

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Брянский государственный инженерно-технологический университет»

Кафедра «Информационные технологии»

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Моделирование систем и процессов»
Имитационная модель функционирования ВККС



КР-02068025-09.03.02-026.22

Автор работы:	<u>18</u>	Власов Николай Владимирович
Группа:	ИСТ-401	№ Зачётной книжки: 18-2.026
Руководитель работы	<u>М</u>	к.э.н., доц. Н.Ю. Азаренко
Нормоконтроль	<u>М</u>	к.э.н., доц. Н.Ю. Азаренко
Доступ к защите: « <u>17</u> » <u>03</u> <u>2022</u>		к.э.н., доц. Н.Ю. Азаренко
Дата защиты: « <u>24</u> » <u>03</u> <u>2022</u>		Оценка <u>хорошо</u>
Члены комиссии:	<u>М</u>	к.э.н., доц. Н.Ю. Азаренко
	<u>О.Д. Казаков</u>	к.э.н., доц. О.Д. Казаков
	<u>О.Н. Юркова</u>	к.э.н., доц. О.Н. Юркова

Брянск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	5
1.1 Методы описания работы систем массового обслуживания	5
1.2 Пуассоновский поток заявок и его особенности.....	9
1.3 Формула Литтла. Назначение и ее использования для определения параметров системы массового обслуживания	12
2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	15
2.1 Постановка задачи	15
2.2 Разработка имитационной модели функционирования ВККС	17
2.3 Проведение экспериментов	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	29

КР-02068025-09.03.02-026.21				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Власов Н.В.		
Пров.		Азаренко Н.Ю.		
Н.контр.				
Утв.				

Имитационная модель функционирования ВККС

Лит.	Лист	Листов
у	2	30

БГИТУ ИСТ-401

Изм.	Л.
Разраб.	
Пров.	
Н.контр.	
Утв.	

Листов	30
--------	----

401

ВВЕДЕНИЕ

Вместе с развитием человека происходит и развитие технологий. Происходит интенсивное внедрение новых информационных технологий во все сферы деятельности. В настоящее время нельзя назвать область человеческой деятельности, в которой в той или иной степени не использовались бы методы моделирования. Особенно это относится к сфере управления различными системами, где основными являются процессы принятия решений на основе получаемой информации.

Сфера применения моделирования огромна и уже сейчас мы можем встретить её в повседневной жизни, ведь большинство процессов, которые теперь стали обыденными, были спроектированы обычными людьми.

Простой пример – покупка товаров в магазине. Раньше продавцы подсчитывали сумму, которую покупатель должен оплатить за товар, с учетом того, что многие товары продавались на развес. Сейчас же за них это делает сложная система, к которой подключена еще и оплата банковской картой.

Также моделирование используется в обучении. Для более глубокого изучения материала, многие образовательные учреждения используют цифровые модели для демонстрации работы тех или иных механизмов.

Для разработки моделей очень часто используют такое программное обеспечение как AnyLogic.

AnyLogic предназначено для моделирования, помогающее компаниям в области транспорта, производства, логистики, добывающей промышленности, цепочки поставок, здравоохранения и других отраслей тестировать и исследовать сценарии «что если» с помощью имитационного 2D-и 3D-моделирования.

Программа предоставляет встроенные библиотеки анимации, относящиеся к различным отраслям, позволяет охватить сложность практически любой системы на любом уровне детализации. Таким образом, модели AnyLogic позволяют анали-

тикам, инженерам и менеджерам получать более глубокое представление о взаимозависимых процессах внутри и вблизи организации и оптимизировать сложные системы и процессы в широком спектре отраслей.

Система AnyLogic позволяет аналитикам данных создавать имитационные модели с использованием различных методологий и языков моделирования, включая дискретно-событийное моделирование, агентную динамику, системную динамику, стохастическое моделирование, блок-схемы процессов, диаграммы состояний и диаграммы действий. Программный комплекс позволяет сотрудникам представлять визуальные модели с графическими объектами для визуализации транспортных средств, сотрудников, оборудования, зданий и других объектов в соответствии с бизнес-спецификациями.

Целью данной работы является разработка имитационной модели вычислительного комплекса коммутации сообщений.

Для достижения данной цели нужно выполнить следующие задачи:

- изучить методы описания работы систем массового обслуживания;
- разобрать пуассоновский поток заявок и его особенности;
- изучить формулу Литтла;
- разработать имитационную модель ВККС и провести на ней эксперименты.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Методы описания работы систем массового обслуживания.

Задачи массового обслуживания очень часто встречаются во многих сферах человеческой деятельности. Очередь людей к кассе в большом супермаркете, такая же очередь к кабинету врача с целью получения медицинского обслуживания, обслуживание очереди клиентов с целью предоставления им определенной услуги – подобных житейских примеров можно привести еще в большом количестве. Не меньше таких задач возникает и на производстве – например, поступление потока деталей на выполнение определенной технологической операции.

Данные задачи имеют определенные общие черты. Они все, так или иначе, заключаются в обслуживании большого числа потребителей или же в обработке большого количества деталей. При этом можно сказать, что мы имеем дело с системой массового обслуживания (СМО). На ее входе возникает заявка, поступающая на канал обслуживания. Данное устройство выполняет над заявкой определенные действия, то есть обслуживает ее. Все это время другие поступившие заявки ожидают завершения процесса обслуживания. Обслуженная заявка продвигается на выход системы, а на устройство поступает последующая заявка.

В настоящее время для моделирования систем массового обслуживания применяются две основных группы методов: аналитические и имитационные.

При аналитическом моделировании исследование процессов или объектов заменяется построением их математических моделей и исследованием этих моделей. В основу метода положены идентичность формы уравнений и однозначность соотношений между переменными в уравнениях, описывающих оригинал и модель. Поскольку события, происходящие в локальных вычислительных сетях, носят случайный характер, то для их изучения наиболее подходящими являются вероятностные математические модели теории массового обслуживания.

					КР-02068025-09.03.02-026.22	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		5

Для моделирования локальных вычислительных сетей наиболее часто используются следующие типы СМО:

— Одноканальные СМО с ожиданием. Представляют собой один обслуживающий прибор с бесконечной очередью. Данная СМО является наиболее распространенной при моделировании. С той или иной долей приближения с ее помощью можно моделировать практически любой узел ЛВС;

— Одноканальные СМО с потерями. Представляют собой один обслуживающий прибор с конечным числом мест в очереди. Если число заявок превышает число мест в очереди, то лишние заявки теряются. Этот тип СМО может быть использован при моделировании каналов передачи в ЛВС;

— Многоканальные СМО с ожиданием. Представляют собой несколько параллельно работающих обслуживающих приборов с общей бесконечной очередью. Данный тип СМО часто используется при моделировании групп абонентских терминалов ЛВС, работающих в диалоговом режиме;

— Многоканальные СМО с потерями. Представляют собой несколько параллельно работающих обслуживающих приборов с общей очередью, число мест в которой ограничено. Эти СМО, как и одноканальные с потерями, часто используются для моделирования каналов связи в ЛВС;

— Одноканальные СМО с групповым поступлением заявок. Представляют собой один обслуживающий прибор с бесконечной очередью. Перед обслуживанием заявки группируются в пакеты по определенному правилу;

— Одноканальные СМО с групповым обслуживанием заявок. Представляют собой один обслуживающий прибор с бесконечной очередью. Заявки обслуживаются пакетами, составляемыми по определенному правилу. Последние два типа СМО могут использоваться для моделирования таких узлов ЛВС, как центры (узлы) коммутации.

Локальная вычислительная сеть в целом может быть представлена в виде сети массового обслуживания. Различают открытые, замкнутые и смешанные сети.

Открытой называется сеть массового обслуживания, состоящая из M узлов, причем хотя бы в один из узлов сети поступает извне входящий поток заявок и имеется сток заявок из сети. Для открытых сетей характерно то, что интенсивность поступления заявок в сеть не зависит от состояния сети, т. е. от числа заявок, уже поступивших в сеть. Открытые сети используются для моделирования ЛВС, работающих в неоперативном режиме. Каждая заявка поступает на вход соответствующего узла коммутации, где определяется место ее обработки. Затем заявка передается на «свой» сервер или по каналу связи – на «соседний», где обрабатывается, после чего возвращается к источнику и покидает сеть.

Замкнутой называется сеть массового обслуживания с множеством узлов M без источника и стока, в которой циркулирует постоянное число заявок. Замкнутые СМО используются для моделирования таких ЛВС, источниками информации для которых служат абонентские терминалы, работающие в диалоговом режиме. В этом случае каждая группа абонентских терминалов представляется в виде многоканальной системы массового обслуживания с ожиданием и включается в состав устройств сети.

Смешанной называется сеть массового обслуживания, в которой циркулирует несколько различных типов заявок (графика), причем относительно одних типов заявок сеть замкнута, а относительно других – открыта. С помощью смешанных СМО моделируются такие ЛВС, часть абонентов которых работает в диалоговом, а часть – в неоперативном режиме. Для диалоговых абонентов также различают простой и сложный режим работы. Часто смешанные СМО моделируют ЛВС, в которых сервер дополнительно загружается задачами, решаемыми на фоне работы самой сети.

Одним из методов исследования сложных систем, в том числе, и систем массового обслуживания (СМО) является метод имитационного моделирования, когда модель (как следует из названия вида моделирования) имитирует работу реальной системы, т.е. модель воспроизводит процесс функционирования реальной системы во времени.

Любая система, как известно, представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов и, следовательно, построение ее адекватной имитационной модели предполагает имитацию процесса функционирования каждого отдельного элемента системы с обязательным сохранением логики и правил взаимодействия и развития составляющих систему элементов, как во времени, так и в пространстве (в том числе последовательность и параллелизм их во времени).

Основное преимущество имитационного моделирования перед другими видами моделирования (например, аналитическим) состоит в универсальности в смысле возможности исследования любых достаточно сложных систем, с учетом таких факторов и условий, которые трудно или вообще невозможно учитывать при аналитическом моделировании. Поэтому во многих случаях имитационное моделирование становится наиболее эффективным, а часто и практически единственно доступным методом исследования систем.

При исследовании систем со стохастическим характером функционирования (СМО являются системами такого типа) результаты, полученные при единичном «прогоне» имитационной модели (при единичном воспроизведении на имитационной модели процесса функционирования системы), носят частный характер. Следовательно, для того, чтобы найти одну оценку (одно значение) какой-либо характеристики функционирования системы необходимо многократно «прогонять» имитационную модель (необходимо получить множество результатов) с последующей статистической обработкой полученных данных. Поэтому в имитационной модели должны быть предусмотрены средства сбора и средства последующей статистической обработки данных, полученных в ходе моделирования по интересующим характеристикам системы.

Процесс функционирования системы — это последовательная смена состояний системы во времени или другими словами, процесс функционирования системы — это переход ее из одного состояния в другое. Причина перехода системы из состояния в состояние называется событием, которое является, в свою очередь, следствием начала или окончания соответствующего действия.

1.2 Пуассоновский поток заявок и его особенности

Простейшие потоки заявок, которые называют пуассоновскими, очень удобны для моделирования различных потоков заявок, встречающиеся в СМО.

Потоком событий будем называть последовательность однотипных событий, поступающих одно за другим в случайные промежутки времени. Примером потока событий может служить поток вызовов на телефонной станции, так как они следуют друг за другом в случайные моменты времени.

Любой поток характеризуется интенсивностью λ – средним числом событий, поступающих в СМО в единицу времени. Но стоит обратить внимание на тот факт, что данное значение всего лишь среднее, то есть выполняет роль математического ожидания количества событий в единицу времени. Вполне может быть так, что, например, в один час возникло 6 событий, а в другой час – 8 событий. Но в среднем получается 7 событий в час. Это и есть интенсивность данного потока. Таким образом, можно вывести следующую формулу (формула 1)

$$\lambda = \frac{N}{T_n} \quad (1)$$

, где N – число событий за время наблюдения, T_n – время наблюдения.

Особенно интересны следующие три возможных свойства потоков событий.

— Стационарность. Это означает, что вероятностные характеристики потока не зависят от времени. В частности, интенсивность потока постоянна ($\lambda(t) = \lambda$). Чаще всего стационарность потока имеет место лишь на некотором относительно небольшом временном интервале. На большом промежутке может изменяться интенсивность потока событий;

— Отсутствие последствия. Это означает, для любых двух непересекающихся участков на временной оси τ_1 и τ_2 число событий, попадающих на один из

них, не зависит от числа событий, попавших на другой, т.е. вероятность появления случайного события не зависит от момента совершения предыдущих событий;

— Ординарность. Это означает, что появление двух и более событий за очень малый промежуток времени практически невозможно.

Поток заявок, обладающий одновременно свойствами стационарности, отсутствия последействия и ординарности, называется простейшим. Такой поток представляется идеализированной моделью многих реально встречающихся потоков, часто вполне достаточной для практических нужд. Данная модель обладает большим достоинством: простотой получения аналитических зависимостей для процессов, протекающих под воздействием простейшего потоков заявок в СМО, так как работа СМО будет описываться системой линейных дифференциальных уравнений.

Простейший поток заявок является частным случаем так называемого пуассоновского потока. Для него достаточно выполнения лишь двух свойств: отсутствия последействия и ординарности. Таким образом, простейший поток является стационарным пуассоновским ($\lambda(t) = \text{const}$).

Одной из случайных величин, связанных с простейшим потоком, является количество заявок, поступающих на СМО за время τ . Она определяется интенсивностью входного потока λ для пуассоновского потока заявок (формула 2).

$$P_m(\tau) = \frac{a^m e^{-a}}{m!} \quad (2)$$

, где m – число заявок, $a = \tau\lambda$ – параметр Пуассона (в стационарном случае). Параметр Пуассона имеет смысл среднего числа заявок на временном интервале $[t_0, t_0 + \tau]$. Данная формула носит название формулы Пуассона, а соответствующее распределение случайной величины – распределения Пуассона.

В случае произвольного пуассоновского потока параметр a вычисляется по формуле 3

$$a = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \lambda(t) dt \quad (3)$$

Распределение Пуассона является дискретным распределением, а основные параметры случайной величины для него (формула 4).

$$M(X) = \lambda, D(X) = \lambda \quad (4)$$

В этом состоит большое преимущество пуассоновских потоков событий, так как, что среднее число заявок, что дисперсия, вычисляются максимально просто и равны интенсивности потока. Другой важной случайной величиной является интервал времени между событиями в пуассоновском потоке. Она распределена по экспоненциальному закону, описываемому функцией плотности (формула 5). Данное распределение является непрерывным.

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Оба распределения, если они описывают один и тот же пуассоновский поток событий, содержат один и тот же параметр λ , имеющий прежний смысл – интенсивность.

1.3 Формула Литтла. Назначение и ее использования для определения параметров системы массового обслуживания

В теории массового обслуживания, разделе теории вероятностей, законом Литтла называют сформулированную американским учёным Джоном Литтлом теорему: Долгосрочное среднее количество L требований в стационарной системе равно долгосрочной средней интенсивности λ входного потока, умноженной на среднее время W пребывания заявки в системе (формула 6).

$$L_{\text{сист}} = \lambda W_{\text{сист}} \quad (6)$$

Иными словами, при заданной интенсивности входного потока время в системе пропорционально количеству заявок в системе. Хотя результат и выглядит интуитивно понятным, он замечателен, так как выраженная связь не опосредована распределением поступления, распределением обслуживания, порядком обслуживания или другими посторонними характеристиками.

Закон применим к любым системам, в частности, к подсистемам. Например, очередь клиентов в банке может быть одной подсистемой, а каждый из кассиров - другой. Закон Литтла применим как к каждой из подсистем, так и ко всей системе в целом. От системы требуется лишь стационарность и отсутствие вытесняющей многозадачности. Наличие этих свойств исключает переходные состояния, в том числе запуск и остановку.

Рассмотрим вывод формулы Литтла.

Рассмотрим любую СМО (одноканальную, многоканальную, марковскую, немарковскую, с неограниченной или с ограниченной очередью) и связанные с ней два потока событий: поток заявок, прибывающих в СМО, и поток заявок, покидающих СМО. Если в системе установился предельный, стационарный режим, то среднее число заявок, прибывающих в СМО за единицу времени, равно среднему

числу заявок, покидающих ее, так как оба потока имеют одну в ту же интенсивность λ .

Обозначим: $X(t)$ —число заявок, прибывших в СМО до момента t , $Y(t)$ — число заявок, покинувших СМО до момента t . И та, и другая функции являются случайными и меняются скачком (увеличиваются на единицу) в моменты приходов заявок ($X(t)$) и уходов заявок ($Y(t)$). Для любого момента t их разность $Z(t) = X(t) - Y(t)$ — это число заявок, находящихся в СМО.

Рассмотрим очень большой промежуток времени T и вычислим для него среднее число заявок, находящихся в СМО. Оно будет равно интегралу от функции $Z(t)$ на этом промежутке, деленному на длину интервала T (формула 7):

$$L_{\text{сисм}} = \frac{1}{T} \int_0^T Z(t) dt \quad (7)$$

Данный интеграл представляет собой площадь фигуры, заключенной между $X(t)$ и $Y(t)$. Фигура состоит из прямоугольников, каждый из которых имеет высоту, равную единице, и основание, равное времени пребывания в системе соответствующей заявки (первой, второй и т. д.). Обозначим эти времена как t_1, t_2, \dots . Правда, под конец промежутка T некоторые прямоугольники войдут в эту фигуру не полностью, а частично, но при достаточно большом T этим можно пренебречь. Таким образом, можно считать, что

$$\int_0^T Z(t) dt = \sum_i t_i \quad (8)$$

, где сумма распространяется на все заявки, пришедшие за время T .

Разделим правую и левую часть (формула 7) на длину интервала T . Получим, с учетом (8):

$$L_{\text{сисм}} = \frac{1}{T} \sum_i t_i \quad (9)$$

Разделим и умножим правую часть (формула 9) на интенсивность λ :

$$L_{сист} = \frac{1}{T\lambda} \sum_i t_i \lambda \quad (10)$$

Величина $T\lambda$ — это среднее число заявок, пришедших за время T . Если мы разделим сумму всех времен t_i на среднее число заявок, то получим среднее время пребывания заявки в системе $W_{сист}$ (формула 11).

$$L_{сист} = \lambda W_{сист} \quad (6)$$

Это и есть формула Литтла: для любой СМО, при любом характере потока заявок, при любом распределении времени обслуживания, при любой дисциплине обслуживания среднее время пребывания заявки в системе равно среднему числу заявок в системе, деленному на интенсивность потока заявок.

2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Постановка задачи

На вычислительный комплекс коммутации сообщений (ВККС) поступают сообщения от n_1 абонентов с интервалами времени T_1, T_2, \dots, T_{n_1} . Сообщения могут быть n_2 категорий с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_{n_2} ($p_1 + p_2 + \dots + p_{n_2} = 1$) и вычислительными сложностями S_1, S_2, \dots, S_{n_2} операций (оп) соответственно. Вычислительные сложности случайные. Сообщения 1-й категории обладают относительным приоритетом по отношению к сообщениям остальных категорий. ВККС имеет входной накопитель емкостью L_1 байт для хранения сообщений, ожидающих передачи. В буфере сообщения размещаются в соответствии с приоритетом.

ВККС обрабатывает сообщения с производительностью Q оп/с. После обработки сообщения передаются по n_3 направлениям, каждое из которых имеет k_1, k_2, \dots, k_{n_3} каналов связи. Вероятности передачи сообщений по направлениям от любого источника p_1, p_2, \dots, p_{n_3} ($p_1 + p_2 + \dots + p_{n_3} = 1$). Скорость передачи $V_{п}$ бит/с.

Если после обработки сообщения все каналы связи направления заняты, то обработанное сообщение помещается в накопитель каналов связи, если в нем есть место. При отсутствии места в накопителе каналов связи сообщение теряется. Емкость накопителя каналов связи ограничена L_2 сообщениями.

ВККС и каналы связи имеют конечную надежность. Интервалы времени $T_{от1}$ и $T_{от2}$ между отказами ВККС и каналов связи случайные. Длительности восстановления $T_{в1}$ и $T_{в2}$ ВККС и каналов связи случайные.

При отказе канала связи передаваемые сообщения 1-й категории сохраняются в накопителе каналов, если в нем есть место. При выходе из строя ВККС с вероятностью P_c все сообщения в накопителе ВККС и накопителе каналов связи

сохраняются, обрабатываемое сообщение теряется, а прием ВККС и передача сообщений по каналам связи прекращается. Поступающие в это время сообщения теряются.

Разработать имитационную модель функционирования ВККС. Исследовать влияние емкостей входных накопителей, интервалов времени и вероятностей на время передачи N сообщений и среднее время обработки одного сообщения.

Провести дисперсионный анализ. Факторы и их уровни выбрать самостоятельно. Результаты моделирования необходимо получить с точностью $\varepsilon = 0,1$ и доверительной вероятностью $\alpha = 0,99$.

Сделать выводы о загруженности элементов ВККС и необходимых мерах по повышению эффективности его функционирования.

					КР-02068025-09.03.02-026.22	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

2.2 Разработка имитационной модели функционирования ВККС

В ходе выполнения курсовой работы была разработана имитационная модель функционирования ВККС, изображенная на рисунках 1 и 2.

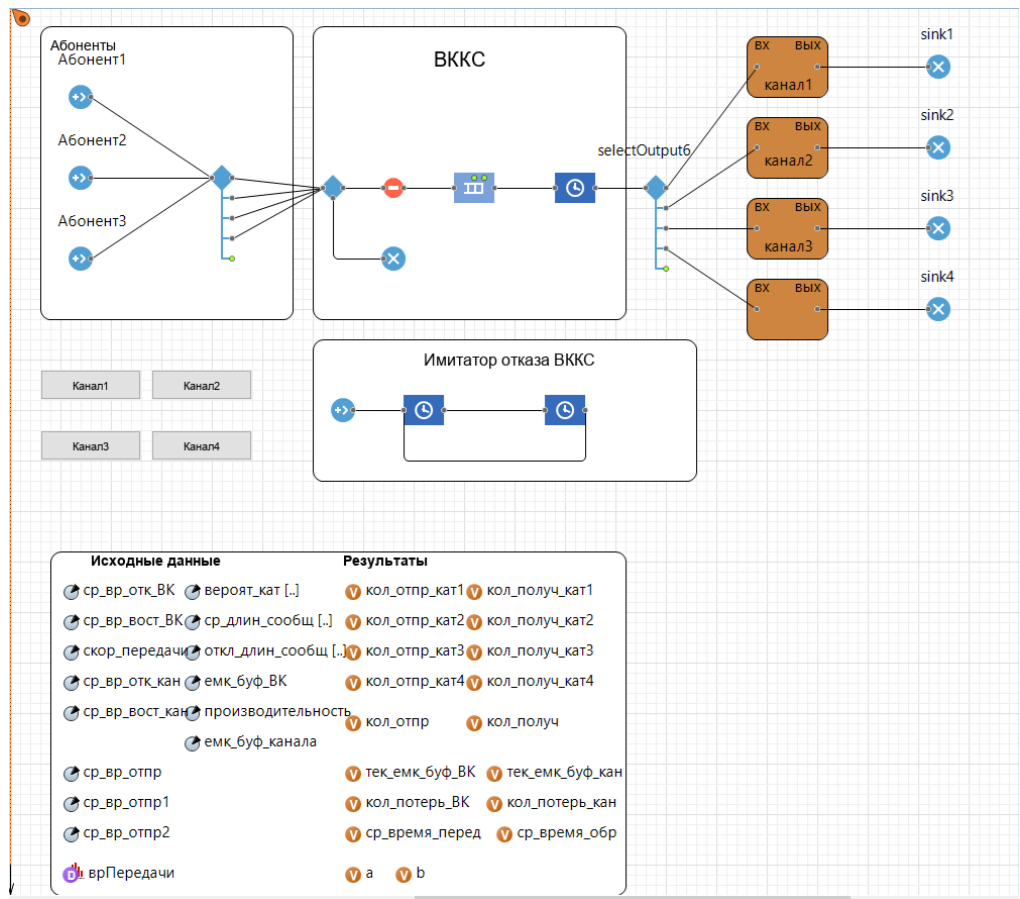


Рисунок 1 — Имитационная модель функционирования ВККС

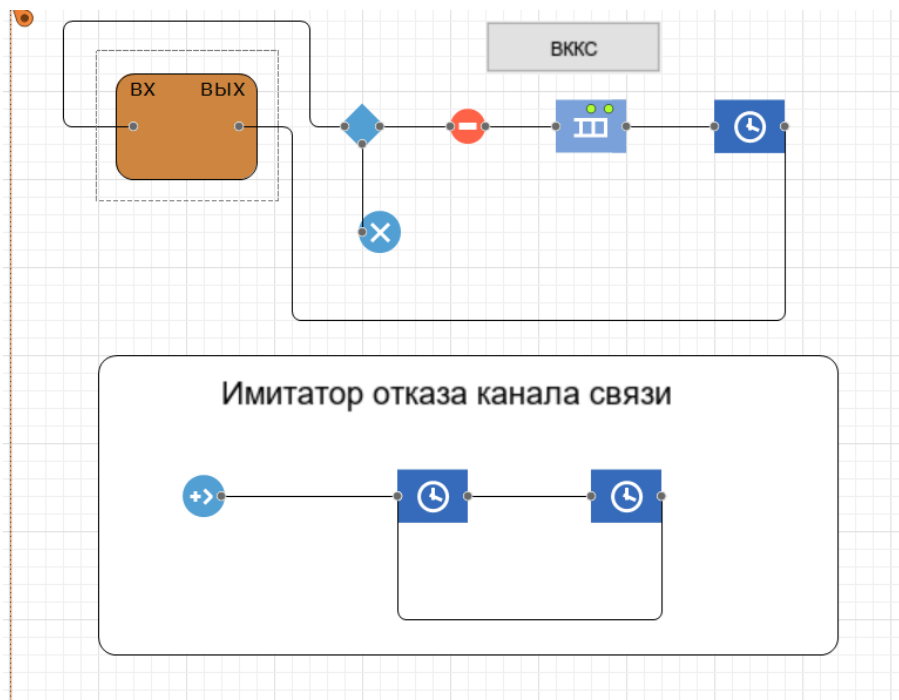


Рисунок 2 — Имитационная модель функционирования канала связи

Приступим к её разбору. В самом низу модели находится блок и исходными данными, с которыми и будет работать наша модель, и результаты работы модели (рисунок 3). К исходным данным относятся: время отправки сообщений для каждого абонента; параметры, отвечающие за имитацию отказа вычислительного комплекса канала связи; емкости накопителей и параметры, отвечающие за сообщения.



Рисунок 3 — Блок с исходными данными и результатами работы модели

Приступим к разбору самой модели. Для имитации отправки сообщений нам нужно было создать Java класс, который мы назвали «Message», который мы позже преобразовали в тип агента.

На рисунке 4 мы видим блок «Абоненты». Он имитирует отправку абонентами сообщений на наш вычислительный комплекс. На нём расположены 3 объекта «source». Каждый настроен на свой интервал отправки сообщений. В качестве агента указан ранее созданный Java класс «Message». Все сообщения отправляются на объект «selectOutput5», в котором каждому сообщению мы присваиваем свою категорию.

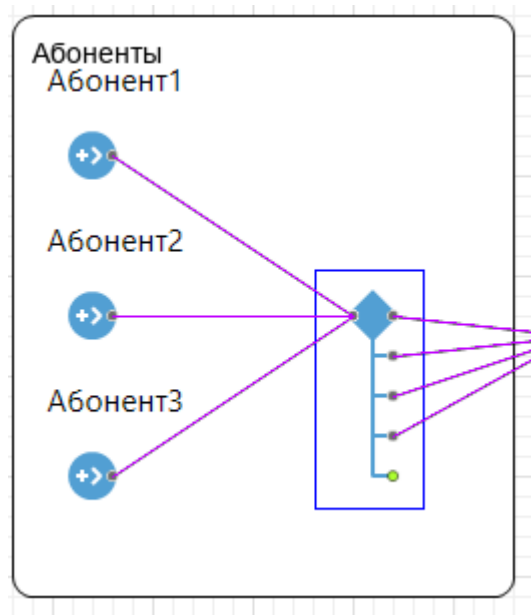


Рисунок 4 — Блок «Абоненты»

После этого сообщения попадают на блок «ВККС» (рисунок 5). Согласно условию, сообщения попадают в накопитель, если в нем есть место, в противном случае - теряются. Это условие удалось соблюсти при помощи объектов «SelectOutput», «Sink», «Queue» и «Hold». Из накопителя сообщения попадают в ВККС, реализованный при помощи объекта «Delay». Поскольку в условии сказано, что ВККС имеет конечную надёжность, был создан имитатор отказа ВККС при помощи объектов «Source» и «Delay».

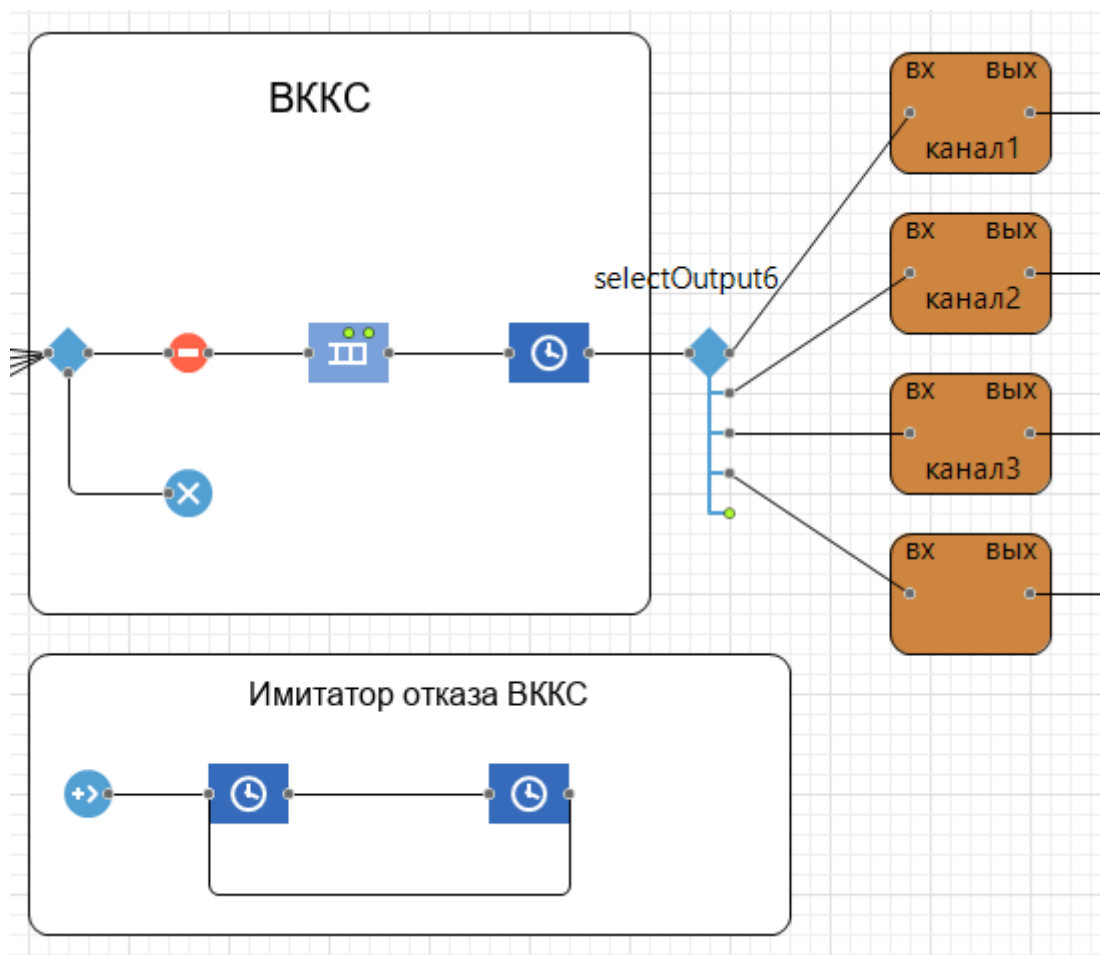


Рисунок 5 — Блок «ВККС»

Обработанные сообщения отправляются в канал связи. Каждой категории сообщения соответствует свой канал связи, изображенный на рисунке 6. По аналогии с ВККС в нем также присутствует накопитель и имитатор отказа.

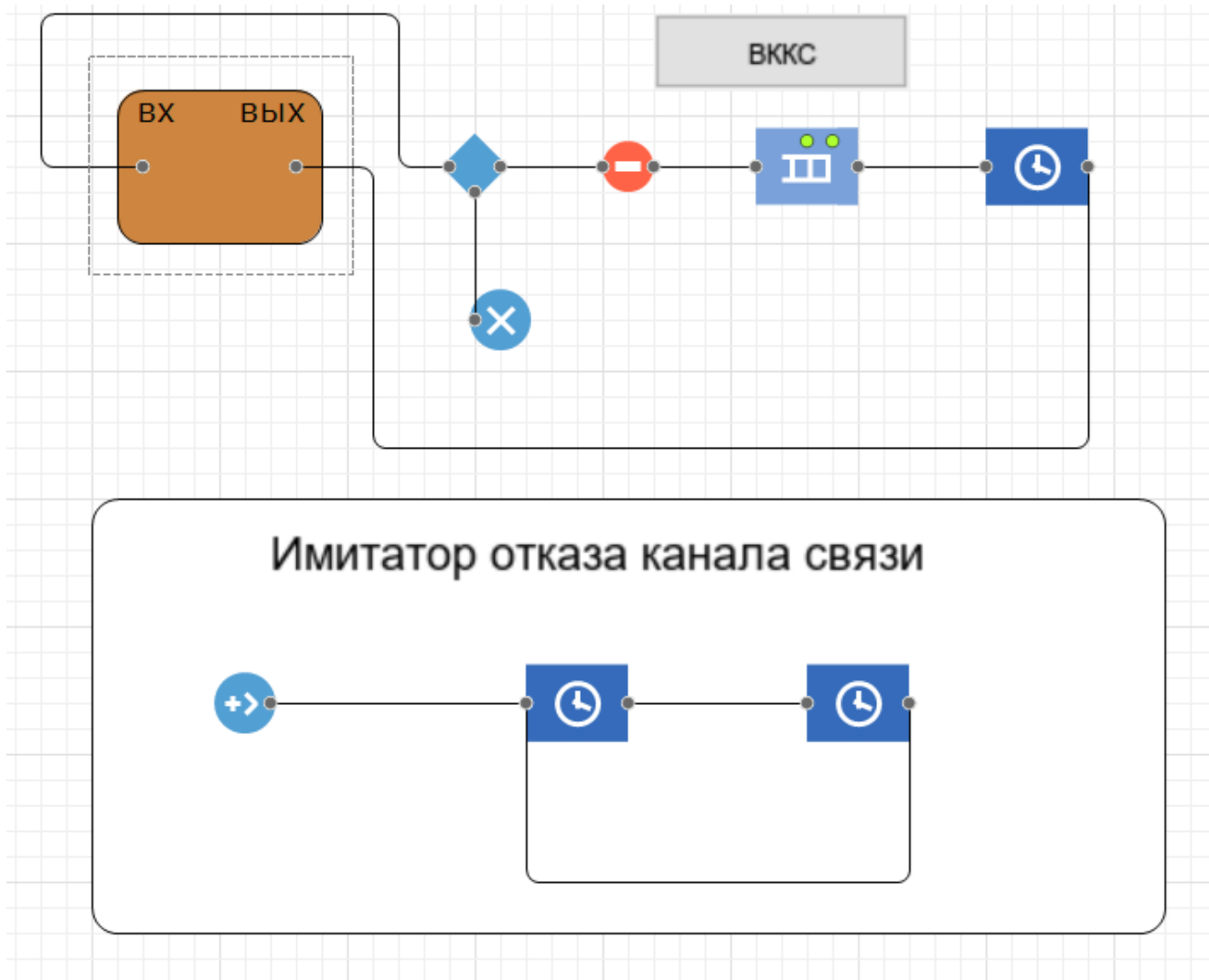
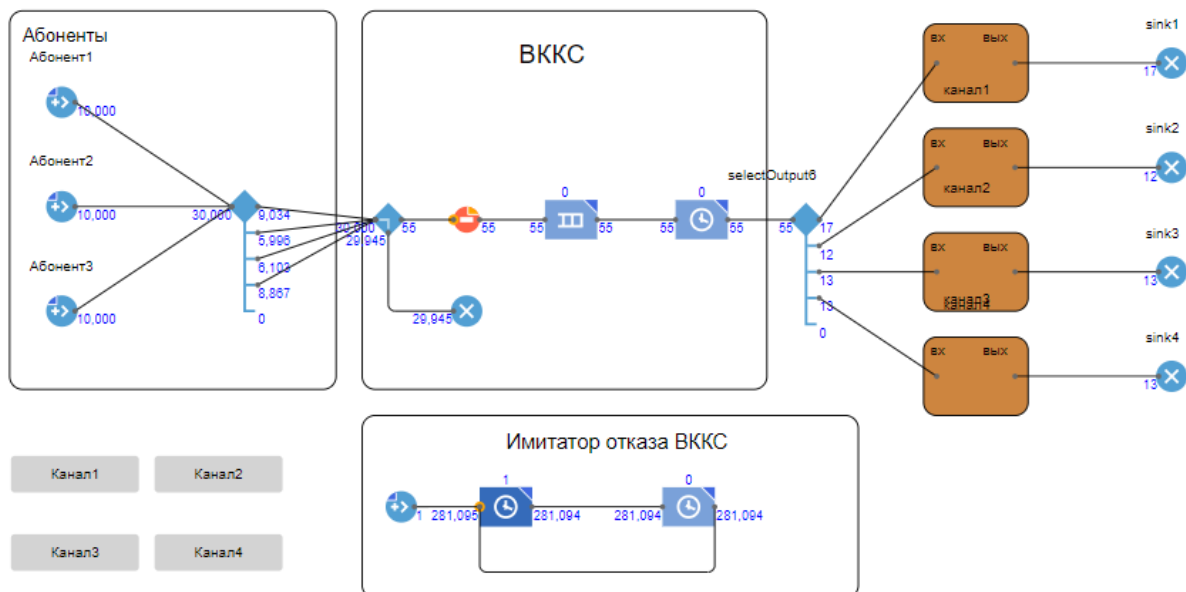


Рисунок 6 — Блок Канал связи

Выходя из каналов связи сообщения отправляются к другим абонентам. Работаящая имитационная модель изображена на рисунке 7.



Исходные данные		Результаты	
ср_вр_отк_ВК 37.124	вероят_кат [0.3, 0.5 ...]	кол_отпр_кат1 9.034	кол_получ_кат1 17
ср_вр_вост_ВК 2.08	ср_длин_сообщ [35.737, 41.085 ...]	кол_отпр_кат2 5.696	кол_получ_кат2 12
скор_передачи 400	откл_длин_сообщ [2.833, 15.348 ...]	кол_отпр_кат3 6.103	кол_получ_кат3 13
ср_вр_отк_кан 3.02	емк_буф_ВК 10.000	кол_отпр_кат4 8.857	кол_получ_кат4 13
ср_вр_вост_кан 2.335	производительность 100	кол_отпр 30.000	кол_получ 55
	емк_буф_канала 50		
ср_вр_отпр 150		тек_емк_буф_ВК 0	тек_емк_буф_кан 0
ср_вр_отпр1 200		кол_потерь_ВК 29.945	кол_потерь_кан 10
ср_вр_отпр2 300		ср_время_перед 0	ср_время_обр 1
вр_Передачи 55 измерений [0.245...58.413]. Среднее=27.383		a 0.885	b 297.705

Рисунок 7 — Работающая иммитационная модель ВККС

2.3 Проведение экспериментов

После того, как мы спроектировали модель, нам необходимо было произвести ряд экспериментов.

Первое исследование, которое мы проведем это влияние ёмкостей входных накопителей на время передачи сообщений и среднее время обработки одного сообщения.

Таблица 1 — Эксперимент №1

Параметры/ Накопители	ВК = 10000 Канала = 50	ВК= 20000 Канала = 100	ВК = 5000 Канала = 20
Время передачи сообщений	27,3 с. (75 сооб)	83,4 с. (246 сооб.)	24,4 с. (46 сооб)
Среднее время обработки одного сообщения	1 с.	1 с.	1 с.

Как мы видим по таблице 1, среднее время обработки одного сообщения не меняется, однако проанализировав время передачи сообщений можно сделать следующие выводы: при увеличении ёмкости входных накопителей, количество переданных сообщений увеличивается, отсюда и увеличивается время на передачу сообщений, а при уменьшении ёмкости, процесс идёт в обратную сторону.

Следующее что мы проверим, это зависимость времени передачи сообщений и среднее время обработки одного сообщения от интервалов времени.

Таблица 2 — Эксперимент №2

Параметры/Интервалы	T1=150 T2=200 T3=300	T1=200 T2=500 T3=1000	T1=50 T2=100 T3=200
Время передачи сообщений	38,7 с. (80 сооб.)	46,4 с (118 сооб.)	38,4 с. (72 сооб.)
Среднее время обработки одного сообщения	1 с.	1 с.	1 с.

На основании результатов эксперимента, отраженных в таблице 2 можно сделать следующие выводы: как и в предыдущем эксперименте среднее время обработки сообщения не меняется; время передачи сообщений, как и количество сообщений увеличивается с увеличением интервала, а при уменьшении почти не меняется, однако количество переданных сообщений уменьшается.

Последний эксперимент покажет влияние зависимостей на время передачи сообщений и среднее время обработки одного сообщения.

Таблица 3 — Эксперимент № 3

Параметры/Вероятности	Вер1 = 0,3 Вер2 = 0,5 Вер3 = 0,7 Вер4 = 1,0	Вер1 = 0,5 Вер2 = 0,7 Вер3 = 1,0 Вер4 = 1,0	Вер1 = 0,1 Вер2 = 0,3 Вер3 = 0,5 Вер4 = 1,0	Вер1 = 0,1 Вер2 = 0,3 Вер3 = 0,5 Вер4 = 1,0
Время передачи сообщений	53,8 с (74)	45,9 с. (113)	51,4 с. (95)	45, 3 с. (115)
Среднее время обработки одного сообщения	1 с.	1 с.	1 с.	1 с.

Последний эксперимент показал неоднозначные результаты: как и в прошлых экспериментах среднее время обработки одного сообщения не меняется, однако время передачи сообщений постоянно изменяется. Тут нельзя сказать о прямой зависимости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения курсовой работы были выполнены следующие задачи:

- изучены методы описания работы систем массового обслуживания;
- разобран пуассоновский поток заявок и его особенности;
- изучили формулу Литтла;
- разработали имитационную модель ВККС и провели на ней эксперименты.

В настоящее время для моделирования систем массового обслуживания применяются две основных группы методов: аналитические и имитационные.

При аналитическом моделировании исследование процессов или объектов заменяется построением их математических моделей и исследованием этих моделей.

Для моделирования локальных вычислительных сетей наиболее часто используются такие типы СМО как: одноканальные СМО с ожиданием, одноканальные СМО с потерями, многоканальные СМО с ожиданием, многоканальные СМО с потерями, одноканальные СМО с групповым поступлением заявок, одноканальные СМО с групповым поступлением заявок.

Одним из методов исследования сложных систем, в том числе, и систем массового обслуживания является метод имитационного моделирования, когда модель имитирует работу реальной системы

Локальная вычислительная сеть в целом может быть представлена в виде сети массового обслуживания. Различают открытые, замкнутые и смешанные сети.

Любой поток характеризуется интенсивностью λ – средним числом событий, поступающих в СМО в единицу времени.

Законом Литтла называют сформулированную американским учёным Джоном Литтлом теорему: Долгосрочное среднее количество L требований в стационарной системе равно долгосрочной средней интенсивности λ входного потока, умноженной на среднее время W пребывания заявки в системе.

В ходе работы была разработана имитационную модель ВККС и провели на ней эксперименты влияния емкостей входных накопителей, интервалов времени и вероятностей на время передачи N сообщений и среднее время обработки одного сообщения.

Результаты экспериментов следующие:

1. Влияние ёмкостей входных накопителей на время передачи сообщений и среднее время обработки одного сообщения: при увеличении ёмкости входных накопителей, количество переданных сообщений увеличивается, отсюда и увеличивается время на передачу сообщений, а при уменьшении ёмкости, процесс идёт в обратную сторону.

2. Зависимость времени передачи сообщений и среднее время обработки одного сообщения от интервалов времени: время передачи сообщений, как и количество сообщений увеличивается с увеличением интервала, а при уменьшении почти не меняется, однако количество переданных сообщений уменьшается.

3. Время передачи сообщений постоянно изменяется. Тут нельзя сказать о прямой зависимости

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Решмин Б.И. Имитационное моделирование и системы управления – Инфра-Инженерия, 2016. – 73 с. (дата обращения 01.02.2022).
2. Каталевский Д. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. – МГУ, 2013. – 205 с. (дата обращения 02.02.2022).
3. Эльберг М.С., Цыганков Н.С. Имитационное моделирование. Учебное пособие. – Институт Инженерной Физики И Радиоэлектроники, 2017. – 160 с. (дата обращения 05.02.2022)
4. Имитационное моделирование экономических процессов – сайт. – URL: http://eos.ibi.spb.ru/umk/11_4/5/5_R0_T6.html (дата обращения 03.02.2022).
5. Понятие систем массового обслуживания – сайт. – URL: <http://bourabai.ru/cm/definition.htm> (дата обращения 07.02.2022).
6. Studbiiks.net– сайт. – URL: https://studbooks.net/2244928/matematika_himiya_fizika/uravneniya_opisyvayuschie_sistemy_massovogo_obs_luzhivaniya/ (дата обращения 22.03.2022).
7. Даденков С.А. Имитационное моделирование дискретных информационных систем и сетей в среде AnyLogic: учеб. пособие / С.А. Даденков, Е.Л. Кон. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 315 с.
8. Эльберг М.С. Имитационное моделирование: учеб. пособие / М.С. Эльберг, Н.С. Цыганков. – Красноярск: Сиб. федерал. ун-т, 2017. – 128 с.
9. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7:.- СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.
10. Куприяшкин, А.Г. Основы моделирования систем: учеб.пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.
11. Азаренко Н.Ю., Давыдов М.К., Казаков О.Д. Имитационное моделирование работы терапевтического отделения как направление повышения качества

					КР-02068025-09.03.02-026.22	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		

человеческого капитала в регионе // В сборнике: Цифровой регион: опыт, компетенции, проекты. Труды II Международной научно-практической конференции. 2019. С. 32-43.

12. Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7:.- СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.

13. Даденков С.А. Имитационное моделирование дискретных информационных систем и сетей в среде AnyLogic: учеб. пособие / С.А. Даденков, Е.Л. Кон. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 315 с.

14. Информатика и вычислительная техника. XII Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2020 (Россия, г. Ульяновск. 15 – 15 июня 2020 г.): сборник научных трудов / под общей ред. В.Н. Непогоды. – Ульяновск: УлГТУ, 2020. – 331 с.

15. Казаков О.Д., Азаренко Н.Ю. Комбинирование методов машинного обучения и имитационного моделирования социально-экономических процессов в системах поддержки принятия решений // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2020. № 71. С. 97-107.