессов и транзактов.

Другой важный признак - способ изменения модельного времени. По этому признаку различают моделирование с постоянным шагом и моделирование по особым состояниям.

В большинстве случаев конечной целью моделирования является оптимизация тех или иных параметров системы. Однако, как было отмечено выше, потенциальные возможности имитационного моделирования существенно шире. В зависимости от этапа и назначения проводимых исследований применяется один из трех наиболее распространенных видов имитационных экспериментов:

- исследование относительного влияния различных факторов на значения выходных характеристик системы;
- нахождение аналитической зависимости между интересующими исследователя выходными характеристиками и факторами;
- отыскание оптимальных значений параметров системы (так называемый "экстремальный эксперимент").

Вид эксперимента влияет не только на выбор схемы ее формализации, но также на построение плана эксперимента и выбор метода обработки его результатов.

С точки зрения организации взаимодействия исследователя с моделью в ходе эксперимента ИМ делятся на автоматические и диалоговые.

Автоматическими называются ИМ, взаимодействие пользователя с которыми сводится только к вводу исходной информации и управлению началом и окончанием работы моделей.

Диалоговыми называются ИМ, позволяющие исследователю активно управлять ходом моделирования.

## 1.2 Этапы имитационного моделирования

Вне зависимости от типа моделей (непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастические и т.д.) имитационное моделирование является сложным итеративным процессом и включает в себя ряд основных этапов, представленных на рисунке 2.

Основные этапы:

- формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования.

Документированным результатом на этом этапе является составленное содержательное описание объекта моделирования;

- разработка концептуального описания. Результатом деятельности системного аналитика является концептуальная модель (или вербальное описание) и выбор способа формализации для заданного объекта моделирования;

## Рисунок 2 - Этапы имитационного моделирования

- формализация имитационной модели. Составляется формальное описание объекта моделирования;
- программирование имитационной модели (разработка программы-имитатора). На этапе осуществляется выбор средств автоматизации моделирования, алгоритмизация, программирование и отладка имитационной модели;
- испытание и исследование модели, проверка модели. Проводится верификация модели, оценка адекватности, исследование свойств имитационной модели и другие процедуры комплексного тестирования разработанной модели;
- планирование и проведение имитационного эксперимента. На данном технологическом этапе осуществляется стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Результатом является составленный и реализованный план эксперимента, заданные условия имитационного прогона для выбранного плана;
- анализ результатов моделирования. Проводится интерпретация результатов моделирования и их использование - собственно принятие решений.

### 1.3 Обзор систем имитационного моделирования

Применение имитационных моделей дает множество преимуществ по сравнению с выполнением экспериментов над реальной системой и использованием других методов.

- Применение имитационной модели помогает при минимальных затратах принять обоснованное решение.
- Имитационная модель позволяет определить оптимальность изменений за считанные минуты, необходимые для проведения эксперимента.
- С помощью имитационной модели можно провести неограниченное количество экспериментов с разными параметрами, чтобы определить наилучший вариант.
- Традиционные расчетные математические методы требуют применения высокой степени абстракции и не учитывают важные детали. Имитационное моделирование позволяет описать структуру системы и её процессы в естественном виде, не прибегая к использованию формул и строгих математических зависимостей.
- Имитационная модель обладает возможностями визуализации процесса работы системы во времени, схематичного задания её структуры и выдачи результатов в графическом виде. Это позволяет наглядно представить полученное решение и донести заложенные в него идеи до клиента и коллег.
- Имитационное моделирование позволяет решать задачи из любых областей: производства, логистики, финансов, здравоохранения и многих других. В каждом случае модель имитирует, воспроизводит, реальную жизнь и позволяет проводить широкий набор экспериментов без влияния на реальные объекты.

#### Сфера применения

Имитационное моделирование может применяться в самых различных сферах деятельности. Ниже приведен список задач, при решении которых моделирование особенно эффективно:

- проектирование и анализ производственных систем;

- оценка различных систем вооружений и требований к их материально-техническому обеспечению;
- определение требований к оборудованию и протоколам сетей связи;
- определение требований к оборудованию и программному обеспечению различных компьютерных систем;
- проектирование и анализ работы транспортных систем, например: аэропортов, автомагистралей, портов и метрополитена;
- оценка проектов создания различных организаций массового обслуживания, например: центров обработки заказов, заведений быстрого питания, больниц, отделений связи;
- модернизация различных процессов в деловой сфере;
- определение политики в системах управления запасами;
- анализ финансовых и экономических систем;
- при подготовке специалистов и освоении новой техники на имитаторах (тренажерах).

Например, имитационное моделирование может использоваться при рассмотрении производственной компанией возможности постройки больших дополнительных помещений для одного из ее подразделений, если руководство компании не уверено, что потенциальный рост производительности сможет оправдать затраты на строительство. Невозможно соорудить помещения, а затем убрать их в случае нерентабельности, в то время как моделирование работы производственной компании в ее текущем состоянии и с якобы созданными дополнительными помещениями помогает в решении этой проблемы.

#### 1.4 Среда имитационного моделирования Anylogic

AnyLogic - программное обеспечение для имитационного моделирования, разработанное российской компанией The AnyLogic Company (бывшая "Экс Джей Текнолоджис", англ. XJ Technologies). Инструмент обладает современным графическим интерфейсом и позволяет использовать язык Java для разработки моделей.

Среда моделирования:

- Stock & Flow Diagrams (диаграмма потоков и накопителей) применяется при разработке моделей, используя метод системной динамики.
- Statecharts (карты состояний) в основном используется в агентных моделях для определения поведения агентов. Но также часто используется в дискретно-событийном моделировании, например для симуляции машинных сбоев.
- Action charts (блок-схемы) используется для построения алгоритмов. Применяется в дискретно-событийном моделировании (маршрутизация звонков) и агентном моделировании (для логики решений агента).
- Process flowcharts (процессные диаграммы) основная конструкция, используемая для определения процессов в дискретно-событийном моделировании.

Среда моделирования также включает в себя: низкоуровневые конструкции моделирования (переменные, уравнения, параметры, события и т.п.), формы

представления (линии, квадраты, овалы и т.п), элементы анализа (базы данных, гистограммы, графики), стандартные картинки и формы экспериментов.

Среда моделирования AnyLogic поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью, включая различные виды анализа - от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно некоторого критерия.

Библиотеки AnyLogic:

- Process Modeling Library разработана для поддержки дискретно-событийного моделирования в таких областях как Производство, Цепи поставок, Логистика и Здравоохранение. Используя Process Modeling Library, вы можете смоделировать системы реального мира с точки зрения заявок (англ. entity) (сделок, клиентов, продуктов, транспортных средств, и т. д.), процессов (последовательности операций, очередей, задержек), и ресурсов. Процессы определены в форме блочной диаграммы.

- Pedestrian Library создана для моделирования пешеходных потоков в "физической" окружающей среде. Это позволяет Вам создавать модели с большим количеством пешеходного трафика (как станции метро, проверки безопасности, улицы и т. д.).

Модели поддерживают учёт статистики плотности движения в различных областях. Это гарантирует приемлемую работу пунктов обслуживания с ограничениями по загруженности, оценивает длину простаивания в определённых областях, и обнаруживает потенциальные проблемы с внутренней геометрией - такие как эффект добавления слишком большого числа препятствий - и другими явлениями. В моделях, созданных с помощью Pedestrian Library, пешеходы движутся непрерывно, реагируя на различные виды препятствий (стены, различные виды областей) так же как и обычные пешеходы. Пешеходы моделируются как взаимодействующие агенты со сложным поведением. Для быстрого описания потоков пешеходов Pedestrian Library обеспечивает высокоуровневый интерфейс в виде блочной диаграммы.

- Rail Yard Library поддерживает моделирование, имитацию и визуализацию операций сортировочной станции любой сложности и масштаба. Модели сортировочной станции могут использовать комбинированные методы моделирования (дискретно-событийное и агентное моделирование), связанные с действиями при транспортировке: погрузками и разгрузками, распределением ресурсов, обслуживанием, различными бизнес-процессами.

#### 1.5 Общая характеристика систем массового обслуживания

Системы массового обслуживания (СМО)-- это такие системы, в которые в случайные моменты времени поступают заявки на обслуживание, при этом поступившие заявки обслуживаются с помощью имеющихся в распоряжении системы каналов обслуживания.

С позиции моделирования процесса массового обслуживания ситуации, когда образуются очереди заявок (требований) на обслуживание, возникают следующим образом. Поступив в обслуживающую систему, требование присоединяется к очереди других (ранее поступивших) требований. Канал обслуживания выбирает требование из находящихся в очереди, с тем, чтобы приступить к его обслуживанию. После завершения процедуры обслуживания очередного требования канал обслуживания

приступает к обслуживанию следующего требования, если таковое имеется в блоке ожидания.

Примерами систем массового обслуживания могут служить магазины, банки, ремонтные мастерские, почтовые отделения, телефонные станции и т.д.

Основными компонентами системы массового обслуживания любого вида являются:

1. входной поток поступающих требований или заявок на обслуживание;
2. дисциплина очереди;
3. механизм обслуживания.

Функциональные возможности любой системы массового обслуживания определяются следующими основными факторами:

1. вероятностным распределением моментов поступлений заявок на обслуживание (единичных или групповых);
2. вероятностным распределением времени продолжительности обслуживания;
3. конфигурацией обслуживающей системы (параллельное, последовательное или параллельно-последовательное обслуживание);
4. количеством и производительностью обслуживающих каналов;
5. дисциплиной очереди;
6. мощностью источника требований.

В качестве основных критериев эффективности функционирования систем массового обслуживания в зависимости от характера решаемой задачи могут выступать:

1. вероятность немедленного обслуживания поступившей заявки;
2. вероятность отказа в обслуживании поступившей заявки;
3. относительная и абсолютная пропускная способность системы;
4. средний процент заявок, получивших отказ в обслуживании;
5. среднее время ожидания в очереди;
6. средняя длина очереди;
7. средний доход от функционирования системы в единицу времени и т.п.

Предметом теории массового обслуживания является установление зависимости между факторами, определяющими функциональные возможности системы массового обслуживания, и эффективностью ее функционирования. В большинстве случаев все параметры, описывающие системы массового обслуживания, являются случайными величинами или функциями, поэтому эти системы относятся к стохастическим системам.

Независимо от характера процесса, протекающего в системе массового обслуживания, различают два основных вида СМО:

- системы с отказами, в которых заявка, поступившая в систему в момент, когда все каналы заняты, получает отказ и сразу же покидает очередь;
- системы с ожиданием (очередью), в которых заявка, поступившая в момент, когда все каналы обслуживания заняты, становится в очередь и ждет, пока не освободится один из каналов.

Системы массового обслуживания с ожиданием делятся на системы с ограниченным ожиданием и системы с неограниченным ожиданием.

В системах с ограниченным ожиданием может ограничиваться:

- длина очереди;
- время пребывания в очереди;

В системах с неограниченным ожиданием заявка, стоящая в очереди, ждет обслуживание неограниченно долго, т.е. пока не подойдет очередь.

Все системы массового обслуживания различают по числу каналов обслуживания:

- одноканальные системы;
- многоканальные системы.

Ниже приведены формулы для расчёта характеристик многоканальной СМО с ожиданием.

Вероятность состояния системы, когда все каналы свободны

(1.1)

Вероятность состояния системы, когда все каналы заняты

(1.2)

Среднее число телевизоров в очереди на проверку

(1.3)

Средняя продолжительность пребывания телевизора (заявки на обслуживание) в очереди на проверку

(1.4)

Ниже приведены формулы для расчёта характеристик одноканальной СМО с ожиданием. Входной поток в данную СМО будет равен

,

где

Приведенная интенсивность потока равна

(1.5)

средняя продолжительность пребывания телевизора в системе:

(1.6)

среднее число телевизоров в очереди на наладку:

(1.7)

средняя продолжительность пребывания телевизора в очереди на наладку:

(1.8)

Аналитические методы параметров расчетов систем массового обслуживания применяются только для простейших систем, с простой логикой функционирования.

Для более сложных применяется имитационное моделирование.

Глава 2. Практическая часть

## 2.1 Описание моделируемого процесса

Собранные телевизионные приемники после сборки проходят испытания на станции технического контроля. Если в процессе контроля оказывается, что функционирование телевизора ненормально, его переправляют на участок наладки, после которой он вновь возвращается на станцию контроля для повторной проверки. После одной или нескольких проверок телевизор попадает в цех упаковки. Описанная ситуация иллюстрируется схемой, приведенной на рисунке.



Рисунок 3 - Иллюстрация к условию задачи моделирования

Телевизионные приемники попадают на станцию контроля каждые . На станции работают два контролера, каждому из которых на проверку телевизора нужно . Примерно телевизоров проходят проверку успешно и попадают в цех упаковки, остальные попадают на участок наладки, на котором работает один рабочий - наладчик. Наладка занимает .

Постройте имитационную модель системы и оцените с её помощью, сколько мест на стеллажах необходимо предусмотреть на станции технического контроля и на участке наладки. На одном месте на стеллаже может храниться один телевизор, ожидающий контроля или наладки, соответственно.

## 2.2 Формализация моделируемого процесса

Техническим контролем называется проверка соответствия изделия установленным техническим требованиям.

Функциями технического контроля являются:

- проверка телевизионных приемников;
- процессы технического обслуживания и ремонта.

Работу системы технического контроля телевизионных приемников (система ТКТП) можно рассматривать как систему с дискретными состояниями каналов обслуживания (занят /свободен) и непрерывным временем.

Для моделирования таких систем используют дискретно-событийные имитационные модели. В дискретных имитационных системах изменение состава и состояния происходит в дискретные моменты времени, называемые событиями. Под событием понимается мгновенное изменение состояния модели, произошедшее в результате осуществления множества взаимодействий между компонентами модели в один и тот же момент имитационного времени.

Функционирование такой дискретной системы можно описать, определяя изменения состояния системы, происходящие в моменты свершения событий; описывая действия, в которых принимают участие элементы системы; описывая процесс, через который проходят элементы.

Для построения таких систем будет использована следующая схема:

Рисунок 4 - Схема построения дискретной системы

При решении задач рациональной организации деятельности ремонтной мастерской, удобно интерпретировать деятельность производственной структуры как системы массового обслуживания, т.е. системы, в которой, с одной стороны, постоянно возникают запросы на выполнение каких-либо работ, а с другой - происходит постоянное удовлетворение этих запросов.

Q-схема структуры исследуемой СМО представлены на рисунке 5. Где И - вход СМО, в который поступают телевизионные приемники; 1- канал, регулирующий направление дальнейшего движения телевизионного приемника. Если телевизионный приемник проходит проверку, то он отправляется на упаковку. В противном случае, приемник, не прошедший проверку, отправляется в очередь к наладчику. К1, К2- контроллеры, проверяющие работоспособность телевизионных приемников. Н - наладчик, осуществляющий ремонт, не прошедших проверку

телевизионных приемников. С 1 и С 2- стеллажи, осуществляющие накопление телевизионных приемников перед каналами обслуживания.

Рисунок 5 - Структура СМО в терминах и понятиях Q-схем

Требованием (заявкой) - называется каждый отдельный запрос на выполнение какой-либо работы.

Обслуживание - это выполнение работы по удовлетворению поступившего требования. Объект, выполняющий обслуживание требований, называется обслуживающим устройством (прибором) или каналом обслуживания.

Временем обслуживания называется период, в течение которого удовлетворяется требование на обслуживание, т.е. период от начала обслуживания и до его завершения. Период от момента поступления требования в систему и до начала обслуживания называется временем ожидания обслуживания. Время ожидания обслуживания в совокупности с временем обслуживания составляет время пребывания требования в системе.

Будем считать появление телевизионных приемников в системе ТКТП, как приход заявки на обслуживание. Входной поток поступающих требований или заявок на обслуживание характеризуется интенсивностью поступления заявок.

Телевизоры проверяются контролерами с интенсивностью обслуживания, а наладка осуществляется с интенсивностью

Рассматриваемая система ТКТП состоит из двух последовательных этапов СМО:

1. двухканальная СМО №1 с ожиданием
2. одноканальная СМО с ожиданием №2

### 2.3 Разработка имитационной модели

Собранные телевизионные приемники после сборки проходят испытания на станции технического контроля. Если в процессе контроля оказывается, что функционирование телевизора ненормально, его переправляют на участок наладки, после которой он вновь возвращается на станцию контроля для повторной проверки. После одной или нескольких проверок телевизор попадает в цех упаковки.

Блок-схема алгоритма работы системы ТКТП в программе представлена на рисунке 10.

Рисунок 6 - Блок-схема моделируемого процесса

На рисунке 7 представлена реализация данной задачи при помощи дискретно-событийного моделирования. Модель реализована с помощью Основной библиотеки программы AnyLogic.

Рисунок 7 - Моделирование функционирования системы ТКТП

Название объектов, использованных для разработки данной модели и их назначения указаны в таблице 1:

Таблица 1 - Объекты основной библиотеки для создания модели

Объект

Назначение объекта

Принимает заявки.

Хранит заявки. Моделирует очередь заявок, ожидающих приема.

Задерживает заявки на заданный период времени.

Осуществляет распределение заявок прошедших проверку на выход(упаковку), не прошедших проверку на стеллаж 2.

Хранит заявки. Моделирует очередь заявок, ожидающих ремонта.

Осуществляет ремонт пришедших заявок, направляет отремонтированные заявки на повторную проверку.

Хранит заявки прошедшие проверку.

Для создания данной модели используется логика, заданная на языке Java. Так как данная логика дает преимущество воспользоваться отладчиком моделей для установки точек останова, запуска модели, выполнения кода модели пошагово. В таблице 2 представлен программный код на языке Java, используемый для построения модели.

Таблица 2 - Программный код в модели

Объекты

Программный код

Описание

Контроллеры

`uniform(вр_проверка_н, вр_проверка_к)`

Выборка числа из диапазона времени начала проверки и конца проверки

Наладчик

```
uniform(вр_наладка_н, вр_наладка_к)
```

Выборка числа из диапазона времени начала ремонта и конца ремонта

Стеллаж 1 при входе

```
agent.момент_начала=time();
```

Присваивание параметру time значение момента начала времени

Стеллаж 1 при выходе

```
vremy.add(time()-agent.момент_начала);
```

Добавление разницы во времени текущего модельного времени и момента начала.

Основная библиотека позволяет моделировать структуру исследуемой системы как СМО. С помощью основной библиотеки можно создавать гибкие модели с наглядной визуализацией моделируемого процесса и возможностью сбора необходимой статистики.

Главная форма программы позволяет просмотреть логику модели, ее анимацию, а также задать параметры, путем нажатия соответствующих кнопок. Еще на главной форме показаны значения основных вычисляемых параметров, а также график, который отображает среднее время прибытия телевизионного приемника в очереди на проверку и в очереди на наладку. Интерфейс программы модели представлен на рисунках 8, 9, 10.

Рисунок 8 - Интерфейс программы

Рисунок 9 - Главная форма модели

Нажав на кнопку "Просмотреть анимацию". Можно наблюдать анимацию модели в 3D форме.

Рисунок 10- 3D модель информационного процесса

В качестве структурных элементов интерфейса используются кнопки, линии, текстовые надписи. Для накопления статистики о числе телевизоров в очередях используется накопление статистики в компонентах "стеллаж 1", "стеллаж 2".

#### 2.4 Вычислительный эксперимент

Вычислительный эксперимент - целенаправленное исследование модели с целью получения информации, необходимой для принятия решения; его содержание определяется на основе предварительного аналитического анализа, а полученные результаты обрабатываются с использованием различных математических методов и вычислительных процедур с целью установления их достоверности и их обоснования.

Целью вычислительного эксперимента является проверка адекватности разработанной имитационной модели.

Таблица 3 - Исходные данные

Обозначение

Параметр

Значение параметра

рп

Вероятность наладки

0,15

Среднее время попадания на станцию контроля

5 мин.

Отклонение от среднего времени попадания на станцию контроля

2 мин.

Среднее время проверки телевизионного приемника на станции контроля

9 мин.

Отклонение от среднего времени проверки телевизионного приемника на станции контроля

3 мин.

Среднее время наладки телевизионного приемника

30 мин.

Отклонение от среднего времени наладки телевизионного приемника

10 мин.

Вероятность прохождения контроля

0,85

Интенсивность прихода заявок



0,2

Эксперимент. Расчет основных характеристик модели технического контроля телевизионных приемников.

Ситуация 1. .

Ситуация 2.

Ситуация 3.

Получается, что при соответствующих интенсивность равна  $=0,33, =0,2, =0,14$ .

Время проведения эксперимента 4800 минут модельного времени.

Графическая интерпретация результатов эксперимента представлена на следующих рисунках 11-13.

Рисунок 11 - Результат эксперимента в ситуации 1

Рисунок 12 - Результат эксперимента в ситуации 2

Рисунок 13 - Результат эксперимента в ситуации 3

В результате вычислительного эксперимента модели технического контроля телевизионных приемников были получены следующие результаты, представленные в таблице 4.

Таблица 4 - Результаты вычислительного эксперимента 1

Параметр

Количество (шт.)

Ситуация 1

Ситуация 2

### Ситуация 3

Средняя продолжительность пребывания телевизоров в очереди на проверку

937,689

145,448

5,257

Среднее число телевизоров в очереди на проверку

353,518

33,77

0,847

Максимальная очередь перед контроллерами

709

69

10

Средняя очередь перед наладчиком

4,383

4,212

1,346

Максимальная очередь перед наладчиком

10

13

6

При проведении эксперимента были установлены следующие параметры:

Ситуация 1.

- средняя продолжительность пребывания телевизоров в очереди на проверку -

937,689;

- среднее число телевизоров в очереди на проверку -353,518;
- максимальная очередь перед контроллерами -709;
- средняя очередь перед наладчиком - 4,383;
- максимальная очередь перед наладчиком - 10.

Ситуация 2.

- средняя продолжительность пребывания телевизоров в очереди на проверку - 145,448;
- среднее число телевизоров в очереди на проверку 33,77;
- максимальная очередь перед контроллерами - 69;
- средняя очередь перед наладчиком - 4,212;
- максимальная очередь перед наладчиком - 13.

Ситуация 3.

- средняя продолжительность пребывания телевизоров в очереди на проверку - 5,257;
- среднее число телевизоров в очереди на проверку - 0,847;
- максимальная очередь перед контроллерами -10;
- средняя очередь перед наладчиком - 1,346;
- максимальная очередь перед наладчиком - 6.

Из результатов эксперимента видно, при интенсивности  $c=0,33$  поступление телевизионных приемников на станцию контроля, что все параметры слишком велики. В случае интенсивности  $c=0,2$  и  $c=0,14$  эти параметры допустимы к норме. По результатам вычислительных экспериментов, было предложено перед наладчиком поставить 13 стеллажей, а на участке технического контроля добавить ещё одного контролера либо повысить эффективность уже имеющихся 2- других.

Таким образом, в случае интенсивности  $c=0,14$  модель данного процесса работает корректно.

Заключение

Имитационное моделирование считается наиважнейшим фактором в расчете основных параметров в системах массового обслуживания. Поэтому данная тема является актуальной, этим объясняется необходимость изучения и использование ее на практике. В ходе курсового проекта были рассмотрены задачи, связанные с определением сущности модели, а также грамотное и планомерное ее использование.

В ходе выполнения курсовой работы достигнуты следующие результаты:

- изучены общие понятия имитационного моделирования;
- созданы концептуальная и математическая модель процесса обслуживания клиентов в банковском отделении;
- реализована дискретно - событийная модель деятельности системы технического контроля телевизионных приемников;
- разработана модель технического контроля телевизионных приемников в среде разработки AnyLogic;

- проведены вычислительные эксперименты по разработанной модели в среде разработки AnyLogic;  
- проверена адекватность данной модели технического контроля телевизионных приемников.

#### Список литературы

1. Аристов, С.А. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб. пособие. - Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2004. - 121 с.
2. Боев В.Д., Кирик Д.И., Сыпченко Р.П. Пособие для курсового и дипломного проектирования.-СПб.:ВАС, 2011.-348 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978.- 399 с.
4. Виниченко И.Н. Практический опыт имитационного моделирования. - 2003. - № 2. - с. 45-53.
5. Гиберт, В.В. Моделирование будущего / В.В. Гиберт. - СПб.: ИГ Весь, 2013. - 320 с.
6. Карпов Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование в AnyLogic 5. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 400 с.
7. Киселева М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие/ Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.-88 с.
8. Булавин, Л.А. Компьютерное моделирование физических систем: Учебное пособие / Л.А. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка. - Долгопрудн: Интеллект, 2011. - 352 с.
9. Королев, А.Л. Компьютерное моделирование / А.Л. Королев. - М.: БИНОМ. ЛЗ, 2013. - 230 с.
10. Советов, Б.Я. Моделирование систем: Учебник для бакалавров / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. - М.: Юрайт, 2013. - 343 с....