

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Базовая кафедра менеджмента и информационных технологий**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

« \_\_\_\_\_ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

**Б1.В.07**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**09.03.03 Прикладная информатика**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Прикладная информатика в экономике**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ</b>	<b>Стр.</b>
<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	3
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	3
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	4
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	5
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	8
4.3 Лабораторные работы.....	17
4.4 Семинары / практические занятия.....	18
4.5 Контрольные мероприятия: контрольная работа.....	18
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	19
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	20
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	20
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	21
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	21
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ ...	22
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы .....	62
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	64
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	65
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	66
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	75
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	77

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательской и аналитической видам профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является овладение основами теоретических знаний в области системного анализа, математического и имитационного моделирования и умение применять их на практике.

## Задачи дисциплины

Задачей изучения дисциплины является: овладение обучающимися методологией и методиками математического и имитационного моделирования в формализации решения прикладных задач.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-2	способность анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования	<b>знать:</b> - основные понятия и категории системного анализа и математического моделирования; <b>уметь:</b> – использовать основные понятия и категории системного анализа и математического моделирования для анализа социально-экономических задач и процессов; <b>владеть:</b> – статистическими знаниями по системному анализу и математическому моделированию в различных сферах деятельности.
ПК-23	способность применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач	<b>знать:</b> - теоретические основы применения системного подхода и математических методов в формализации решения прикладных задач; <b>уметь:</b> - использовать основные математические методы в формализации решения прикладных задач; <b>владеть:</b> – основными методиками применения системного подхода и математических методов в формализации решения прикладных задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.07 Математическое и имитационное моделирование относится к вариативной части.

Дисциплина «Математическое и имитационное моделирование» базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Б1.Б.09 «Информатика и программирование», Б1.В.06 «Исследование операций и методы оптимизации», Б1.В.ДВ.05.01

«Эконометрика», Б1.В.ДВ.04.01. «Математическая экономика». Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, дисциплина «Математическое и имитационное моделирование» представляет основу для преддипломной практики и подготовки к государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Контрольная работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	3,4	6,7	324	122	52	70	-	166	кр	зачет, экзамен
Заочная	5	-	324	34	12	-	22	281	кр	экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, (час.)	
			6	7
1	2	3	4	5
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	122	22	54	68
Лекции (Лк)	52	8	18	34
Лабораторные работы (ЛР)	70	14	36	34
Контрольная работа	+	-	-	+
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	166	-	54	112
Подготовка к лабораторным занятиям	100	-	40	60
Подготовка к зачету	14	-	14	-
Подготовка к экзамену в течение семестра	30	-	-	30
Выполнение контрольной работы	22	-	-	22

<b>III. Промежуточная аттестация</b> зачет, эк- замен	36	-	+	36
Общая трудоемкость дисциплины	324	-	108	216
час. зач. ед.	9	-	3	6

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий - для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудо- ем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обуча- ющихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоя- тельная ра- бота обу- чающихся
			лекции	лабора- торные работы	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>Сущность и основные этапы ма- тематического моделирования</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>12</b>
1.1.	Модель. Моделирование как способ исследования. Свойства и область применения моделей.	7,5	1,5	-	6
1.2.	Понятие, виды экономико- математических моделей и основ- ные этапы их построения.	10,5	1,5	3	6
<b>2.</b>	<b>Состав и принципы построения имитационной модели.</b>	<b>69</b>	<b>8</b>	<b>31</b>	<b>30</b>
2.1.	Сущность, область применения и основные этапы имитационного моделирования.	10	2	-	8
2.2.	Структура моделирующего алго- ритма.	13	2	3	8
2.3.	Задание времени в имитационной модели.	14	2	4	8
2.4.	Построение моделирующих алго- ритмов.	32	2	24	6
<b>3</b>	<b>Реализация имитационной моде- ли на ЭВМ.</b>	<b>68</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>44</b>
3.1.	Моделирование как эксперимент. Метод Монте-Карло.	9,5	1,5	-	8
3.2.	Способы генерации случайных чи- сел в имитационном моделирова- нии.	9,5	1,5	-	8
3.3.	Моделирование случайных собы- тий.	8	2	-	6
3.4.	Модель входа.	10	2	2	6
3.5.	Модель выхода.	11	3	-	8
3.6.	Модель обратной связи.	20	4	8	8
<b>4</b>	<b>Адекватность и точность имита- ционных моделей.</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>-</b>	<b>12</b>

4.1.	Основные принципы оценки адекватности математической модели.	7	1	-	6
4.2.	Погрешности моделирования.	8	2		6
<b>5</b>	<b>Инструментальные средства имитационного моделирования.</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>16</b>	<b>12</b>
5.1.	Языки имитационного моделирования: концептуальные свойства и особенности, требования, виды, архитектура.	13	3	4	6
5.2.	Пакеты прикладных программ моделирования. Автоматизированные системы моделирования.	21	3	12	6
<b>6.</b>	<b>Основы теории массового обслуживания.</b>	<b>28</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
6.1.	Основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания.	14	4	-	10
6.2.	Входной и выходной потоки в системах массового обслуживания.	14	4	-	10
<b>7.</b>	<b>Системы массового обслуживания (СМО).</b>	<b>36</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
7.1.	СМО при наличии входного и выходного потоков.	17	2	5	10
7.2.	СМО различной конфигурации.	19	4	5	10
<b>8</b>	<b>Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО).</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>16</b>
8.1.	Проблемы моделирования СМО.	10	2	-	8
8.2.	Прикладные задачи ТМО.	10	2	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>288</b>	<b>52</b>	<b>70</b>	<b>166</b>

- для заочной формы обучения:

<i>№ раздела и темы</i>	<i>Наименование раздела и тема дисциплины</i>	<i>Трудоемкость, (час.)</i>	<i>Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)</i>		
			<i>учебные занятия</i>		<i>самостоятельная работа обучающихся</i>
			<i>лекции</i>	<i>практические занятия</i>	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>1.</b>	<b>Сущность и основные этапы математического моделирования</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>16</b>
1.1.	Модель. Моделирование как способ исследования. Свойства и область применения моделей.	8,5	0,5	-	8
1.2.	Понятие, виды экономико-математических моделей и основ-	9,5	0,5	1	8

	ные этапы их построения.				
<b>2.</b>	<b>Состав и принципы построения имитационной модели.</b>	<b>55</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>46</b>
2.1.	Сущность, область применения и основные этапы имитационного моделирования.	12,5	0,5	-	12
2.2.	Структура моделирующего алгоритма.	15,5	0,5	3	12
2.3.	Задание времени в имитационной модели.	16,5	0,5	4	12
2.4.	Построение моделирующих алгоритмов.	10,5	0,5	-	10
<b>3</b>	<b>Реализация имитационной модели на ЭВМ.</b>	<b>78,75</b>	<b>2,75</b>	<b>2</b>	<b>74</b>
3.1.	Моделирование как эксперимент. Метод Монте-Карло.	14,25	0,25	-	14
3.2.	Способы генерации случайных чисел в имитационном моделировании.	15	1,0	-	14
3.3.	Моделирование случайных событий.	10,25	0,25	-	10
3.4.	Модель входа.	10,25	0,25	-	10
3.5.	Модель выхода.	12,5	0,5	-	12
3.6.	Модель обратной связи.	16,5	0,5	2	14
<b>4</b>	<b>Адекватность и точность имитационных моделей.</b>	<b>20,75</b>	<b>0,75</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
4.1.	Основные принципы оценки адекватности математической модели.	10,25	0,25	-	10
4.2.	Погрешности моделирования.	10,5	0,5	-	10
<b>5</b>	<b>Инструментальные средства имитационного моделирования.</b>	<b>37</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>28</b>
5.1.	Языки имитационного моделирования: концептуальные свойства и особенности, требования, виды, архитектура.	16,5	0,5	2	14
5.2.	Пакеты прикладных программ моделирования. Автоматизированные системы моделирования.	20,5	0,5	6	14
<b>6.</b>	<b>Основы теории массового обслуживания.</b>	<b>28,5</b>	<b>1,5</b>	<b>-</b>	<b>27</b>
6.1.	Основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания.	13,5	0,5	-	13
6.2.	Входной и выходной потоки в системах массового обслуживания.	15	1,0	-	14
<b>7.</b>	<b>Системы массового обслуживания (СМО).</b>	<b>44</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>38</b>
7.1.	СМО при наличии входного и выходного потоков.	17,5	0,5	2	15
7.2.	СМО различной конфигурации.	26,5	1,5	2	23
<b>8</b>	<b>Практическое применение теории массового обслуживания</b>	<b>33</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>32</b>

	<b>(ТМО).</b>				
8.1.	Проблемы моделирования СМО.	16,5	0,5	-	16
8.2.	Прикладные задачи ТМО.	16,5	0,5	-	16
	<b>ИТОГО</b>	<b>315</b>	<b>12</b>	<b>22</b>	<b>281</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Сущность и основные этапы математического моделирования

#### Тема 1.1. Модель. Моделирование как способ исследования. Свойства и область применения моделей (Лекция беседа, 1 час.)

##### 1.1.1. Основные понятия.

Модель - любая другая система, обладающая той же формальной структурой, что и исходный объект при условии, если между системными характеристиками модели и объекта существует соответствие, если модель более проста и доступна для изучения свойств объекта-оригинала. Моделирование – представление объекта моделью для получения информации об объекте путем проведения эксперимента с моделью.

**1.1.2. Виды моделирования:** - Математическое; Компьютерное; Логическое; Физическое; Имитационное; Графическое и др.

##### 1.1.3. Свойства и область применения моделей.

1. Конечность, 2. Упрощенность. 3. Приближенность. Адекватность.

##### 1.1.4. Цель и основные задачи моделирования.

###### Цель- разработка управленческих решений

Задачи: выделить и формально описать наиболее существенные экономические взаимосвязи; на основе четко сформулированных исходных данных методами дедукции получить выводы, адекватные изучаемому объекту; индуктивным путём получать новые знания об объекте;

точно и компактно формулировать основные понятия экономической теории.

**1.1.5. Основные аспекты применения математических методов в решении практических проблем:** Совершенствование системы экономической информации. Интенсификация и повышение точности экономических расчетов. Углубление количественного анализа экономических проблем. Решение принципиально новых экономических задач.

#### Тема 1.2. Понятие, виды экономико-математических моделей и основные этапы их построения. (Лекция беседа, 1 час.)

##### 1.2.1. Понятие и состав экономико-математической модели.

Экономико-математическая модель - выражение, состоящее из совокупности взаимосвязанных математическими зависимостями величин и факторов, все или часть которых имеют экономический смысл.

**1.2.2. Основные этапы экономико-математического моделирования.** Изучение системы и построение модели. Изучение модели (модельный эксперимент). Перенос знаний о модели на реальный объект. Разработка управленческих решений.

**1.2.3. Состав экономико-математических методов.** Группа 0. Принципы экономико-математических методов: Группа 1. Математическая статистика (ее экономические приложения); Группа 2. Математическая экономика и эконометрия; Группа 3. Методы принятия оптимальных решений, включая исследование операций; Группа 4. Методы экспериментального изучения экономических объектов; Группа 5. Экономическая кибернетика:

**1.2.4. Классификационные свойства экономико-математических моделей.** По временному признаку, о способу логико-математического отражения действительности: По целевому назначению, По характеру отражения причинно-следственных связей, По требованию целочисленности к результатам решения, По способу отражения структуры системы, По логике моделирования: Аналитические модели, Имитационные модели, Комбинированные модели.

##### 1.2.5. Достоинство и недостатки имитационных моделей.

Достоинство: Большая гибкость с точки зрения декомпозиции сложных систем в отличие от классических методов. Недостаток: Значительные затраты средств и времени на создание модели, особенно при попытке оптимизации поведения системы.

### Раздел 2. Состав и принципы построения имитационной модели

#### Тема 2.1. Сущность, область применения и основные этапы имитационного моделирования. (Лекция беседа, 1 час.)

##### 2.1.1. Сущность имитационного моделирования

Имитационное моделирование – статистический эксперимент, результаты которого носят оценочный характер (приблизительный), следовательно, необходимо выдвижение и проверка статистических гипотез, но, в отличие от обычного лабораторного эксперимента, имитация полностью воспроизводится на ЭВМ.

##### 2.1.2. Область применения имитационного моделирования

Теоретические задачи в различных областях науки (математике, физике, химии, ): *в математике, в физике.*  
Практические задачи.

**2.1.3.Методология имитационного моделирования.** методы системной динамики; методы агентного моделирования; методы моделирования дискретно-событийных и динамических систем; методы стохастического имитационного моделирования; методы эволюционного моделирования

**2.1.4.Элементы имитационной модели.** Для имитации должна быть сформирована имитационная система: Ядро, внутреннее математическое обеспечение, внешнее математическое обеспечение.

**2.1.5.Этапы имитационного моделирования.** Определение системы, формирование вектора состояния системы. Создание модели (т.е. **формализованной схемы процесса**). Подготовка и представление в соответствующей форме необходимых данных. Подготовка алгоритма и его отладка. Трансляция модели. Оценка адекватности модели. Стратегическое планирование. Tактическое планирование. Проверка работоспособности модели (**Верификация, Валидация**). 11. Экспериментирование. 12. Интерпретация модели. 13. Реализация. 14. Документирование.

**Тема 2.2.Структура моделирующего алгоритма.** (Лекция беседа, 1 час.)

### **2.2.1.Формализованная схема процесса и моделирующий алгоритм**

Разрабатывается в результате: структуризации объекта с выделением моделей объекта и связей между ними на основе требований:

2.выбора математического метода описания каждого модуля на основе значения физической природы объекта и возможностей вычислительной техники. 3.построения блок-схемы и ее детализации.

**2.2.2.Состав формализованной схемы процесса:** управляющая блок-схема; описание каждого модуля; наименование каждой решаемой задачи; состав входной и выходной информации, числовые данные; описание правил передачи управления от одного модуля к другому. временной график решения задачи.

**Тема 2.3.Задание времени в имитационной модели.**

### **2.3.1. Основные способы и принципы моделирования времени**

Способы задания времени определяют принципы построения имитационных моделирующих алгоритмов

**Правило:** событие, которое происходит в момент времени  $t_j$ , может моделироваться только после того, как промоделированы все события, произошедшие в предыдущий момент времени  $t_{j-1}$ .

**Принципы:** Повременное моделирование с детерминированным шагом (принцип « $\Delta t$ »). Моделирование по «особым» событиям, или моделирование со случайным шагом (принцип « $\delta t$ »). Позаявочный способ.

### **2.3.2.Метод повременного моделирования с детерминированным шагом**

$\Delta t$  – минимально возможная фиксированная величина, **шаг моделирования**, в течение которого не меняется система и ее элементы.

Алгоритм одновременно позволяет просматривать все элементы системы через  $\Delta t$  и связи между ними на каждом  $i$ -ом шаге.

### **2.3.3.Метод повременного моделирования со случайным шагом**

«**Особое**» состояние - любое скачкообразное качественное изменение системы, совпадающее с поступлением в систему внешних воздействий, или когда из выходных характеристик одна выходит за границу области допустимости.

### **2.3.4.Позаявочный способ**

**Заявка** – информация, детали, заявки на инструменты и т.д. Алгоритм прослеживает прохождение каждой заявки от ее входов в систему до выхода и после этого переходит к рассмотрению новой заявки.

**Тема 2.4.Построение моделирующих алгоритмов.**

### **2.4.1.Метод повременного моделирования со случайным шагом:**

Предмет исследования: склад инструментов.

Цель исследования: определение среднего времени простоя в результате ожидания обслуживания одной заявки в зависимости от количества кладовщиков.

### **2.4.2. Позаявочный способ**

Рассматривается работа поточной линии из четырех рабочих мест, причем технология изготовления предусматривает 4 *основных* (А) и 2 *контрольных* (К) операции.

Необходимо определить среднюю производительность поточной линии в единицу времени (V) и коэффициенты «пролеживания» изделий в ожидании очередной операции (k).

$$V = \frac{j-r}{T}; K = \frac{d_i}{T}$$

**Раздел 3.Реализация имитационной модели на ЭВМ**

### **Тема 3.1.Моделирование как эксперимент. Метод Монте-Карло.**

**Метод Монте-Карло** - это метод статистических испытаний, один из методов статистического моделирования, основанный на модели «черного ящика». Применяется в тех случаях, когда: построение аналитической модели невозможно или затруднено по причине больших или недопустимых погрешностей; натурное исследование невозможно или нежелательно; необходимо не только наблюдать за развитием процесса в нежелательных направлениях, но и оценивать гипотезы о параметрах нежелательных ситуаций.

Для проверки гипотез используются: **критерий  $\chi^2$**  (желательно  $n > 100$ ); **критерий Колмогорова** .

### ТЕМА 3.2. Способы генерации случайных чисел в имитационном моделировании.

- инверсный;
- аппроксимация непрерывной функцией;
- использование статистического соотношения распределения;
- использование центральной предельной теоремы теории вероятности
- автоматическая генерация с помощью языков программирования.

### ТЕМА 3.3. Моделирование случайных событий.

#### 3.3.1. Моделирование случайного события $A$ .

$P(A) = p$ ; - вероятность события  $A$ .

Для определения  $p$  используется последовательность случайных чисел, равномерно распределенных в интервале  $[0;1]$ .

Считается, что событие  $A$  случилось, если  $x_i \leq p$ .

#### 3.3.2. Моделирование полной группы событий $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

События наступают с вероятностями:  $p_1, p_2, \dots, p_n$ .

#### 3.3.3. Моделирование дискретной случайной величины.

Дискретная случайная величина принимает конечное число возможных значений с вероятностями  $p_j, j = 1 \dots m$ .

Методом последовательного приближения подбирается такое число  $r$ , чтобы  $\sum_{j=1}^m P_j \leq x_r \leq \sum_{j=1}^r P_j$ ;

#### 3.3.4. Моделирование сложных случайных событий.

Если  $A$  и  $B$  – исходные события, независимы между собой и имеют вероятности наступления  $P(A)$  и  $P(B)$  и существует возможность двух вариантов моделирования.

### ТЕМА 3.4. Модель входа.

#### 3.4.1. Общие принципы функционирования модели входа

Для введения в моделирующий алгоритм случайных факторов используются специальные модели имитации случайных величин и событий. Эти модели являются основными, т.к. все остальные действия сводятся к преобразованию полученных по соответствующим правилам случайных чисел. Поэтому необходимо иметь возможность генерации случайных чисел, либо равномерно распределенных, либо распределенных с требуемыми характеристиками.

В имитационных моделях выборки, соответствующие любому вероятностному распределению, производятся на основе использования случайных чисел из интервала  $[0;1]$ , исходя из следующих условий:

1) Все числа из интервала  $[0;1]$  должны появляться с одинаковой частотой (вероятностью).

2) Последовательные положения точек в интервале  $[0;1]$  генерируются случайным образом, т.е.: эти точки независимы и не коррелированы.

Для получения «псевдослучайных» чисел на интервале  $[0;1]$  применяются арифметические методы, из них наиболее часто – мультипликативный конгруэнтный метод.

#### 3.4.2. Этапы статистической оценки случайных воздействий

1) На основе ряда чисел, отражающих исследовательский процесс, строится график функции распределения. 2) Определяются случайные числа в интервале  $(0;1)$ . 3) От точки на оси  $Y$  проводят горизонтальную линию до пересечения с кривой распределения, затем определяют требуемое значение случайной величины на оси (перпендикуляр вниз). Этапы 2 и 3 повторяют для всех случайных чисел, следуя тому порядку, в котором они были получены.

### Тема 3.5. Модель выхода. (Лекция беседа, 2 час.)

#### 3.5.1. Основные принципы функционирования

Модель выхода представляет собой обработку реализации случайных чисел. В итоге получение выходной модели информации, в том числе: определение основных числовых характеристик случайной выборки; определение формы и параметров закона распределения; определение статистической зависимости между входными и выходными данными с проверкой значимости построенной модели и отдельных ее параметров. Для решения этих задач используется теория проверки статистических гипотез: по имеющимся выборочным данным необходимо принять наиболее обоснованное решение в виде параметров генеральной совокупности.

#### 3.5.2. Процедура испытания статистических гипотез.

Этап 1. Формулировка нулевой (исходной) гипотезы  $H_0$  для утверждения того, что выборочная статистика согласуется с принятым параметром генеральной совокупности с учетом возможности использования известного вероятностного распределения. До начала исследований формулируется также и альтернативной гипотеза  $H_1$ .

Этап 2. Выбор уровня значимости или доверительной вероятности с учетом существенности различий между выборочной и генеральной характеристикой. Этап 3. Определение критических величин (статистических критериев), т.е. показателей, вычисляемых на основе фактических наблюдений и дающих основание для суждения и приемлемости гипотезы.

Этап 4. Проведение случайной выборки данных.

Этап 5. Расчет проверочной статистики, сравнение её с критическими величинами и формулировка выводов. Считается, что все рассмотренные выборочные данные измерены с одинаковой точностью.

### 3.5.3. Основные статистические критерии

Однако обычно мы сталкиваемся с несколькими стандартными случаями. Выборочная статистика — средняя, доля и дисперсия подчиняются либо нормальному, либо  $t$ ,  $F$  или хи-квадрат-распределениям.

### 3.5.4. Исследование статистической зависимости в имитационной модели

Для определения статистической зависимости между входными и выходными характеристиками и проверки значимости моделируемой зависимости используется аппарат многофакторной и однофакторной регрессии. В связи с тем, что при проведении экспериментов неясно, какая из функций наилучшим образом описывает зависимость между факторами, выбирают несколько таких функций.

## Тема 3.6. Модель обратной связи. (Лекция беседа, 2 час.)

### 3.6.1. Общие принципы построения и функционирования модели обратной связи.

Построение этих моделей основано на использовании теории оптимального планирования эксперимента, которая позволяет сократить число необходимых имитационных экспериментов при сохранении заданной точности путем обоснованного выбора значений управляемых переменных. В этой теории для описания результирующей характеристики (критерия оптимальности) используются полиномиальные модели, которые аппроксимируют реальный вид целевой функции.

Общий вид полинома:

$$f(w) = Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ij} x_i^2 \dots = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + \dots$$

$f(w)=Y$  называется функцией отклика, поверхностью отклика или характеристической поверхностью.

### 3.6.2. Основы теории планирования эксперимента. План эксперимента.

Информация для проведения эксперимента записывается в виде матрицы планирования эксперимента, которая называется планом эксперимента. Для получения коэффициентов регрессии  $b_i$  с высокой точностью и достоверностью к плану эксперимента предъявляют ряд требований, что приводит к формированию  $x_{mi}$  значений по определенным правилам. Процедура выбора подобласти проведения эксперимента состоит из двух этапов: выбор основного уровня  $x_{oi}$ ; выбор интервала варьирования (изменения)  $i$ -го фактора  $I_i$ .

Полным факторным является эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания факторов или их уровней. Объем полного факторного эксперимента составит  $2^n$ . Как правило, полный факторный эксперимент содержит избыточную информацию. Поэтому вместо полного проводят дробный факторный эксперимент.

### 3.6.3. Виды и свойства факторов.

Математические методы этой теории основаны на кибернетическом представлении процесса (т.е. процесс как черный ящик). В зависимости от роли в эксперименте выделяют факторы:  $X$  (входы) – экзогенные переменные, управляемые;  $Y$  (выходы) – эндогенные переменные (реакция системы). Значения, которые принимают  $X_i$  факторы называются уровнями, набор этих уровней определяет условия проведения эксперимента. Каждому набору уровней соответствует определенная точка в многомерном пространстве, которая называется факторной. Эксперименты проводят только в точках допустимой области. Поверхность реакции – вид этой функции до проведения эксперимента не известен.

### 3.6.4. Процедура выбора подобласти проведения эксперимента

Для поиска оптимума в области определения факторов  $x_1, x_2$  выбирают произвольную точку  $A_1$ . В окрестностях этой точки выделяют малую область, в пределах которой можно описать функцию отклика полиномом первой степени. В этой подобласти производят серию экспериментов (точки  $I$ ), которая необходима для построения (линейной) модели.  $y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i$ ;

Коэффициенты регрессии  $b_i$  используются для определения направления градиента, следуя которому, осуществляется выбор новой точки  $A_2$ , вокруг которой проводится новая серия экспериментов. **Градиентный метод** – метод минимизации функции многих переменных (целевой функции). Метод состоит в том, что последующее приближение функции получается из предыдущего смещением в направлении, противоположном направлению градиента целевой функции.

### 3.6.5. Последовательность достижения оптимума.

1. Обработка экспериментальных данных эксперимента и оценка параметров регрессионной модели  $b_i$ . 2. Расчет составляющих градиента. 3. Подбор масштаба для определения шага изменения основного уровня  $k$ . 4. Расчет новых значений основных уровней факторов.

5. Расчет значений целевой функции для точки с новыми координатами и сравнение этого значения с наилучшим из значений целевой функции, рассчитанном по предыдущей серии экспериментов. 6. Если шаг варьирования факторов выбран правильно (т.е. получено улучшение значения целевой функции), то необходимо продолжить увеличение основных уровней факторов на величину  $k\Delta i$ , иначе необходимо изменить масштаб. 7. Значение точки, в которой достигнуто максимальное улучшение целевой функции, принимают за центр подобласти проведения нового эксперимента. В отношении этой точки этапы со второго по шестой и определяют направление градиента.

### 3.6.6. Оптимизация в имитационном моделировании

Имитационная модель строится вне рамок оптимизационного процесса. Специфика оптимизации по сравнению с оптимизацией на основе аналитических моделей проявляется: 1. в имитационном моделировании оценивается результат работы системы при заданных значениях управляемых переменных, которые рассматриваются как входные данные. 2. оптимизационный процесс реализуется с помощью систематического изменения значения управляемых переменных с последующим получением результатов прогона.

## Раздел 4. Адекватность и точность имитационных моделей

### Тема 4.1. Основные принципы оценки адекватности математической модели.

Под адекватностью ИМ понимаем степень отражения параметрами модели характеристик исследуемой системы с точностью, требуемой для конкретного исследования. Оценка адекватности напрямую мало реальна, и чаще всего руководствуются косвенными соображениями. Способы оценки адекватности: 1) верификации, 2) оценка пригодности модели.

### Тема 4.2. Погрешности моделирования

#### 4.2.1. Виды погрешностей математических моделей

Вид погрешности	Причины	Форма контроля
1. Результат незнания или неправильного задания исходных данных	Замена случайных и неопределенных факторов модели детерминированными величинами с целью уменьшения объема вычислений и неточности априорной оценки	Использование методов теории чувствительности, основанных на линеаризации исследуемой функции с целью определения влияния факторов на изменение результатов. Интервальная оценка входных факторов.
2. Упрощение исходной математической модели	Получение приближенного, но обязательно аналитического решения, заменяя сложные математические соотношения более простыми	Расчет ошибок аппроксимации
3. Дискретная реализация математической модели на ЭВМ, в том числе ошибки округления и методические ошибки	а) конечная разрядность ЭВМ; б) использование численных методов приводит к замене бесконечного вычислительного процесса конечным (например, интеграл – сумма, решение систем уравнений).	Выбор таких методов дискретной реализации модели, которые на основе имеющихся данных позволяют утверждать, что выявленные погрешности не превышают заданные
4. Ограниченность статистики	Есть выборка и генеральная совокупность, которые не совпадают (ошибки наблюдения и ошибки репрезентативности)	Увеличение объема выборки, соответствие структур...

#### 4.2.2. Расчет суммарной погрешности модели.

**Ошибки репрезентативности:** случайные (обусловлены расхождением эмпирического и теоретического распределения); систематические (несовершенство методики расчетов и системы сбора и обработки данных). Суммарная ошибка модели  $S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2}$ .

#### 4.2.3. Распределение допусков на управляемые переменные.

Влияние допусков и вариации значений управляемых переменных необходимо учитывать по следующим причинам:

- 1) В силу ограниченности времени, стоимости и возможности построения модели;
- 2) Воздействие внешних условий, которые не учтены в модели, которые изменяются в течение срока функционирования объекта.

Допуск – установленное допущение ошибки, либо в параметре, либо в других требованиях, отражающие максимально допустимую ошибку, в противоположность к действительной ошибки в каждом конкретном случае. Если известны допуски на характеристики модели и известны связи между изменением выходных характеристик, то определяют величину допуска на значение параметров-

$D_E(x) = D_E - \Delta_E$ ;  $D_E$  - допуск на выходную характеристику, т.е. на критерий оптимальности, устанавливаемый заказчиком в техническом задании на разработку модели,  $\Delta_E$  – суммарная погрешность модели при расчете выходных характеристик,  $D_E(x)$  – суммарный допуск по выходной характеристике E на значение управляемых переменных  $X_i$ .

## Раздел 5. Инструментальные средства имитационного моделирования

### Тема 5.1. Языки имитационного моделирования: концептуальные свойства и особенности, требования, виды, архитектура

#### 5.1.1. Требования к языкам имитационного моделирования.

В зависимости от сложности объекта моделирования S целесообразно использование либо ЭВМ, либо ЛВС. В любом случае эффективность S на программно реализуемой модели зависит от: правильности схемы моделируемого алгоритма; от совершенства программы;

**Язык программирования** – набор символов, распознаваемых ЭВМ и обозначающих операции, реализуемые на ней.

**Языки имитационного моделирования** делятся на 2 группы: 1) машинно-ориентированные языки, 2) процедурно-ориентированные языки.

#### **5.1.2. Особенности использования алгоритмических языков**

**Языки имитационного моделирования.** Целесообразность их использования обусловлена двумя факторами: удобство программирования модели системы, концептуальная направленность языка на определенный класс систем – для выбора основного направления исследований в машинном планируемом эксперименте.

#### **5.1.3. Архитектура языков моделирования (АЯМ)**

**АЯМ** трактуется как концепция взаимоотношений элементов языка как сложной системы и с другой стороны это технология перехода от системы к модели. **Основные элементы:** 1. Объекты моделирования, которые отображаются в языке с помощью некоторых его атрибутов. 2. Атрибуты взаимодействуют с процессами, которые адекватны реально протекающим в системе. 3. Процессы требуют некоторых условий, которые определяют логическую основу и последовательность взаимодействия этих процессов во времени. 4. Условия влияют на события, имеющие место внутри системы и при взаимодействии с внешней средой. 5. События отражают изменения состояния модели в пространстве и времени.

#### **5.1.4. Требования, предъявляемые к языкам имитационного моделирования**

Совмещение, Размер, Изменения, Взаимосвязанность, Стохастичность.

#### **5.1.5. Основы классификации языков моделирования.**

Для машинного моделирования систем могут использоваться три вида вычислений, основанных на применении аналоговой, гибридной и цифровой вычислительной техники. Аналоговые и гибридные реализуются не программно, а с использованием электрических цепей, т.е. языки программирования не используются. Для моделирования систем используются универсальные и процедурно-ориентированные языки общего назначения (ЯОН) и языки имитационного моделирования (ЯИМ), т.е. специализированные.

#### **5.1.6. Языки моделирования непрерывных систем**

Непрерывные процессы моделируются с использованием ЭВМ и аналоговых ВМ, при этом ЭВМ обладают большей надежностью в эксплуатации и позволяют получить более надежные результаты. Непрерывное представление системы сводится к составлению уравнения, которое устанавливает связь между эндогенными (внутренними) и экзогенными (внешними) переменными модели, при этом могут использоваться два типа уравнений: дифференциальные уравнения, конечно-разностные уравнения. **Комбинированным** называется представление системы в виде типовой схемы, в которой участвуют дискретные и непрерывные величины.

#### **5.1.7. Языки моделирования дискретных систем**

- а) языки событий
- б) языки действий
- в) языки процессов
- г) языки транзактов

#### **5.1.8. Сравнение эффективности языков моделирования**

Оценочные критерии могут использоваться и для языков имитационного моделирования, и для языков общего назначения:

1. Возможность описания структуры и алгоритма поведения исследуемой системы в терминах языка.
2. Простота применения для построения модели, машинной реализации и обработки результатов моделирования.
3. Предпочтения пользователя: степень универсальности языка и знакомство пользователя с этим языком.

#### **5.1.9. Выбор языка моделирования системы**

Выбор языка моделирования системы основан на классификации языков имитационного моделирования и на оценке их эффективности и может быть представлен в виде дерева решений. Перед тем, как пользоваться этим деревом решений, необходимо разработать концептуальную модель системы, осуществить ее формализацию, выполнить алгоритмизацию модели, машинную реализацию. Исходя из постановки задачи моделирования конкретной системы, поставленных целей, выбранных критериев оценки эффективности и ограничений делают выводы о размерности задачи моделирования.

## **Тема 5.2. Пакеты прикладных программ моделирования. Автоматизированные системы моделирования**

### **5.2.1. Назначение и состав ППМ**

ППМ – проблемно-ориентированные комплексы и автоматизированные системы моделирования (АСМ), которые должны повысить эффективность выполнения пользователем следующих процедур: преобразование к типовым математическим схемам элементов моделируемой системы и построение схем сопряжения; обработка и анализ результатов моделирования; реализация интерактивного режима с пользователем в процессе моделирования. В составе ППМ выделяют три компонента: функциональное наполнение; язык заданий; системное наполнение.

### **5.2.2. Автоматизированные системы моделирования.**

**Структура АСМ:** (1 формирование БД об объекте моделирования (БДО); (2 программа формирования БД о машинном эксперименте (БДЭ); (3 программа моделирования процесса получения данных о планируемом эксперименте, т.е. о факторах, реакциях, начальных состояниях и т.д.; (4 программа использования БДЭ, а именно выделение сведений из БДО, необходимых и достаточных для реализации машинного эксперимента; (5 про-

грамма корректировки введенной информации о машинном эксперименте; (б программа расположения информации в архивах, внешней и оперативной памяти.

## Раздел 6. Основы теории массового обслуживания

### Тема 6.1. Основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания.

#### 6.1.1. Теория массового обслуживания -

Раздел исследования операций, который рассматривает процессы обслуживания, т.е. удовлетворения запросов, или заказов, которые характеризуются наличием состояния ожидания, являющегося следствием вероятностного характера возникновения потребностей и их удовлетворения соответствующими обслуживающими системами. Цель раздела – контроль на основе расчета количественных показателей систем массового обслуживания, которые характеризуют операционные возможности таких систем. Основой является теория вероятности и теория случайных процессов. ТМО устанавливает зависимость между: характером потока заявок; количеством каналов;

их производительностью; правилами работы СМО; эффективностью обслуживания.

#### 6.1.2. Основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания

**Образование очереди заявок на обслуживание.** Поступив в обслуживающую систему, требование, или заявка присоединяется к очереди других (ранее поступивших) требований. Обслуживающий узел системы (прибор) выбирает одно из находящихся в очереди требований, чтобы приступить к его обслуживанию. После завершения процесса обслуживания очередного требования система приступает к обслуживанию следующего, если оно в данный момент времени находится в блоке ожидания.

**Основные элементы системы массового обслуживания:** заявки на обслуживание (требования), которые могут быть поступающими в систему и выбывающими из нее – входные и выходные потоки; механизм обслуживания; при этом он может выступать в роли обслуживающей системы в целом; либо обслуживающие узлы (приборы) – в случае многофакторного и мультиканального обслуживания.

**Функциональные возможности** любой модели системы массового обслуживания определяются следующими факторами: (1) Распределение моментов поступления требований – единичных (индивидуальных) или групповых. (2) Распределение вероятностей продолжительностей обслуживания. Характеристики (1) и (2) описывают поведение входного и выходного потока заявок. (3) Конфигурация обслуживающей системы. Обслуживание может быть: последовательным, параллельным, последовательно-параллельным; (4) Дисциплина очереди, т.е. принципы, в соответствии с которыми поступающие на вход системы требования подключаются из очереди к процедуре обслуживания.

(5) Приоритетные характеристики обслуживания. (6) Вместимость блока ожиданий (допустимая длина очереди). (7) Емкость (мощность) источника требований. (8) Факторы, обусловленные участием в системе массового обслуживания человека либо в качестве пользователя, либо в качестве исполнителя (элемента системы). **Бихевиоральные характеристики.**

#### 6.1.3. Характеристики эффективности обслуживания:

- Среднее количество заявок, обслуженных в единицу времени (пропускная способность); Средний процент заявок, покидающих СМО необслуженными; Среднее время ожидания в очереди; Средний доход, приносимый СМО в ед. времени.

#### 6.1.4. Виды и характеристика марковских процессов

Случайный процесс (СП), протекающий в системе  $S$ , называется **марковским**, если для каждого момента времени  $t_0$  вероятность любого состояния системы в будущем (при  $t > t_0$ ) зависит только от ее состояния в настоящем (при  $t = t_0$ ) и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние (т.е. как процесс развивался в прошлом).

СП с дискретным временем - переход системы из состояния в состояние возможен только в заранее фиксированные моменты времени. Если в любые моменты времени, то - СП с непрерывным временем.

Виды потоков: стационарный **без последствия**: если для любых непересекающихся участков времени число событий, попадающих на один из них, не зависит от того, сколько событий попало на другие. **ординарный**: если  $P$  попадания на  $h$  друг событий или более пренебрежимо мала по сравнению с  $P$  попадания ординарных событий. **простейший пуассоновский**.

## ТЕМА 6.2. Входной и выходной потоки в системах массового обслуживания.

### 6.2.1. Роль пуассоновского и экспоненциального распределений в теории массового обслуживания.

Процессы массового обслуживания характеризуются следующими **свойствами входных и выходных потоков**:

**Поток событий** – последовательность однородных событий, следующих одно за другим в случайные моменты времени.

1. вероятность наступления события (поступление в обслуживающую систему требований или выбытие из системы обслуживаемого клиента в интервале времени  $t; t+h$ ) зависит только лишь от величины  $h$ , т.е. вероятность наступления такого события не зависит ни от количества событий, имевших место до момента времени  $t$ , ни от расположения  $t$  на оси времени, т.е моделируются стационарные процессы;

2. вероятность реализации события на бесконечно малом отрезке времени  $h$  больше 0, но меньше 1; 3. на бесконечно малом отрезке  $h$  реализуется не более одного события. Эти свойства используются для оценки вероятности наступления  $n$  событий в интервале времени  $t - P_n(t)$ .

### 6.2.2. Алгоритм составления уравнений Колмогорова

$P_{ij} \equiv \lambda_{ij}$  – плотность вероятности перехода (среднее количество переходов в единицу времени). 1. В левой части каждого уравнения – производная вероятности состояния, правая – содержит столько слагаемых, сколько стрелок связано с данным состоянием. 2. Если стрелка направлена из состояния, то слагаемое имеет знак «-», иначе – «+». 3. Каждое слагаемое равно произведению плотности вероятности перехода соответствующей стрелке), умноженной на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка.

### 6.2.3. Характеристики входных потоков

Все расчеты производятся в предположении, что все поступающие в систему требования обязательно присоединяются к очереди, и не покидают систему до тех пор, пока их не обслужат. В теории массового обслуживания такие стохастические процессы называются **процессами «чистого рождения»**. Необходимо определить вероятность наступления событий за интервал времени  $t - P_n(t)$  при  $h \rightarrow \infty$  и  $n > 0$ .

Решение дифференциально-разностных уравнений, т.е. величина  $p_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$ ,  $n=0, 1, 2, \dots$ , т.е. распределение вероятности  $p_n(t)$  подчиняется пуассоновскому распределению со средним и дисперсией равными  $\lambda t$ .

### 6.2.4. Характеристики выходных потоков

Процесс на выходе системы рассматривается в предположении, что система начинает функционировать при наличии в ней  $N$  клиентов или заявок, которые выбывают из системы после завершения их обслуживания с интенсивностью  $\mu$ . Соответствующие стохастические процессы называются **процессами «чистой гибели»**.

Результат решения составленной системы:  $q_n(t) = \frac{(\mu t)^n e^{-\mu t}}{n!}$ , где  $n = 0, 1, 2, \dots$  и  $q_N(t) = 1 - \sum_{n=0}^{N-1} q_n(t)$

## Раздел 7. Системы массового обслуживания (СМО).

### Тема 7.1. СМО при наличии входного и выходного потоков.

#### 7.1.1. Характеристика идентификационной структуры Кендалла

Для обозначения любой СМО с параллельно работающими узлами используют обозначения Кендалла  $(a|b|c):(d|e|f)$ , где  $a$  – распределение моментов поступления заявок в систему;  $b$  – распределение времени обслуживания (выбытия);  $c$  – число параллельно функционирующих узлов  $[1; \infty)$ ;  $d$  – дисциплина очереди: первым пришел, первым ушел; последним пришел, первым ушел; случайная;  $G$  – дисциплина очереди не регламентирована, т.е. сама система определяет порядок ввода требований в режиме обслуживания;  $e$  – максимальное число допускаемых в систему требований (заявок), которое равно числу требований в очереди + число требований, находящихся на обслуживании;  $f$  – емкость источника, генерирующего заявки  $[1; \infty)$ .

#### 7.1.2. Алгоритм и условия определения основных операционных характеристик СМО

**Конечная цель исследования систем массового обслуживания** – разработка критериев эффективности функционирования систем, для чего необходимо определить режим функционирования систем, так как протекающие в них процессы зависят от времени.

Выделяют: неустановившийся стохастический режим, стохастический стационарный режим.

При выполнении условия стационарности используются следующие операционные характеристики систем массового обслуживания:

$P_n$  – вероятность того, что в системе находятся  $n$  заявок (клиентов);  $L_s$  – среднее число, находящихся в системе клиентов (заявок);  $L_q$  – среднее число клиентов в очереди на обслуживание;  $W_s$  – средняя продолжительность пребывания клиента в системе;  $W_q$  – средняя продолжительность пребывания клиента в ожидании обслуживания (в очереди).

### Тема 7.2. СМО различной конфигурации.

#### 7.2.1. (M|M|1):(GD|∞|∞)

Для определения вероятности  $p_n$  независимо от вида системы необходимо решить две задачи: получить уравнение в конечных разностях для  $p_n(t)$ ; при соответствующих условиях перейти к пределам при  $t \rightarrow \infty$  и получить формулу для  $p_n$ , соответствующую конкретному режиму работы исследуемого процесса (по аналогии с исследованием процессов чистого рождения и чистой гибели).

$$L_s = \frac{\rho}{1-\rho}; W_s = \frac{L_s}{\lambda} = \frac{1}{\mu(1-\rho)}; L_q = L_s - \frac{\lambda}{\mu} = \frac{\rho^2}{1-\rho}; W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{\rho}{\mu(1-\rho)}$$

#### 7.2.2. (M|G|1):(GD|∞|∞)

Система располагает одним обслуживающим узлом, и вводятся следующие предположения: входной поток является пуассоновским с параметром  $\lambda$ ; распределение продолжительности обслуживания является произвольным со средним значением  $E(t)$  и дисперсией  $var(t)$ ; выполняется условие стационарности, т.е.  $\rho = \lambda \cdot E(t) < 1$ .

Для систем такого класса и с такими предположениями используется теория Поллачека-Хинчина для определения среднего числа находящихся в системе заявок ( $L_s$ ):

$$L_s = \lambda \cdot E(t) + \frac{\lambda^2 \cdot E^2(t) + \text{var}(t)}{2 \cdot 1 - \lambda \cdot E(t)}$$

### 7.2.3.(M/M/1): (GD/N/∞)

Максимальная длина очереди -  $N-1$ , т.е. при наличии в системе  $N$  требований ни одна из дополнительных заявок в блоке ожиданий не может присоединиться к очереди. Характерно то, что  $\lambda_{\text{эфф}} < \lambda$ . Дифференциально-разностная система уравнений имеет такой же вид, как и предыдущая модель. Т.к. вероятность того, что требование не может присоединиться очереди равно  $P_N$ , то доля требований, которым разрешено войти в блок ожиданий составит  $1-P_N=P(n < N)$ . Причем,  $\lambda_{\text{эфф}} = \lambda(1-P_N)$ ,  $L_s = L_q + \lambda_{\text{эфф}}/\mu$ ,  $W_q = L_q / \lambda_{\text{эфф}}$ ,  $W_s = W_q + 1/\mu$ .

### 7.2.4.(M/M/C) : (GD/∞/∞)

Цель системы – повышение скорости обслуживания по сравнению с одноканальной системой за счет того, что одновременно обслуживается  $C$  заявок. Данная ситуация эквивалентна использованию одного узла, быстродействию которого может изменяться, увеличиваясь в  $n$  раз, при наличии в системе  $n$  заявок. Если  $n=c$ , то интенсивность входного (выходного) потока составит  $c\mu$ , если  $n < c$ , то  $n\mu < c\mu$ . Для анализа данной модели строится обобщенная одноканальная модель, в которой интенсивность входного потока и скорость обслуживания зависят от  $n$ , т.е. вместо  $\lambda$  и  $\mu$  рассматривается  $\lambda_n$  и  $\mu_n$ . Предпосылка:  $\lambda_n = \lambda$ ,  $\mu_n = n\mu$  при  $n < c$ ,  $\mu_n = c\mu$  при  $n \geq c$ . Можно получить оценки для всех операционных характеристик системы.

### 7.2.5.(M/M/C):(GD/N/∞)

$c < N$ . Максимальная длина очереди не превышает  $N-c$ .

$$L_s = L_q + (c - \bar{c}) = L_q + \frac{\lambda_{\text{эфф}} \bar{c}}{\mu}, \quad \bar{c} - \text{среднее количество простаивающих узлов, } c - \bar{c} - \text{среднее количество загру-$$

женных узлов,  $\mu(c - \bar{c})$  – фактическое количество клиентов, обслуживаемых в единицу времени составляет  $\lambda_{\text{эфф}}$ .

### 7.2.6.Модель самообслуживания (M/M/∞) (GD/∞/∞)

Сам клиент выступает в качестве узла обслуживания. Для вывода формул используется вспомогательная модель ( $M_n/M_n/1$ ) (GD/∞/∞),

для которой  $\lambda_n = \lambda$  и  $\mu_n = n\mu$  если  $n \geq 0$ .

### 7.2.7.СМО с приоритетами.

Предполагается, что у входа в блок обслуживания формируются несколько очередей  $i = 1 \dots n$ , в каждой из которых требования имеют определенный уровень предпочтительности. Принято считать, что первая очередь обладает самым высоким, а последняя – самым низким приоритетом на обслуживание. Частота поступления заявок и продолжительность их обслуживания может быть неодинаковой для различных очередей; предполагается дисциплина очереди ПЕРППЮ, при этом обслуживание может осуществляться в соответствии с одним из правил: **правило прерывания, правило без прерываний (NPRP)**. Рассматриваются как одно-, так и многоканальные системы (модели). В (1) случае входящий поток является пуассоновским, а распределение времени процедур обслуживания – произвольное. Во (2) случае и входящий, и выходящий потоки являются пуассоновскими.

### 7.2.8.Тандемы очередей

Рассматриваются Пуассоновские процессы в системах, которые характеризуются последовательным распределением узлов обслуживания. Процесс обслуживания заканчивается только после прохождения заявки через все узлы обслуживания. Двухфазная модель с 0-ой вместимостью – модель является одноканальной. Содержит 2 узла обслуживания функционирующих в тандеме. Вводится условие: недопустимость образования очередей возле узлов обслуживания. Для построения модели надо идентифицировать состояние системы в произвольный момент времени, когда каждый из узлов может быть занят или свободен. При этом считается, что первый узел заблокирован, если обслуживание здесь завершено, а второй узел не готов к приему заявки, т.к. он занят процедурой обслуживания. Т.к. образование очереди запрещено, то заявка, обслуженная первым узлом, не имеет право на ожидание в промежутке между первым и вторым узлом.

## Раздел 8.Практическое применение теории массового обслуживания.

### Тема 8.1.Проблемы моделирования СМО.

#### 8.1.1.Проблемы сложности и гибкости математических моделей обслуживания

Практическое применение ТМО предполагает: а) выбор подходящей математической модели, адекватно представляющей реальную систему с тем, чтобы определить операционные характеристики исследуемой системы; б) практическое использование полученных результатов. Кажется, модели массового обслуживания во многих реальных ситуациях, на первый взгляд, применить невозможно. Однако трудности можно одолеть одним из следующих способов: Способ 1: можно модифицировать структурно-функциональные характеристики обслуживающих систем так, чтобы чисто логическим путем достичь желательных операционных показателей этой системы и одновременно сделать рассматриваемую систему массового обслуживания поддающейся анализу одной из стандартных математических моделей; Способ 2: можно признать справедливыми некоторые упрощающие предположения относительно реальной обслуживающей системы, и, следовательно, возможно представить ее с помощью определенной математической модели без риска получить существенные ошибки в численных оценках операционных характеристик системы. Способ 2 более перспективный – он увеличивает

круг задач, решение которых может быть обеспечено путем использования уже разработанных моделей и методов.

### 8.1.2. Виды СМО по адекватности применения ТМО

#### 1. Степень сложности

Классические модели массового обслуживания строятся и используются в предположении, что как характеристики входящего потока, так и показатели, относящиеся к обслуживаемому прибору, предсказуемы и могут быть представлены количественно. Если исходить из этого положения, то основные системы, встречающиеся в реальной жизни, можно разбить на 3 категории: СМО, в которых в качестве клиентов и обслуживающих единиц выступают люди; полуавтоматические системы, в которых в качестве клиентов или обслуживающих единиц выступают люди. (Ремонтный цех – «клиент» техническое устройство; а ремонт – производит «механик»); автоматические.

### Тема 8.2. Прикладные задачи ТМО

#### 8.2.1. Подготовка исходных данных и проверка гипотез

Как мы отмечали выше, выбор метода для исследования функциональных характеристик системы определяется законами распределения моментов поступления клиентов и продолжительности обслуживания. Чтобы установить характер распределения, необходимо осуществить наблюдения за реально функционирующей системой и зарегистрировать ряды чисел, получаемых в ходе наблюдений. При этом возникают вопросы: когда осуществлять наблюдения? каким образом систематизировать данные?

#### 8.2.2. Проблемы определения оптимального уровня обслуживания

Модели со стоимостными характеристиками стремятся уравновесить два конфликтующих стоимостных показателя: 1) Затраты на обслуживание или прибыль, получаемая за счет предоставления услуг; 2) Потери прибыли, обусловленные задержками в предоставлении услуг (время ожидания клиента).

Оптимальный уровень обслуживания выбирается таким образом, чтобы значение суммы рассматриваемых показателей (при условии их сопоставимости по времени, т.е. должны быть отнесены к одной и той же единице времени) было минимальным.

#### 8.2.3. Модели со стоимостными характеристиками

Такие модели массового обслуживания направлены на определение такого уровня функционирования обслуживающих систем, при котором достигается «компромисс» между следующими двумя экономическими показателями: - прибылью, получаемой за счет предоставления услуг; - потерями прибыли, обусловленными задержками в предоставлении услуг.

#### 8.2.4. Моделирование предпочтительного уровня обслуживания

Жизнеспособность модели обслуживающей системы со стоимостными характеристиками зависит от того, насколько хорошо мы можем оценить параметры стоимости. В общем случае оценить эти параметры довольно сложно, особенно, если стоимость связана с ожиданием клиента. В моделях с предпочтительным уровнем обслуживания делается попытка обойти эту проблему, оперируя непосредственно функциональными показателями обслуживающей системы. Идея состоит в определении приемлемого интервала изменения для уровня обслуживания (параметры  $\mu$  или  $c$ ) путем нахождения разумных пределов для конкурирующих экономических показателей, которые характеризуют процесс обслуживания. Эти пределы представляют собой уровни предпочтительного обслуживания, которых стремиться достичь лицо, принимающее управленческое решение.

### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Электронные таблицы EXCEL как средства реализации имитационной модели	3	-
2	2.	Моделирование случайных чисел и событий с использованием встроенных функций EXCEL	3	Тренинг в малой группе (1 час)
3	2.	Построение имитационного алгоритма и его реализация в EXCEL	4	Тренинг в малой группе (1 час)
4	2.	Моделирование статистических распределений в EXCEL	4	Тренинг в малой группе (1 час.)
5	2.	Имитационное моделирование двухканальной системы обслуживания	4	Тренинг в малой группе (1 час)
6	2.	Имитационное моделирование процессов об-	4	Тренинг в малой

		служивания с ограниченным по времени ожиданием		группе (1 час)
7	2.	Имитационное моделирование процессов обслуживания с очередью	4	Тренинг в малой группе (1 час.)
8	2.	Имитационное моделирование процессов с групповым обслуживанием заявок	4	Тренинг в малой группе (1 час)
9	2.	Имитационное моделирование процессов массового обслуживания с групповым поступлением заявок	4	Тренинг в малой группе (1 час)
10	3.	Проверка статистических гипотез	2	-
11	3.	Построение модели обратной связи	4	-
12	3.	Составление плана эксперимента	4	Тренинг в малой группе (1 час)
13	5.	Функциональные возможности и файловая структура <b>ППП GPSS/WORLD</b>	4	Тренинг в малой группе (1 час)
14	5.	Интерактивная среда <b>ППП GPSS/WORLD</b>	6	Тренинг в малой группе (1 час)
15	5.	Основы имитации в среде <b>ППП GPSS/WORLD</b>	6	Тренинг в малой группе (1 час)
16	7.	Моделирование непроизводственных систем в <b>GPSS/WORLD</b>	5	Тренинг в малой группе (1 час)
17	7.	Моделирование производственных систем в <b>GPSS/WORLD</b>	5	Тренинг в малой группе (1 час)
<b>ИТОГО</b>			<b>70</b>	<b>14</b>

#### 4.4. Семинары / практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

#### 4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа

Цель: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области расчета операционных характеристик систем массового обслуживания.

Структура: введение, постановка задачи, построение формализованной схемы процесса, аналитический расчет характеристик СМО и интерпретация полученных результатов, заключение, список литературы, приложения.

Основная тематика: Аналитическая оценка характеристик СМО.

Рекомендуемый объем: 8 – 10 страниц.

Выдача задания и прием контрольной работы проводятся в соответствии с календарным учебным графиком.

Оценка	Критерии оценки контрольной работы
Зачтено	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>полностью</b> сформированы и оценка «зачтено» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует умение анализировать задачи массового обслуживания, правильно решать прикладные задачи ТМО с применением методов системного анализа и математического моделирования.
Не зачтено	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>не сформированы</b> и оценка «не зачтено» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует неумение анализировать задачи массового обслуживания и решать их с применением методов системного анализа и математического моделирования.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		$\Sigma$ <i>комп.</i>	$t_{ср}$ <i>час</i>	<i>Вид учебных за- нятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
		<i>2</i>	<i>23</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1.</b> Сущность и основные этапы математического моделирования	18	+	-	1	18	ЛК, ЛР, СР	зачет, экзамен, КР
<b>2.</b> Состав и принципы построения имитационной модели.	69	+	-	1	69	ЛК, ЛР, СР	зачет, экзамен, кр
<b>3.</b> Реализация имитационной модели на ЭВМ.	68	-	+	1	68	ЛК, ЛР, СР	зачет, экзамен, кр
<b>4.</b> Адекватность и точность имитационных моделей.	15	+	-	1	15	ЛК, СР	экзамен, кр
<b>5.</b> Инструментальные средства имитационного моделирования.	34	-	+	1	34	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
<b>6.</b> Основы теории массового обслуживания.	28	+	-	1	28	ЛК, СР	экзамен, кр
<b>7.</b> Системы массового обслуживания (СМО).	36	-	+	1	36	ЛК, ЛР, СР	экзамен, кр
<b>8.</b> Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО).	29	-	+	1	29	ЛК, СР, КР	экзамен, кр
<i>всего часов</i>	<b>297</b>	<b>130</b>	<b>167</b>	<b>2</b>	<b>148,5</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Оформление пояснительной записки учебной работы : стандарты Системы менеджмента качества ГОУ ВПО «БрГУ». СМК СТП 1.4-01-2005 / Т. Н. Радина, А. А. Сапожников. - Братск : БрГУ, 2005. – 14 с.

2. Салин, В.Н. Статистика [Electronic resource]: электронный учебник / В.Н.Салин, Э.Ю.Чурилова, Е.П. Шпаковская. – Москва : КНОРУС, 2008. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

3. Савиных, В.Н. Математическое моделирование производственного и финансового менеджмента : учебное пособие / В.Н. Савиных. – М.: Кнорус, 2013. – 192 с.- 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

4. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 7-е изд. - М. : Юрайт, 2012. - 343 с.- - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

5. Советов, Б. Я. Моделирование систем : Практикум : учебное пособие / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва. : Юрайт, 2012. - 295 с. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для бакалавров / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 7-е изд. - М. : Юрайт, 2013. - 343 с.	Лк, ЛР, СР, кр	15	1,0
2	Акопов, А.С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов. – Москва. – Юрайт, 2016. – 389 с.	Лк, СР, кр	8	0,5
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Иозайтис, В.С. Экономико-математическое моделирование производственных систем : учеб. пособие / В.С. Иозайтис, Ю.А. Львов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 191 с.	Лк, ЛР, СР, кр	10	0,6
4.	Есипов, Б. А. Методы исследования операций : учебное пособие / Б. А. Есипов. - СПб. : Лань, 2010. - 256 с.	Лк, ЛР, кр	31	1,0
5.	Опыт имитационного моделирования при анализе социально-экономических явлений : научное издание / Ю.Н. Павловский, Н.В.Белов, Ю.И. Бродский и др. – Москва : МЗ Пресс, 2005. – 137с.	Лк, СР,	5	0,3
6.	Кудрявцев, Е.М. GPSS W .Основы имитационного моделирования различных систем : учебное пособие / Е.М. Кудрявцев. – Москва : ДМК Пресс, 2004. – 320 с.	ЛР, СР, кр	5	0,3

7.	Макарова, Н. В. Статистика в Excel : учебное пособие для вузов / Н. В. Макарова, В. Я. Трофимец. - Москва : Финансы и статистика, 2006. - 368 с.	ЛР, СР	10	0,6
8.	Боярчук Н.Я. Модели математической экономики : методические указания и задания к лабораторным работам / Н.Я. Боярчук. – Братск : БрГУ, 2012. – 53 с.	Лк, СР	52	1,0
9.	Боярчук Н.Я. Имитационное моделирование систем массового обслуживания : методические указания по выполнению курсовой работы / Н.Я. Боярчук. – Братск : БрГУ, 2007. – 40 с.	ЛР, СР, кр	76	1,0
10.	Толстикова А.С. Имитационное моделирование в GPSS WORLD : методические указания к выполнению лабораторных работ / А.С. Толстикова, А.П. Шкуратова – Братск : БрГУ, 2012. – 51 с.	ЛР, СР, кр	75	1,0
11.	Теория систем массового обслуживания : учебное пособие / сост. А.В. Шапошников, В.В. Бережной, А.М. Лягин, А.А. Плетухина и др. - Ставрополь : СКФУ, 2017. - 134 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483842">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=483842</a>	Лк, СР	ЭР	1,0

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ

[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).

2. Электронная библиотека БрГУ

<http://ecat.brstu.ru/catalog> .

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»

<http://biblioclub.ru> .

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»

<http://e.lanbook.com> .

5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)

<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ

<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

9. Web-сайт журнала «Российский экономический журнал», <https://re-j.ru/>

10. Web-сайт журнала «Справочник экономиста», <http://www.profiz.ru/se>

11. Web-сайт журнала «Директор-Инфо», <http://www.director-info.ru>

12. Web-сайт журнала «Менеджмент в России и за рубежом», <http://dis.ru/manag>

13. Web-сайт журнала «Реальный бизнес», <http://www.real-business.ru>

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Вид учебных занятий	Организация деятельности обучающихся
Лекции	Написание конспекта лекций: кратко, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов с

	помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, лабораторных работах.
Лабораторные работы	Работа с конспектом лекций, обобщение, систематизация, углубление и конкретизация полученных теоретических знаний, выработка способности и готовности их использования на практике. Развитие интеллектуальных умений, подготовка ответов к контрольным вопросам, работа с основной и дополнительной литературой, необходимой для освоения дисциплины, выполнение заданий, освоение соответствующих математических алгоритмов, активное участие в интерактивной, активной, инновационной формах обучения, составление отчетов в электронном виде.
Самостоятельная работа обучающихся	<p><i>Подготовка к лабораторным работам.</i> Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в теме/разделе. Конспектирование прочитанных литературных источников. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием на рекомендуемых ресурсах информационно-телекоммуникационной сети «Интернет». Выполнение заданий преподавателя, необходимых для подготовки к участию в интерактивной, активной, инновационных формах обучения по изучаемой теме.</p> <p><i>Подготовка к зачету.</i> При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, использовать рекомендуемые ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».</p> <p><i>Подготовка к экзамену.</i> При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, использовать рекомендуемые ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».</p> <p><i>Выполнение контрольной работы.</i> Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими при выполнении заданий контрольной работы, обобщение, систематизация, углубление и конкретизация полученных теоретических знаний, выработка способности и готовности их использования на практике. подготовка ответов к контрольным вопросам.</p>

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ**

При выполнении всех лабораторных работ предусматривается:

Задание:

- 1.Познакомиться с основными алгоритмами функционирования предметной области;
- 2.Изучить алгоритмы выполнения заданий лабораторной работы.
- 3.Выполнить задания, предусмотренные лабораторной работой.

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить основные теоретические и прикладные вопросы по предметной области.
2. Рассмотреть совместно с преподавателем основные алгоритмы выполнения заданий.
- 3.Выполнить и устно защитить лабораторную работу.

Форма отчетности:

Структурными элементами Отчета являются:

- титульный лист;

- содержание;
- задание на лабораторную работу;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- приложения (при необходимости).

На титульном листе Отчета указывается:

- полное название факультета: экономики управления и кафедры: базовая кафедра менеджмента и информационных технологий;

- Ф.И.О., учебная группа обучающегося;

- Ф.И.О. преподавателя с указанием ученой степени, ученого звания.

В содержании указываются все разделы Отчета с указанием страниц.

Во введении необходимо сформулировать и описать цели и решаемые в лабораторной работе задачи.

В состав основной части входят следующие разделы:

- алгоритм выполнения задания;

- результаты выполненных расчетов и работы оттранслированных программ в виде распечаток электронных таблиц (с формулами расчетов), программ и отчетов соответствующего ППП.

- интерпретация полученных результатов.

В заключении излагаются основные результаты, оценивается успешность решения поставленных задач и степень достижения цели.

Отчет должен быть выполнен аккуратно, без исправлений. Объем отчета должен составлять 5 - 10 страниц.

### **Лабораторная работа №1. Электронные таблицы EXCEL как средства реализации имитационной модели.**

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил использования EXCEL как средства реализации имитационной модели, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

Задания для самостоятельной работы:

1. Привести примеры использования в имитационном моделировании основных функций Excel.

2. Построить в Excel диаграммы заявок и устройств обслуживания.

3. Провести в Excel эксперименты «что будет, если...» на примере экономических показателей.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Результаты использования встроенных функций представлены на следующих рисунках.

	В	С	Д	Е	Ф	Ф
1	Описание функции	Функция	Описание	Числа	Формула	1 Формула
2	Функция СЛЧИС() Равномерно	Слчис			0,676901672	2 =СЛЧИС()
3	распределенные на интервале (0;1)					3
4	случайные числа являются основой при					4
5	Функция СЛУЧМЕЖДУ(нижн_граница;	Случмежду	Нижн.гр	10	18	5 =СЛУЧМЕЖДУ(Е5;Е6)
6	верх_граница), возвращающая случайное		Верх.гр	25		6
7	число, заключенное между заданными					7 =ЕСЛИ(Е7>Е8;1;0)
8	границами.	Если	Лог.выр	2	0	8
9	Функция ЕСЛИ (логическое_выражение;			5		9 =СУММ(Е9:Е10)
10	Значение_истина; значение_ложь), которая	Сумм		9	17	10
11	возвращает значение истина, если оно			8		11 =СУММЕСЛИ(Е11:Е13;">0")
12	истинно, в противном случае ложь.					12
13	Функция СУММ(блок) вычисляет сумму	Суммесли	Блок цифр	1	2	13
14	значений			-2		14 =СЧЁТ(Е14:Е16)
15	Функция СУММЕСЛИ(блок; «условие»)			1		15
16	вычисляет сумму значений расположенных в	Счет	Значение 1	50	3	16
17	блоке, сумма положительных чисел		Значение 2	50		17
18	Функция СЧЁТ(блок) подсчитывает число		Значение 3	50		18
19	значений в блоке удовлетворяющих					19
20	условиям					20

	В	С	Д	Е	Ф	Ф
17	Функция СЧЁТЕСЛИ(блок; условие) вычисляет	Счетесли	Значение 1	1	2	17 =СЧЁТЕСЛИ(Е17:Е19; ">0")
18	количество ячеек в блоке, рассчитывает		Значение 2	-1		18
19	только положительные значения		Значение 3	1		19
20	Функция МАКС(блок) находит максимальное	Макс	Массив цифр	20	50	20 =МАКС(Е20:Е22)
21	значение массива			30		21
22	Функция МИН(блок) определяет	Мин		10	10	22 =МИН(Е23:Е25)
23	минимальное			20		23
24	значение блока.			30		24
25	Функция НАИБОЛЬШИЙ(блок;k) вычисляет k-	Наибольший	Ученик	1	5	25 =НАИБОЛЬШИЙ(Е27:Е28;Е26)
26	е максимальное значение		оценка	5		26
27	Функция НАИМЕНЬШИЙ(блок;k) находит k-е	Наименьший	Ученик	1	2	27 =НАИМЕНЬШИЙ(Е30:Е31;Е29)
28	минимальное значение блока		оценка	5		28
29	Функция LN(X) вычисляет натуральный	LN(X)		100	4,605170186	29 =LN(Е32)
30	логарифм числа X					30
31	Функция СРЗНАЧ(блок) рассчитывает среднее	Срзнач		10	15	31 =СРЗНАЧ(Е35:Е36)
32	арифметическое данных			20		32
33						33
34						34
35						35
36						36
37						37

	В	С	Д	Е	Ф	Ф
38	Функция СТАНДОТКЛОНП(блок) вычисляет	Стандотклонп		10	7,071067812	38 =СТАНДОТКЛОН(Е38:Е39)
39	среднее квадратическое отклонение			20		39
40						40
41	Функция НОРМАЛИЗАЦИЯ возвращает	Нормализация	Нормализовать	10,2	0,166666667	41 =НОРМАЛИЗАЦИЯ(Е41;Е42;Е43)
42	нормализованное значение НЕ величины x		Ср. ориф	10		42
43			ст.откл	1,2		43
44						44
45	Функция НОРМСТРАСП( NE ) возвращает	Нормстрасп		0,167	0,566183833	45 =НОРМСТРАСП(Е45)
46	вероятность того, что случайная					46
47	нормализованная величина НЕ будет меньше					47
48	или равна x .					48
49	Функция ЦЕЛОЕ(число) округляет число до	Целое		9,4	9	49 =ЦЕЛОЕ(Е49)
50	ближайшего меньшего целого					50
51	Функция ОСТАТ(число; делитель) возвращает	Остат		10	1	51 =ОСТАТ(Е51;Е52)
52	остаток от деления числа на			3		52
53						53
54	Функция ПС(ставка; число_период; выплата) -	ПС	Ставка	7	-14,29р.	54 =ПС(Е54;Е55;Е56)
55	возвращает приведенную к начальному		Период	10		55
56	моменту стоимость инвестиции		Выплата	100		56
57	ЕТЕКСТ(значение), которая проверяет,	Етекст		100	ЛОЖЬ	57 =ЕТЕКСТ(Е57)
58	является ли значение текстом и возвращает			Море	ИСТИНА	58 =ЕТЕКСТ(Е58)
59	"ИСТИНА" или "ЛОЖЬ"					59

Рисунок 1 - Основные используемые функции Excel

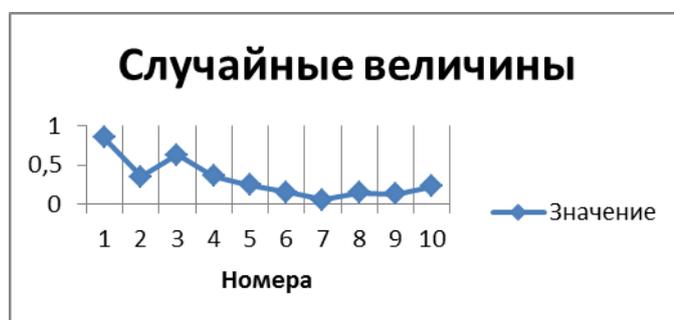
## Построение диаграмм в Excel.

Процесс создания диаграммы в Excel включает следующие шаги:

1. Выделяем таблицу с произвольно написанными данными

	В	С
2	Номер числа	Значение
3	1	0,85
4	2	0,35
5	3	0,63
6	4	0,36
7	5	0,25
8	6	0,16
9	7	0,06
10	8	0,15
11	9	0,13
12	10	0,23

1. Создаем диаграмму путем выбора в меню «Вставка» подменю «Диаграмма». Выбираем «График с маркерами». Далее в меню «Работа с диаграммами» подменю «Макет» мы добавляем подпись по оси X и название диаграммы.



Созданный график мы можем редактировать. Добавим на график отображение сетки и поменяем цвет фона диаграммы.



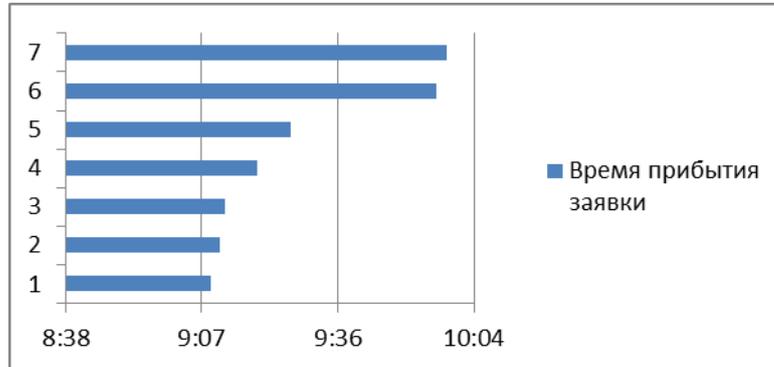
### Диаграмма заявок

Горизонтальная ось представляет собой время, а вертикальная номера заявок. Двухцветная полоса описывает «опыт» каждой заявки: левая часть – это период ожидания обслуживания, а правая часть время обслуживания.

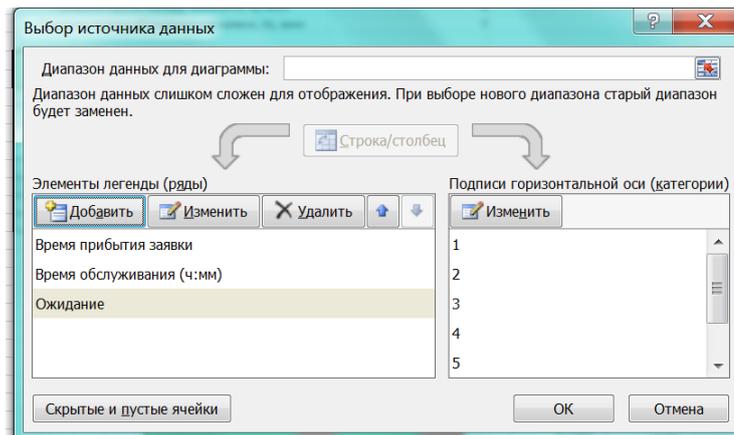
В электронной таблице, где мы указали время поступления заявки, время обработки заявки прочие данные выделяем сначала «Время прибытия заявки» и создаем диаграмму типа «Линейчатая диаграмма с накоплением».

	M	N	O	P	Q	R	S	T	V
4		Время между заявками, мин	Время прибытия заявки (ч:мм)	обслуживания, мин	обслуживания (ч:мм)	Обслуживание			
5	Заявка					Начало (ч:мм)	Конец(ч:мм)	Ожидание	
6			9:00						
7	1	9	9:09	1	0:01	9:09	9:10	0:00	
8	2	2	9:11	8	0:08	9:11	9:19	0:00	
9	3	1	9:12	4	0:04	9:19	9:23	0:07	
10	4	7	9:19	2	0:02	9:23	9:25	0:04	
11	5	7	9:26	1	0:01	9:26	9:27	0:00	
12	6	31	9:57	1	0:01	9:57	9:58	0:00	
13	7	2	9:59	17	0:17	9:59	10:16	0:00	

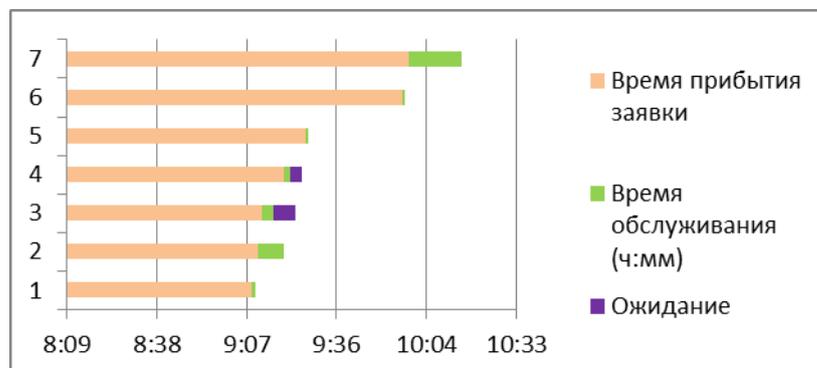
Рисунок 2 – Данные для построения диаграммы



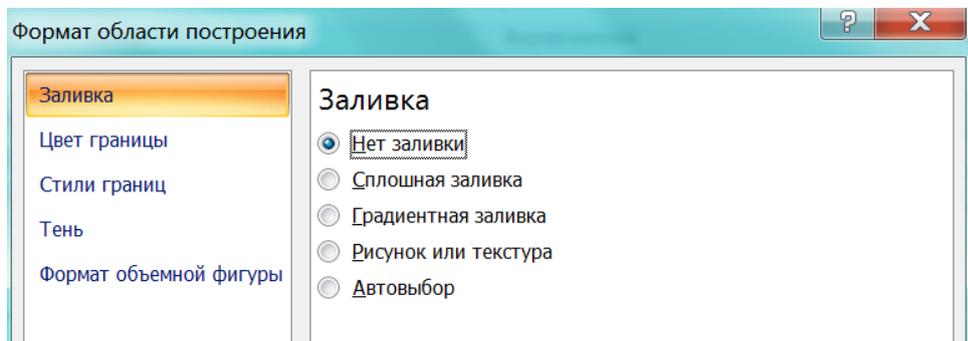
Далее на созданной диаграмме нажимаем правой кнопкой мыши раздел «Выбрать данные»



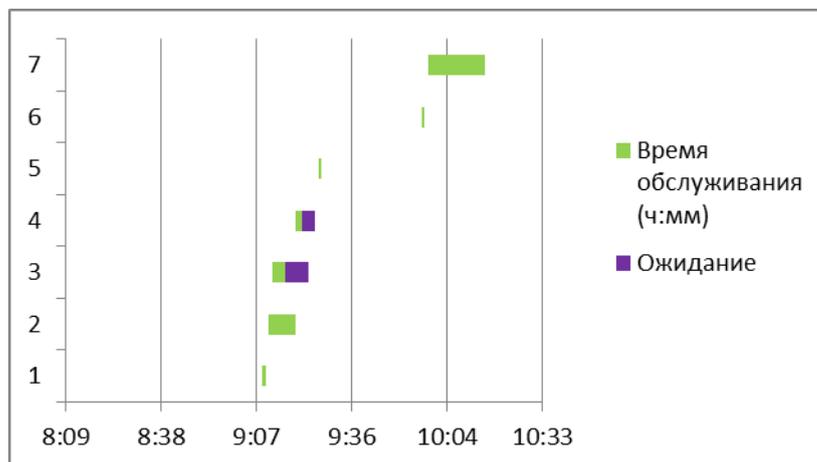
В этом окне мы добавляем «Время обслуживания заявки» и «Ожидание».



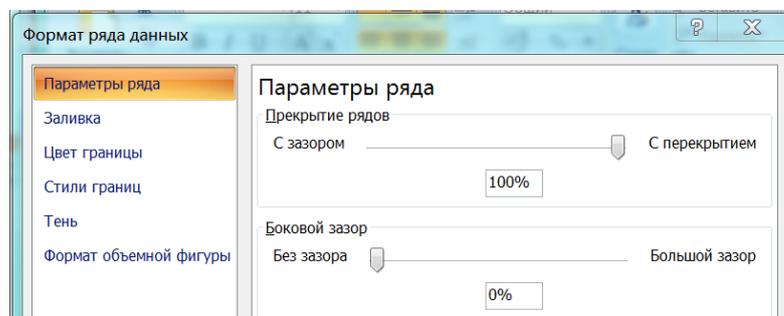
Сделаем ряд «Поступление заявки» без области и границ. Путем нажатия правой кнопки мыши на ряд мы открываем окно «Формат ряда данных», заходим в раздел «Заливка» и указываем «Нет заливки».



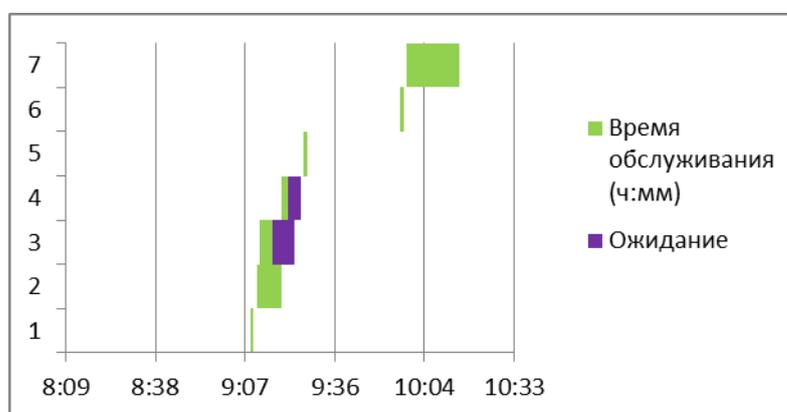
В результате ряд станет невидимым.



Далее форматируем один из видимых рядов, так что бы он имел нулевой зазор. Путем нажатия правой кнопки мыши на ряд мы открываем окно «Формат ряда данных», заходим в раздел «Параметры ряда» указываем боковой зазор ноль.



В результате выполнения всех шагов мы получим следующий график.



## Диаграмма устройства обслуживания

На данной диаграмме расположена горизонтальная ось, представляющая собой время, а вертикальная – индекс канала обслуживания.

Создание диаграммы включают следующие шаги:

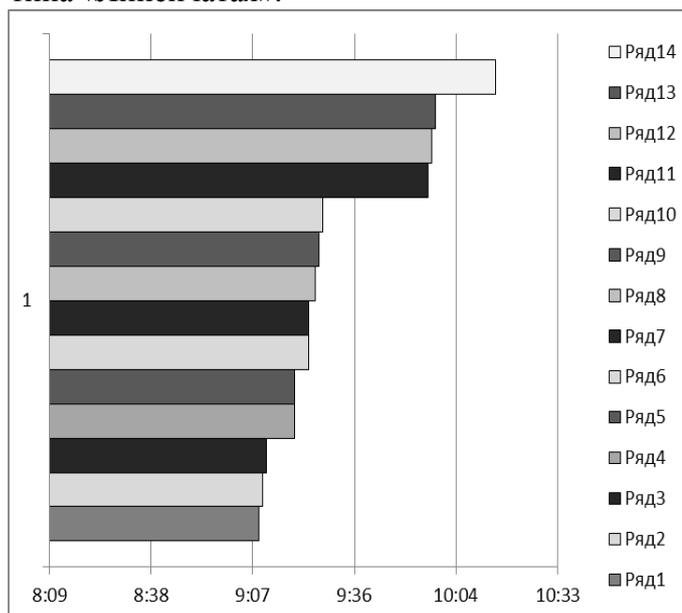
1.Сортировка времени обслуживания на начало и на конец происходит за счет использования функции НАИМЕНЬШИЙ(блок;k), которая определяет минимальное значение в выбранном массив.

	R	S	T
4	Обслуживание		
5	Начало (ч:мм)		Конец(ч:мм)
6			
7	9:09		9:10
8	9:11		9:19
9	9:19		9:23
10	9:23		9:25
11	9:26		9:27
12	9:57		9:58
13	9:59		10:16

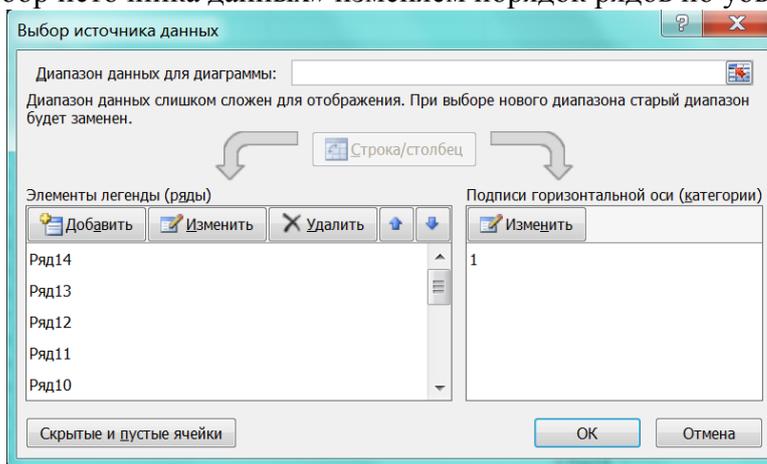
Отсортируем данные по возрастанию от 1 до 14.

	R		R
16	9:09	16	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;1)
17	9:10	17	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;2)
18	9:11	18	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;3)
19	9:19	19	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;4)
20	9:19	20	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;5)
21	9:23	21	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;6)
22	9:23	22	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;7)
23	9:25	23	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;8)
24	9:26	24	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;9)
25	9:27	25	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;10)
26	9:57	26	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;11)
27	9:58	27	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;12)
28	9:59	28	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;13)
29	10:16	29	=НАИМЕНЬШИЙ(\$R\$7:\$U\$13;14)

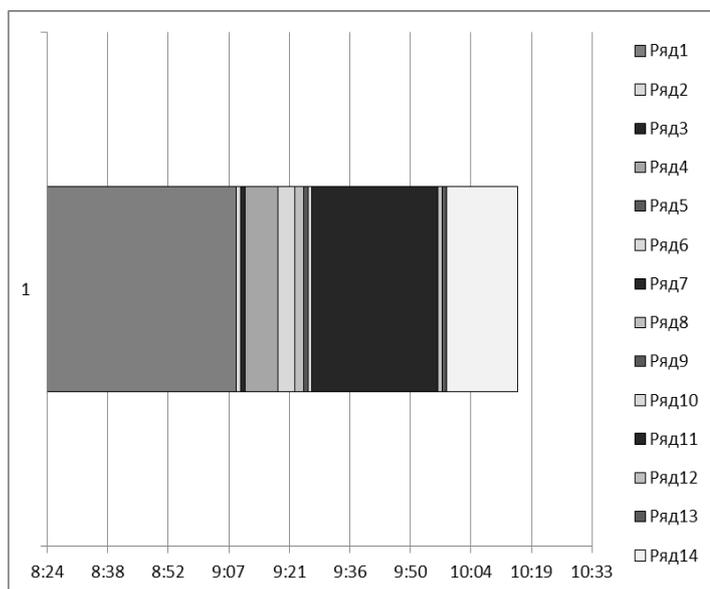
2.Выбираем столбцы, каждый из которых соответствует каналу обслуживания, и строим на их основе диаграмму типа «Линейчатая».



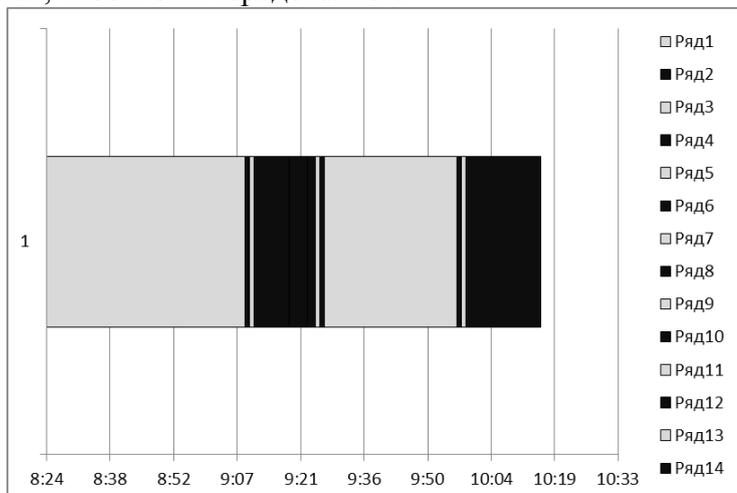
3. Изменяем порядок рядов. Путем нажатия правой кнопки мыши на диаграмму мы открываем окно «Выбор источника данных» изменяем порядок рядов по убыванию.



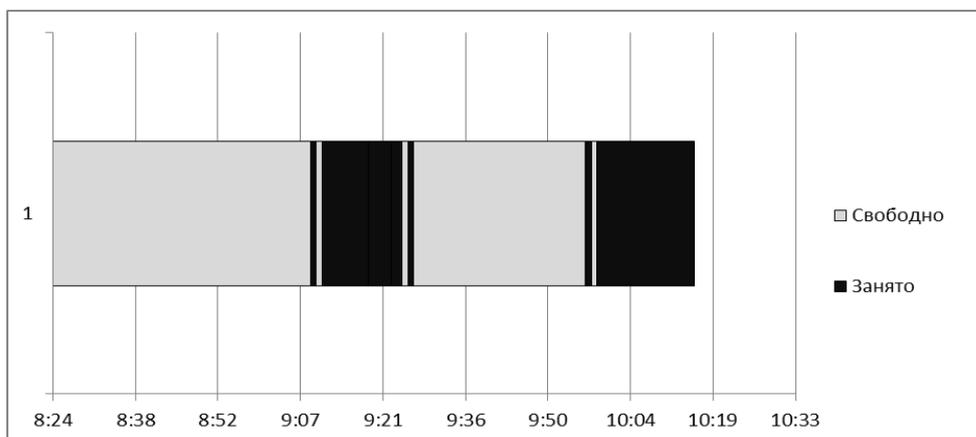
4. Форматируем один из рядов: устанавливаем для него значение перекрытия равное 100.



5. Выбираем два цвета для характеристики занятого и вободного состояния канала. Устанавливаем цвета так, чтобы они чередовались.



6. Удаляем из легенды все ряды, кроме первого и второго. Для каждой линии устанавливаем цвет границы сплошной. Таким образом будет получен график.



### Проведение экспериментов «что будет, если...» в Excel

Проведение экспериментов «что будет, если...» в Excel реализуется с помощью «Таблица данных» (меню «Данные» -> «Анализ “что-если” -> «Таблица данных»). С ее помощью можно исследовать влияние различных параметров на результат моделирования. Рассмотрим этапы создания данной таблицы на примере однопериодной модели управления запасами (необходимо исследовать влияние объема заказанной партии на средние издержки).

Для вычисления среднего значения издержек нам необходимо создать таблицу с данными о реализации, объеме продаж, прибыли. «Прибыль» рассчитывается по формуле

$$\Pi = O_{\text{п}} * (C_{\text{п}} - C_{\text{е}}),$$

где  $C_{\text{п}}$  – цена продукции,  $O_{\text{п}}$  - объем произведенной продукции,  $C_{\text{е}}$  - себестоимость единицы продукции.

Создаем таблицу с исходными данными, в которой будет строка «Цена товара» и «Себестоимость товара».

	A	B	C	D
2	Исходные данные			
3	Цена товара (руб)			150
4	Себестоимость товара (руб)			20

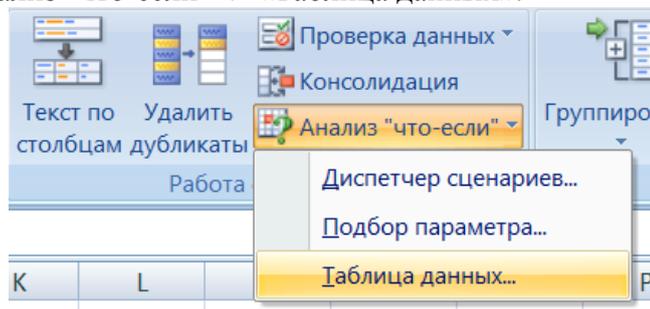
После рассчитываем прибыль при разном объеме продаж и среднее значение прибыли. Результаты расчета таблицы с данными представлены на следующем рисунке.

	A	B	C
6	Моделирование		
7	Реализация	Объем	Прибыль
8	1	15	1950
9	2	20	2600
10	3	40	5200
11	4	25	3250
12	5	10	1300
13	6	5	650
14	7	16	2080
15	8	65	8450
16	9	12	1560
17	10	18	2340
18	11	56	7280
19	12	27	3510
20	13	34	4420
21	14	31	4030
22	15	22	2860
23	Среднее значение		3432

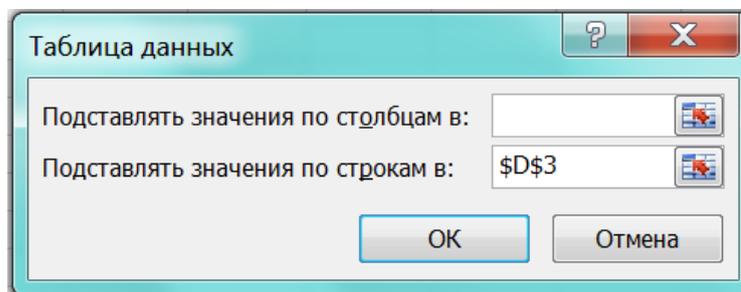
Необходимо создать таблицу для расчета сценариев, в которой в первом столбце начиная со второй строки необходимо перечислять подставляемые значения при имитации. В данном случае мы будем вводить различные значения объема заказанной партии ( пусть они равны 29, 39, 49, 59, 69, 79, 89). В ячейке выше справа записывается среднее значение издержек.

	Е	Ф
8	Цена	Среднее значение прибыли
9		3432
10	29	
11	39	
12	49	
13	59	
14	69	
15	79	
16	89	

Выделяем диапазон значений нашей таблицы (в примере – E9:H16), и выбираем в меню «Данные» -> «Анализ “что-если”» -> «Таблица данных».



В поле «Подставлять значения по строкам» записать адрес ячейки, в которой хранится значение цены продукции при моделировании (\$D\$3).



Полученный результат экспериментов представлен на следующем рисунке.

	Е	Ф		Е	Ф
8	Цена	Среднее значение прибыли	8	Цена	Среднее значение прибыли
9		3432	9		=SC\$23
10	29	237,6	10	29	=ТАБЛИЦА(;D3)
11	39	501,6	11	=E10+10	=ТАБЛИЦА(;D3)
12	49	765,6	12	=E11+10	=ТАБЛИЦА(;D3)
13	59	1029,6	13	=E12+10	=ТАБЛИЦА(;D3)
14	69	1293,6	14	=E13+10	=ТАБЛИЦА(;D3)
15	79	1557,6	15	=E14+10	=ТАБЛИЦА(;D3)
16	89	1821,6	16	=E15+10	=ТАБЛИЦА(;D3)

Теперь проведем похожий эксперимент по себестоимости. Создаем таблицу в первом столбце начиная со второй строки необходимо перечислять подставляемые значения при имитации. В данном случае мы будем вводить различные значения объема заказанной партии ( пусть они равны 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80). В ячейке выше справа

записывается среднее значение издержек. Выделяем диапазон значений нашей таблицы в поле «Подставлять значения по строкам» записать адрес ячейки, в которой хранится значение себестоимости продукции при моделировании (\$D\$4). Результат моделирования представлен на следующем рисунке.

	E	F		E	F
18	Себестоимость	Среднее значение прибыли	18	Себестоимость	Среднее значение прибыли
19		3432	19		=С\$23
20	20	3432	20	20	=ТАБЛИЦА(;D4)
21	30	3168	21	=E20+10	=ТАБЛИЦА(;D4)
22	40	2904	22	=E21+10	=ТАБЛИЦА(;D4)
23	50	2640	23	=E22+10	=ТАБЛИЦА(;D4)
24	60	2376	24	=E23+10	=ТАБЛИЦА(;D4)
25	70	2112	25	=E24+10	=ТАБЛИЦА(;D4)
26	80	1848	26	=E25+10	=ТАБЛИЦА(;D4)

#### Рекомендуемые источники

- 1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
- 2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Каким образом связаны функции Excel? Приведите примеры. Какие из них могут принимать отрицательные значения и сто это означает?
- 2.Какие типы графиков можно использовать при имитационном моделировании в Excel?
- 3.Что визуализируют диаграммы устройств и заявок Excel?
4. С какой целью строятся сценарии Excel?

#### **Лабораторная работа № 2. Моделирование случайных чисел и событий с использованием встроенных функций EXCEL.** Тренинг в малой группе(1 час)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил моделирование случайных чисел и событий с использованием встроенных функций EXCEL, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

**Задание 1.** Игрок А выигрывает у игрока В 10\$, если монета падает решкой вверх и проигрывает 10\$, если монета падает гербом вверх. 1.Используя последовательность из 10 случайных чисел, провести 10 экспериментов и определить результаты игры. 2. Составить функцию распределения  $f(x)$  и определить исходы игры, как  $f(x)=R$ , где  $R$  это генерируемое случайное число.

3. Определить исходы игры путем составления электронной таблицы с использованием функции «ЕСЛИ».

4.Построить многоугольник распределения.

**Задание 2.1.**Проводится эксперимент с подбрасыванием кости. Определить суммарное количество очков после 10 экспериментов.

2. Построить многоугольник распределения.

**Задание 3.** В систему поступают заявки с интенсивностью 3 клиента в час. Время обслуживания может составить 0,2 часа или 0,6 с  $P=0,5$ . Начальное моделирование клиентов нет. Предполагается один узел обслуживания. Определить долю времени простоя системы в

процентах и среднее время ожидания в расчете на одного клиента (в часах). Продолжительность моделирования 8 часовой рабочий день.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом теоретических и практических рекомендаций, представленных в п. 3.3. (раздел 4.2.)

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 3, 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1.Что представляют собой плотность и функция распределения? Приведите примеры. Каким образом они взаимосвязаны? Как эта взаимосвязь используется при генерации случайных чисел?

2.Идентифицируйте условия совершения случайных событий.

3. Какие существуют механизмы генерации последовательностей случайных чисел?

#### **Лабораторная работа № 3. Построение имитационного алгоритма и его реализация в EXCEL.** Тренинг в малой группе(1 час)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил построения имитационного алгоритма и его реализации в EXCEL, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. На основе задания 3 предыдущей работы построить и графически представить имитационный алгоритм, диаграмму процесса обслуживания.

2. Описать структуру алгоритма и его основные модули.

3. Определить параметры модели выхода.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Предмет исследования: склад инструментов. Цель исследования: определение среднего времени простоя в результате ожидания обслуживания одной заявки в зависимости от количества кладовщиков.

$t$  – продолжительность обслуживания заявки;

$\tau$  - интервалы времени между двумя последовательными обращениями на склад.

$t$  и  $\tau$  - случайные величины, причем на основе сбора и обработки данных построены эмпирические законы распределения  $\varphi(t)$  и  $\rho(\tau)$ .

$k$  – номер заявки, поступающей на обслуживание  $(1, \dots, k)$ ;

$i$  – номер кладовщика  $(1, \dots, n)$ ;

$t_i^k$  – моменты освобождения  $i$ -го кладовщика от обслуживания очередной заявки;

$l$  – время простоя рабочего в ожидании обслуживания заявки;

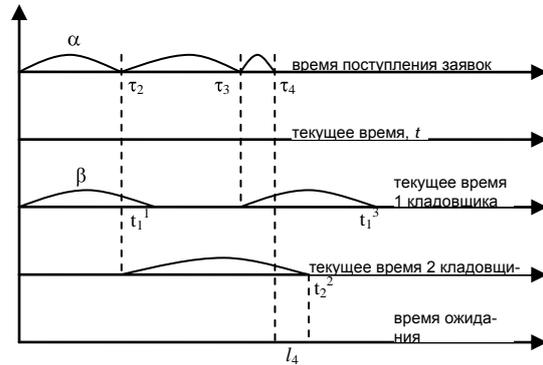
$L$  – суммарное время простоя всех рабочих;

$t_{\text{ож}}$  – среднее время ожидания обслуживания одной заявки;  $t_{\text{ож}} = \frac{L}{K}$ .

Предположение: работают 2 кладовщика, для каждого  $\rho(\tau)$  одинаково.  
 Перед построением алгоритма строим функциональные диаграммы процесса обслуживания.

$\alpha$  - время между двумя заявками;  $\beta$  - время обслуживания заявки.

$\alpha$  и  $\beta$  генерируются датчиками случайных чисел по эмпирическим законам распределения  $\rho(\tau)$ ,  $\varphi(t)$  соответственно.



$$t = \tau_i = 0 \text{ T1}$$

Эту заявку обслуживает 1-й кладовщик, который освобождается в момент времени  $t_1^1 = \tau_1 + \beta$ .

Через промежуток времени  $\alpha$  поступает заявка T<sub>2</sub>. Ее обслуживает второй кладовщик, который освобождается в момент времени  $t_2^2 = \tau_2 + \beta$ .

Заявка T<sub>3</sub> в момент времени  $\tau_3 = \tau_2 + \alpha$ .

Чтобы определить, какой кладовщик будет обслуживать, необходимо сравнить  $t_1^1$  и  $t_2^2$ . В данном случае – 1-й кладовщик. Необходимо определить наличие простоя рабочего.

Сравнивает  $\tau_3$  и  $t_1^1$ :  $\tau_3 > t_1^1$ , т.е. простоя нет.

$$t_1^3 = \tau_3 + \beta$$

Заявка T<sub>4</sub>:  $\tau_4 = \tau_3 + \alpha$ .

Определим время освобождения кладовщиков, выбирая  $\min t_i$ . В данном случае это второй кладовщик.

Определяем наличие простоя. Сравниваем  $t_2^2$  и  $\tau_4$ .

Считаем простой:  $l_4 = t_2^2 - \tau_4$ .

### Процесс моделирования обслуживания одной заявки:

1) определение времени прихода  $k$ -й заявки:  $\tau_k = \tau_{k-1} + \alpha$ .

2) определение раннего времени освобождения кладовщика и запоминание его номера:  $\min t_i \text{ I} = i$

3) определение времени начала обслуживания путем проверки условия  $t_i > \tau_k$

Если условие выполняется, то:

1) рассчитывается время простоя как  $l = t_i - \tau_k$  и фиксируется момент начала обслуживания  $t_I$

5) если условие не выполняется, то простоя нет, и обслуживание начнется в момент времени  $\tau_k$ .

6) определение момента окончания обслуживания заявки:

$$t_I = \begin{cases} t_I + \beta - \text{есть простой} \\ \tau_k + \beta - \text{нет простоя} \end{cases}$$

В итоге строится имитационный алгоритм процесса обслуживания рабочих.

### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

### Основная литература

п.1 раздела 7.

### Дополнительная литература

пп. 3, 4, 7 раздела 7.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что представляют собой формализованная схема процесса?
2. Охарактеризуйте назначение модели входа и способы ее реализации в алгоритме.
3. Охарактеризуйте назначение модели выхода и способы ее реализации в алгоритме.
4. Охарактеризуйте назначение модели обратной связи и способы ее реализации в алгоритме.

### Лабораторная работа № 4. Моделирование статистических распределений в EXCEL. Тренинг в малой группе(1 час)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил моделирования статистических распределений в EXCEL, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Осуществить генерацию случайных чисел с помощью надстройки «Генерация случайных чисел» модуля «Анализ данных» в соответствии с вариантом задания. Описать данное распределение. Представить его графически.

Варианты заданий:

1. Равномерное распределение
2. Нормальное распределение.
3. Распределение Бернулли.
4. Биномиальное распределение.
5. Распределение Пуассона.
6. Модельное распределение.

2. Привести примеры реализации основных статистических функций в соответствии с вариантом задания

Варианты заданий:

1. Функции непрерывного нормального распределения.
2. Функции непрерывного гамма-распределения.
3. Функции непрерывного бета-распределения.
4. Функции непрерывного логарифмического нормального распределения.
5. Функции непрерывного экспоненциального распределения.
6. Функции непрерывного распределения Вейбулла.
7. Функции непрерывного распределения Пирсона.
8. Функции непрерывного распределения Фишера.
9. Функции непрерывного распределения Стьюдента.
10. Функции дискретного биномиального распределения.
11. Функции дискретного гипергеометрического распределения.
12. Функции дискретного распределения. Пуассона.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Например, подрежим работы «Модельное распределение» служит для генерации *детерминированной последовательности* чисел в заданном интервале  $[a, a_n]$

Числа такой последовательности образуют арифметическую прогрессию, каждый член которой определяется по формуле

$$h_i = h_1 + d(i - 1),$$

где  $h_1$  - первый член прогрессии (задается в поле *От,...*);

$d$  - разность прогрессии (задается в поле Шаг);

$i$  — номер взятого члена.

В поле До... задается число, которое не может превышать последний член генерируемой прогрессии.

В подрежиме «Модельное распределение» помимо генерации чисел, образующих арифметическую прогрессию, существует возможность создания:

- нескольких одинаковых последовательностей, являющихся арифметическими прогрессиями, которые располагаются в смежных столбцах (поле *Повторяя последовательность*);
- последовательности, в которой каждое число, являющееся членом арифметической прогрессии, повторяется несколько раз (поле *Повторяя каждое число*).

Проведем генерацию случайных чисел для модельного распределения, входные параметры для которого изображены на рисунок.

	G	H
2	Количество переменных	5
3	Шаг	0,3
4	От	1
5	До	6

Теперь вызываем окно надстройки «Анализ данных», задаем необходимые параметры и выполняем генерацию. Результат представлен на следующих рисунках.

Генерация случайных чисел

Число переменных: 5

Число случайных чисел: 1

Распределение: Модельное

Параметры

От 1 до 6 с шагом 0,2

повторяя каждое число 1 раз

повторяя последовательность 1 раз

Случайное рассеивание:

Параметры вывода

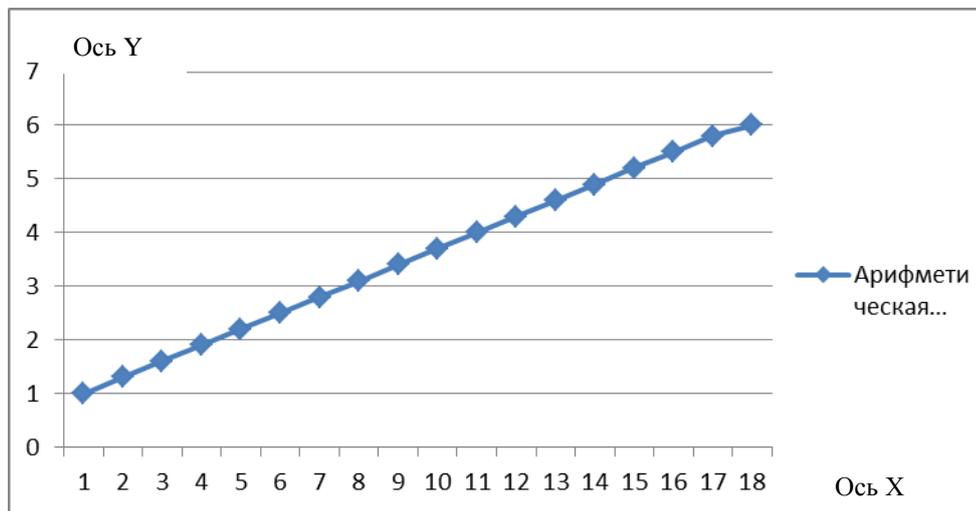
Выходной интервал: \$A\$2:\$E\$15

Новый рабочий лист:

Новая рабочая книга

	A	B	C	D	E
1	Генерация детерминированной последовательности чисел				
2	1	1	1	1	1
3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
5	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
6	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
9	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
10	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
11	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
12	4	4	4	4	4
13	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
14	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
15	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
16	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
17	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
18	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
19	6	6	6	6	6

Теперь построим график на основе полученных данных.



Ось Y - число, которое не может превышать последний член генерируемой прогрессии.  
Ось X – количество генерируемых членов прогрессии.

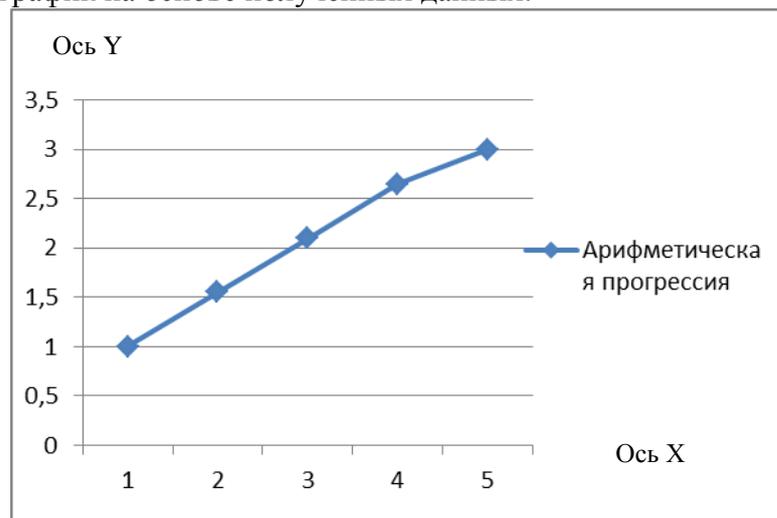
Теперь можем провести другую генерацию, поменяв немного входные параметры

	A	B
37	Количество переменных	3
38	Шаг	0,55
39	От	1
40	До	3

Результат генерации

	A	B	C
29	Генерация детерминированной последовательности чисел		
30	1	1	1
31	1,55	1,55	1,55
32	2,1	2,1	2,1
33	2,65	2,65	2,65
34	3	3	3

Теперь построим график на основе полученных данных.



Ось Y - число, которое не может превышать последний член генерируемой прогрессии.  
Ось X – количество генерируемых членов прогрессии.

## Задание 2.

Привести примеры реализации основных статистических функций, связанных с гипергеометрическим распределением.

Функция ГИПЕРГЕОМЕТ

Синтаксис:

ГИПЕРГЕОМЕТ (число успехов в выборке; размер выборки; число успехов в совокупности; размер совокупности)

Результат: Рассчитывает гипергеометрическое распределение.

**Пример.** Из партии, содержащей 30 специальных высоконадежных электронных ламп, случайным образом выбираются и подвергаются испытаниям на долговечность шесть ламп. Если в процессе испытаний ни одна лампа не выйдет из строя или выйдет из строя только одна лампа, то партия принимается. В противном случае вся партия бракуется. Какова вероятность того, что партия будет принята, если из 30 ламп четыре являются дефектными?

Партия будет принята, если взятая выборка не содержит дефектных ламп или содержит одну дефектную лампу. Соответствующая вероятность определяется выражением  $(0;30;6;4) + (1;30;6;4)$ , которое рассчитаем с помощью функции ГИПЕРГЕОМЕТ:

$$= \text{ГИПЕРГЕОМЕТ}(0;6;4;30) + \text{ГИПЕРГЕОМЕТ}(1;6;4;30)$$

Результат расчета по функции ГИПЕРГЕОМЕТ представлен на рисунке.

	А	В
1		
2	Количество электронных ламп	30
3		
4	Количество испытываемых ламп	6
5	Партия без дефектных ламп	0
6	Партия с дефектной лампой	1
7	Кол-во дефектных ламп в партии	4
8		
9	Вероятность принятия партии	0,830870279

	А	В
1		
2	Количество электронных ламп	30
3		
4	Количество испытываемых ламп	6
5	Партия без дефектных ламп	0
6	Партия с дефектной лампой	1
7	Кол-во дефектных ламп в партии	4
8		
9	Вероятность принятия партии	=ГИПЕРГЕОМЕТ(В5;В3;В7;В1)+ГИПЕРГЕОМЕТ(В6;В3;В7;В1)

### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

### Основная литература

п.1 раздела 7.

### Дополнительная литература

пп. 3, 7 раздела 7.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Идентифицировать плотность вероятности и функцию соответствующего распределения.
2. Охарактеризовать их основные параметры.
3. С какими другими распределениями они связаны? При каких условиях возможно соответствующая аппроксимация?

### **Лабораторная работа № 5. Имитационное моделирование двухканальной системы обслуживания.** Тренинг в малой группе(1 час)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил имитационного моделирования в EXCEL двухканальной системы обслуживания, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Построить и описать формализованную схему моделируемого процесса.
2. Выполнить задание в соответствии с вариантом.

#### **Вариант 1.**

Магазин, располагающий двумя кассами, занимается продажей продовольственных товаров. Время между приходом двух покупателей – случайная величина с показательным законом распределения (среднее значение -  $t_z$ ), а время обслуживания равномерно распределено на интервале  $[a; b]$ . Сумма покупки является случайной величиной с нормальным законом распределения (среднее значение -  $MD$ ; среднее квадратическое отклонение -  $SD$ ). Пусть исходные значения равны величинам:  $MD = 400$  руб.;  $SD = 100$  руб.;  $t_z = 10$  мин.;  $a = 3$  мин.;  $b = 7$  мин.;  $tn = 9$  ч. Выполните моделирование поступления семи заявок (покупателей).

Определите время прихода седьмого клиента. Какой размер выручки получит магазин:

- а) после того, как было обслужено семь покупателей;
- б) к моменту времени 10:00 ч.?

### Вариант 2.

Предположите, что рассматриваемый поток клиентов – это потенциальные покупатели, которые с вероятностью  $P$  могут совершить покупку ( $P = 0,6$ ).

### Вариант 3.

Пусть время обслуживания – дискретная случайная величина со следующим законом распределения

Значение, мин.	1	2	3	4
Вероятность	0,2	0,2	0,4	0,2

Выполните имитацию, учитывая данное условие.

### Вариант 4

Проведите 10 экспериментов и рассчитайте величины:

- среднее время ожидания;
- средний размер выручки.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

В том случае, если обслуживание заявок может происходить в нескольких узлах, то говорят, что данная система является многоканальной. Предположим, что вновь поступившая заявка поступает в тот канал, который раньше других освободился (а при одновременном освобождении заявка поступит в первый узел). Для каждого канала выполняется расчет времени начала и окончания обслуживания. Решение о том, в каком канале будет происходить обслуживание, принимается на основе данных о времени освобождения каждого из них. Время начала обслуживания заявки равно максимальному значению из следующих величин: время освобождения найденного канала и время прибытия заявки.

### Рекомендуемые источники

- 1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
- 2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

### Основная литература

п.1 раздела 7.

### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Охарактеризуйте структуру и функциональную логику двухканальной системы обслуживания.
- 2.Какими основными параметрами характеризуется ее функционирование?
3. Какие функции EXCEL использованы при выполнении работы?
4. Какие статистические распределения использованы при выполнении работы?

**Лабораторная работа № 6. Имитационное моделирование процессов обслуживания с ограниченным по времени ожиданием.** Тренинг в малой группе(1 час) Тренинг в малой группе(1 час)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил имитационного моделирования в EXCEL процессов обслуживания с ограни-

ченным по времени ожиданием, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

Задания для самостоятельной работы:

1. Построить и описать формализованную схему моделируемого процесса.

2. Выполнить задание в соответствии с вариантом.

**Вариант 1.**

Менеджер фирмы принимает заказы от клиентов на выполнение различных работ. Заказы поступают посредством телефонной связи. Время между двумя звонками является случайной величиной с показательным законом распределения (среднее значение -  $t_z$ ), время обслуживания (принятия заказа) – случайная величина с нормальным законом распределения (среднее значение -  $t_o$ , среднее квадратическое отклонение -  $sto$ ). В том случае, если звонок поступил в то время, когда менеджер занят приемом другого заказа, то он получает отказ в обслуживании. Стоимость заказа клиента равномерно распределена на интервале  $[a; b]$ .

Выполните моделирование данной системы при следующих исходных данных:  $t_z = 15$  мин.;  $t_o = 15$  мин.;  $sto = 2$  мин.;  $a = 5000$  руб.;  $b = 15000$  руб.;  $t_n = 9$  ч. Рассмотрите поступление шести звонков и определите следующие величины: число отказов в обслуживании; общая сумма заказов; время поступления последнего звонка.

**Вариант 2**

Проведите 10 экспериментов и рассчитайте величины: среднее число отказов в обслуживании; среднюю сумму заказов; среднее время завершения моделирования (время окончания обслуживания последней заявки).

**Вариант 3.**

Выполните моделирование, считая, что вероятность совершения заказа клиентом равна  $P$  ( $P = 0,7$ ).

**Вариант 4.**

Предположите, что фирма наняла еще одного менеджера и вновь поступивший звонок направляется к свободному в данный момент работнику.

**Вариант 5.**

Пусть новое оборудование фирмы позволяет поступившим звонкам ожидать освобождения менеджера в течение времени  $ТО_{Max}$ . Выполните моделирование при  $ТО_{Max} = 2$  мин. (число каналов обслуживания равно единице), рассчитайте среднее число отказов (за 10 реализаций) и сравните данное значение с полученным во втором задании.

**Вариант 6.**

Рассмотрите ситуацию, когда максимальное время ожидания каждой заявки определяется также поведением клиентов и его значение – случайная величина с дискретным законом распределения:

Значение	0	1	2
Вероятность	0,25	0,5	0,25

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Ожидание наступления обслуживания может быть ограничено двумя условиями: длиной очереди и временем. Во втором случае заявка покидает систему необслуженной, если время ее ожидания превысило некоторое значение  $ТО_{Max}$ , в противном случае – поступает в канал обслуживания. Если время ожидания заявок равно нулю, то система называется СМО без ожидания. В качестве примера можно привести поступление телефонных звонков в справочную службу: если оператор занят разговором с другим клиентом, то поступившие в этот период звонки получают отказ в обслуживании.

Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Охарактеризуйте структуру и функциональную логику системы обслуживания с ограниченным по времени ожиданием.
- 2.Какими основными параметрами характеризуется ее функционирование?
3. Какие функции EXCEL использованы при выполнении работы?
4. Какие статистические распределения использованы при выполнении работы?

#### **Лабораторная работа № 7. Имитационное моделирование процессов обслуживания с очередью.** Тренинг в малой группе(1 час)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил имитационного моделирования в EXCEL процессов обслуживания с очередью, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Построить и описать формализованную схему моделируемого процесса.
2. Выполнить задание в соответствии с вариантом.

#### **Вариант 1.**

Парикмахерская занимается обслуживанием клиентов. Время между приходом двух клиентов является случайной величиной с показательным законом распределения (среднее значение -  $t_z$ ), а время обслуживания распределено по нормальному закону. В том случае, если в момент прихода нового клиента мастер занят, то клиент встает в очередь. При этом имеются места ожидания, число которых равно  $LO_{Max}$ . Если же все места заняты, то клиент уходит и не ждет обслуживания. Выручка от одного клиента, а также его время обслуживания зависит от типа прически. В таблице приведены характеристики этих данных.

Таблица – Характеристики причесок

Тип прически	1	2	3	4
Стоимость, руб.	100	120	140	150
Среднее время обслуживания, мин.	15	20	20	25
СКО времени обслуживания, мин.	3	3	5	6

Кроме того, имеются следующие статистические данные о том, сколько людей выбрало тот или иной тип прически (всего 100 человек).

Тип прически	1	2	3	4
Число клиентов	20	30	35	15

Выполните моделирование поступления 9 заявок, используя следующие исходные данные:  $t_z = 20$  мин.;  $LO_{Max} = 2$ ;  $t_n = 9$  ч.

#### **Вариант 2.**

Рассчитайте следующие значения: максимальная длина очереди; общее время пребывания заявок в очереди; сумма выручки.

### Вариант 3.

Проведите 10 экспериментов и рассчитайте величины: среднее число отказов в обслуживании; среднюю выручку; среднее время завершения моделирования (время окончания обслуживания последней заявки).

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

В этом случае заявка покидает систему необслуженной, если на момент ее поступления длина очереди превышает число  $LOMax$ .

#### Рекомендуемые источники

1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Охарактеризуйте структуру и функциональную логику системы обслуживания с очередью.
- 2.Какими основными параметрами характеризуется ее функционирование?
3. Какие функции EXCEL использованы при выполнении работы?
4. Какие статистические распределения использованы при выполнении работы?

### **Лабораторная работа № 8. Имитационное моделирование процессов с групповым обслуживанием заявок.** Тренинг в малой группе(1 час)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил имитационного моделирования в EXCEL процессов с групповым обслуживанием заявок, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Построить и описать формализованную схему моделируемого процесса.
2. Выполнить задание в соответствии с вариантом.

#### **Вариант 1.**

Вы парке развлечений расположен аттракцион, стоимость билета на который составляет  $B$  руб. Время между приходом двух желающих попасть на него является случайной величиной с показательным законом распределения (среднее значение равно  $t_z$ ). Обслуживание начинается после того, как пришло  $NGrup$  человек, а его продолжительность равна  $To$ . Расходы, связанные с использованием аттракциона в течение времени обслуживания, равны  $R$  руб. Выполните моделирование данной системы массового обслуживания при поступлении 10 заявок и исходных данных:  $B = 50$  руб.;  $t_z = 5$  мин.;  $To = 10$  мин.;  $NGrup = 3$ ;  $R = 70$  руб.;  $tn = 9$  ч. Рассчитайте общую выручку и прибыль, время ожидания, время прихода последнего клиента.

#### **Вариант 2**

Используя различные значения  $NGrup$  ( $NGrup = 1; 2; 3; 4$ ), определите, как изменится прибыль и время ожидания.

#### **Вариант 3.**

Проведите 10 экспериментов и найдите: среднее значение выручки; среднее значение общего времени ожидания; вероятность того, что общее время ожидания будет больше или равно 10 мин.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

При групповом обслуживании поступающие заявки направляются в очередь, где они ожидают того момента, когда размер группы станет равным  $NGrup$ . После этого все заявки одновременно обслуживаются и покидают систему

#### Рекомендуемые источники

- 1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
- 2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Охарактеризуйте структуру и функциональную логику системы с групповым обслуживанием заявок.
- 2.Какими основными параметрами характеризуется ее функционирование?
3. Какие функции EXCEL использованы при выполнении работы?
4. Какие статистические распределения использованы при выполнении работы?

### **Лабораторная работа № 9. Имитационное моделирование процессов массового обслуживания с групповым поступлением заявок.** Тренинг в малой группе(1 час)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил имитационного моделирования в EXCEL процессов с групповым поступлением заявок, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Построить и описать формализованную схему моделируемого процесса.
2. Выполнить задание в соответствии с вариантом.

#### **Вариант 1.**

Такси занимается перевозкой людей. Заявки от клиентов поступают через случайные промежутки времени, распределенные по показательному закону (среднее значение равно  $tz$ ). Время доставки в одном направлении является случайной величиной, равномерно распределенной на интервале  $[a; b]$ . Число клиентов с различными направлениями, осуществивших один вызов, может быть 1, 2 или 3. В этом случае доставка ведется по различным направлениям. Стоимость доставки зависит от числа направлений, по которым нужно доставить пассажиров. В таблице приведены значения вероятности появления группы определенного размера и стоимость доставки. Выполните моделирование работы такси (пусть поступило 8 заявок), используя следующие исходные данные:  $tz = 30$  мин.;  $a = 15$  мин.;  $b = 30$  мин.;  $m = 9$  ч. Рассчитайте полученную таксистом выручку.

Таблица – Характеристики размера группы

Число человек в группе	Вероятность	Стоимость доставки, руб.
1	0,5	100
2	0,4	150
3	0,1	200

**Вариант 2.** Рассмотрите случай, когда оплата проезда производится пассажирами следующим образом: стоимость вызова равна 40 руб.; цена 1 мин. проезда составляет 40 руб.

### Вариант 3.

Проведите 10 экспериментов и рассчитайте: среднюю выручку; среднее время ожидания; вероятность того, что выручка будет менее 850 руб.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

В данной системе прибытие заявок осуществляется группами, а обслуживается каждая заявка отдельно. Моделирование данной системы аналогично моделированию простой одно-канальной системы массового обслуживания (моделирование поступления группы аналогично имитации прибытия заявок) за исключением расчета времени обслуживания. Оно будет определяться исходя из количества заявок в группе, например, равно сумме случайных величин времени обслуживания одной заявки (число слагаемых равно размеру группы).

#### Рекомендуемые источники

1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Охарактеризуйте структуру и функциональную логику обслуживания с групповым поступлением заявок.
- 2.Какими основными параметрами характеризуется ее функционирование?
3. Какие функции EXCEL использованы при выполнении работы?
4. Какие статистические распределения использованы при выполнении работы?

#### **Лабораторная работа № 10. Проверка статистических гипотез.**

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и проверки статистических гипотез в модели выхода имитационной модели, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

- 1.Проверить с помощью критерия  $\chi^2$ -Пирсона статистическую гипотезу о том что входной поток заявок в СМО подчиняется распределению Пуассона.
2. Проверить с помощью критерия  $\chi^2$ -Пирсона статистическую гипотезу о том что выходной поток заявок в СМО подчиняется распределению Пуассона.

Исходные данные выдает преподаватель.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

После сбора исходных данных необходимо систематизировать и обобщить данные с тем, чтобы получить возможность построить в результате интересующие исследования распределения вероятностей. Этого можно достичь путем представления гистограмм (полигонов). За-

тем выбирается «теоретическое» распределение вероятностей, которые хорошо подходят для описания полученных данных. Далее, для проверки степени пригодности выбранного распределения для описания реального процесса применяется одна из стандартных статистических тестовых процедур.

Проверка заключается в сопоставлении наблюдаемой (эмпирической) частоты  $f_n$  с ожидаемым (теоретическим) значением частоты  $f'_n$ , получаемой при допущении, что имеет место пуассоновское распределение вероятностей.

Теоретические частоты  $f'_n$  для каждой группы рассчитываются в соответствии с распределением Пуассона как  $f'_{n_i} = N \frac{\lambda^{n_i}}{n_i!} e^{-\lambda}$ ,

где  $N$  – общее количество наблюдений (объем выборки);  
 $\lambda$  – параметр распределения,  $\lambda = 0, 1, 2, \dots; \lambda > 0$ .

Вычисления интенсивности входного потока  $\lambda$  и выходного потока  $\mu$  осуществляется

следующим образом:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^k n_i f_{n_i}}{\sum_{i=1}^k f_{n_i}}$$

где  $k$  – количество интервалов (вариантов значений  $n$ ).

#### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 4, 7, 9 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Укажите основное назначение модели выхода. Всегда ли она присутствует в имитационной модели?
2. Перечислите основные этапы проверки статистических гипотез.
3. Что собой представляет и для чего используется статистический критерий?
4. Каким образом влияет уровень доверительной вероятности на результаты проверки статистических гипотез?
5. В каких случаях применяется двусторонняя проверка гипотез? Приведите примеры.

#### **Лабораторная работа № 11. Построение модели обратной связи.**

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил проверки построения модели обратной связи, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

Задания для самостоятельной работы:

1. Используя результаты одной из лабораторных работ (№№ 7,8 или 9) построить модель обратной связи, идентифицирующей регрессионную зависимость стоимостных показателей от двух временных. Описать все полученные результаты.
2. Рассчитать коэффициенты эластичности.
3. Построить поверхность отклика (трехмерное отображение).

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Например, в качестве результативного показателя рассматриваются экономические потери, вызванные простоями системы и клиентов, определяемые как

$$Y=C_1t_1+C_2t_2,$$

где  $t_1$  – время простоя клиента/заявки;

$t_2$  – время простоя системы (в часах);

$C_1, C_2$  – стоимость ожидания (руб./час).

Для оценки параметров модели используется функция «ЛИНЕЙН» MS Excel. Результатом ее применения является множественное линейное уравнение регрессии вида  $y = -17,60x_1 + 24,72x_2 - 1,74$ .

Результаты расчетов по функции «ЛИНЕЙН» можно интерпретировать следующим образом:

- 1) 24,72; -17,60 – значения коэффициентов регрессии соответственно факторов  $x_2, x_1$ , отражающие степень абсолютного изолированного влияния факторов на изменение результативного показателя (с учетом элиминирования воздействия системы факторов);
- 2) -1,74 – постоянная уравнения регрессии;
- 3) 8,17; 11,29 – стандартные значения ошибок для коэффициентов регрессии, позволяющее оценить истинные значения соответствующих показателей;
- 4) 0,77 – коэффициент детерминированности (его близость к единичному значению свидетельствует о незначительных расхождениях между фактическими и оценочными значениями  $Y$ );
- 5) 7,92 – стандартное значение ошибки для постоянной;
- 6) 11,89 – используется для определения того, является ли табличная взаимосвязь между зависимой и независимой переменными случайной или нет, в данном случае можно предположить закономерность такой взаимосвязи;
- 7) 7 – число степеней свободы;
- 8) 2355,832 – регрессионная сумма квадратов;
- 9) 693,398 – остаточная сумма квадратов.

Так, величина текущего времени поступления равна -17,60, то связь между суммарными экономическими потерями, связанными с простоем системы и клиента и текущим временем поступлением обратная. В среднем суммарные экономические потери уменьшатся на 17,60 руб./час при увеличении времени поступления.

Величина времени окончания обслуживания -12,74, то связь между суммарными экономическими потерями, связанными с простоем системы и клиента и временем окончания обслуживания обратная. В среднем суммарные экономические потери уменьшатся на 12,74 руб./час при увеличении времени окончания обслуживания.

Постоянная уравнения регрессии равна 1,74, следовательно при отсутствии влияния факторных признаков ( $x=0$ ), суммарных экономических потерях равна данной величине.

Соответствующие стандартные значения ошибок для коэффициентов регрессии равны, соответственно, поэтому можно утверждать, что коэффициенты регрессии в достаточной мере значимы для данной модели.

- коэффициент детерминированности имеет средний уровень, различия между фактическим и оценочным значениями результирующего показателя (суммарные экономические затраты) ощутимы, но находятся в пределах нормы.

- используется для определения того, является ли табличная взаимосвязь между зависимой и независимой переменными случайной или нет, в данном случае можно предположить законо-

мерность такой взаимосвязи.

Для оценки степени относительного влияния изменения факторов на динамику результирующего показателя рассчитываем соответствующие коэффициенты эластичности по формуле

$$\varepsilon_i = b_j \frac{\bar{x}_j}{\bar{y}},$$

где  $b_j$  – коэффициент уравнения множественной регрессии;

$\bar{x}_j$  – среднее значение фактора;

$\bar{y}$  – среднее значение результирующего показателя.

На рисунке 1 отображены результаты расчетов коэффициентов эластичности. На рисунке 2 показаны формулы этих расчетов.

	А	В	С
	Текущее время поступления	Время окончания обл.	у
33			
34	0,177577388	0,777577388	17,75773876
35	0,862561346	1,062561346	8,498395884
36	1,27905912	1,47905912	21,64977732
37	1,344571831	2,07905912	6,724364414
38	1,40824156	2,67905912	33,54087799
39	1,725072048	2,87905912	47,69935356
40	1,838077873	3,47905912	52,04906234
41	2,357053243	3,67905912	56,10029383
42	2,699880864	3,87905912	48,95891277
43	3,109496286	4,07905912	38,47814166
44	1,680159156	2,607261169	33,14569185
45			
46			
47	ε1	-0,89222402	
48	ε2	1,944684965	

Рисунок 1 – Расчет коэффициентов эластичности.

	А	В	С
	Текущее время поступления	Время окончания обл.	у
33			
34	0,177577387577668	0,777577387577668	17,7577387577668
35	0,862561346414724	1,06256134641472	8,49839588370558
36	1,27905911962397	1,47905911962397	21,6497773209248
37	1,34457183134172	2,07905911962397	6,7243644141127
38	1,40824155973889	2,67905911962397	33,540877994254
39	1,72507204848274	2,87905911962397	47,6993535570616
40	1,83807787281239	3,47905911962397	52,0490623405792
41	2,35705324305513	3,67905911962397	56,1002938284423
42	2,69988086415622	3,87905911962397	48,9589127733877
43	3,10949628635687	4,07905911962397	38,4781416633551
44	=СРЗНАЧ(А34:А43)	=СРЗНАЧ(В34:В43)	=СРЗНАЧ(С34:С43)
45			
46			
47	ε1	=G32*(A44/C44)	
48	ε2	=F32*(B44/C44)	

Рисунок 2 – Формулы расчетов коэффициентов эластичности.

Таким образом, суммарные экономические потери, связанные с простым клиентов и системы уменьшатся на 0,89% при увеличении текущего время поступления на один процент; увеличатся на 1,94% при увеличении времени окончания обслуживания на один процент.

#### Рекомендуемые источники

1. Федеральным закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об

информации, информационных технологиях и о защите информации»

2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 3, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

Основное назначение модели обратной связи. Всегда ли она присутствует в имитационном алгоритме?

Что представляет собой «отклик»? Каким образом он идентифицируется?

Каким образом проверяется качество регрессионной модели?

Каким образом оценивается точность оценки отдельных параметров регрессионной модели?

**Лабораторная работа № 12. Составление плана эксперимента.** Тренинг в малой группе(1 час)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области способов и правил планирования эксперимента, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Определить объем полного и дробного факторного эксперимента; заполнить матрицу двухфакторного эксперимента, проверить план на ортогональность, симметричность и нормативность.

2. Определить центр новой подобласти проведения эксперимента, учитывая масштабный коэффициент  $K=0,001$

В качестве исходных использовать данные предыдущей лабораторной работы.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций - раздел 3.6.

#### Рекомендуемые источники

1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп. 3, 7 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1.Составные части плана эксперимента.

2.Что представляет собой и каким образом определяется основной уровень фактора?

3.Что представляет собой и каким образом определяется интервал варьирования фактора?

4.В соответствии с какими правилами определяется объем полного и дробного факторного экспериментов?

5.Каким образом перейти от натуральных шкал к кодированным?

## **Лабораторная работа № 13. Функциональные возможности и файловая структура ППП GPSS/World.** (Тренинг в малых группах, 1 час.)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области функциональных возможностей и файловой структуры ППП GPSS/World, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

### **Задания для самостоятельной работы:**

1. Ознакомиться с основными типами файлов интерактивной среды GPSS/W.
2. В отчете по лабораторной работе представить содержание текстовых файлов, файлов отчетов и программ.

### **Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе**

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

**Язык имитационного моделирования GPSS (General Purpose Simulating System)** – продукт компании Minuteman Software. Язык предназначен для исследования систем, процесс функционирования которых представляет собой множество дискретных состояний и правил перехода из одного состояния в другое.

В качестве концептуальных моделей рассматриваются системы массового обслуживания (СМО), основными элементами которых являются:

- средства обслуживания, или **обслуживающие аппараты (ОА)**, разновидностью которых являются накопители (**памяти**), которые отображают средства хранения заявок;
- обслуживаемые заявки, или **транзакты**.

Связи между ОА реализуют узлы, т.е. **правила**, по которым заявки направляются от одного ОА к другому. Состояние системы характеризуется состоянием ОА, транзактов, состоянием очередей к ОА. Состояние ОА характеризуется бинарной переменной «свободен / занят», состояние транзакта - переменной «обслуживается / ожидает», состояние **очереди** - количеством находящихся в ней транзактов, накопители - ёмкостью памяти, т.е. максимально возможным количеством заявок.

Модель GPSS состоит из сети *блоков*, представляющих необходимые действие или задержки *транзактов*, которые последовательно проходят через блоки. Например, блок GENERATE вводит в модель новые транзакты, воспроизводя *рекуррентный* поток заявок с требуемым распределением интервалов между смежными заявками. Транзакты могут представлять собой клиентов, покупателей, ремонтируемые телевизоры, телефонные звонки, электронные сигналы и т.п.

При построении имитационной модели (ИМ) СМО выделяют следующие группы параметров:

- внешние, представлены параметрами входных потоков;
- выходные - характеризуют качество функционирования (например, производительность системы как среднее число заявок, обслуженных в единицу времени, среднее время загрузки и т.д.);
- внутренние – это параметры законов распределения времени обслуживания заявок.

**Цель имитации** – исследование СМО при различных типах входных потоков при изменении параметров ОА и при различных дисциплинах очереди. Для создания ИМ на языке GPSS она представляется в виде схемы, на которой отображаются основные элементы СМО, а именно ОА, накопители, узлы и источники формирования заявок. Соответствующая программа состоит из операторов или блоков, характеризующих процесс обслуживания заявок. Программа графически представляется в виде блок-диаграммы.

### **Рекомендуемые источники**

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»

2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-

технической политике».

## Основная литература

п.1 раздела 7.

## Дополнительная литература

пп.6, 9, 10 раздела 7.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Типы файлов GPSS/World.
2. Способы запуска GPSS/World.
3. Предметная область моделирования GPSS/World.
4. Особенности и свойства GPSS/World, как языка имитационного моделирования.

**Лабораторная работа № 14. Интерактивная среда ППП GPSS/World.** (Тренинг в малых группах, 1 час.)

Цель работы: развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области структуры и алгоритмов функционирования интерактивной среды ППП GPSS/World, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

### Задания для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с основными элементами интерактивной среды GPSS/W.
2. В отчете по лабораторной работе представить в описательном и графическом виде содержание (состав и структуру) соответствующих элементов. Варианты заданий приведены в таблице 1.

Таблица 1

Номер варианта	Элемент интерфейса
1	Меню File
2	Меню Edit
3	Меню COMMAND
4	Меню Window
5	Меню Search
6	Меню View
7	Меню Help
7	Панель инструментов
8	Окно исходной модели
9	Процедуры ввода и редактирования текста
10	Настройка установок

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Взаимодействие пользователя с системой GPSS World осуществляется с помощью оконного интерфейса в режиме активного диалога. Для этого в системе предусмотрены диалоговые окна, которые позволяют отображать информацию о состоянии отдельных объектов на экране дисплея. Эта информация может быть как статической, так и динамической.

При работе с GPSS World пользователю доступны двадцать различных окон для наблюдения и взаимодействия с моделью в процессе имитации. Окна, отображающие визуальное состояние имитации, могут быть сохранены и распечатаны. Некоторые окна делают как бы мгновенный снимок состояния различных объектов имитации в некоторый момент модель-

ного времени. Изображения в окнах изменяются динамически в интерактивном режиме взаимодействия с моделью. Следует отметить, что открытые динамические окна существенно замедляют скорость прогона модели.

#### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп.6, 9, 10 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Каким образом организуется создание модели?
2. Какие окна диалога использует GPSS/World?
3. Какие графики использует GPSS/World и каким образом организовать их идентификацию в модели?
4. Для чего используются опции в блоках GPSS/World?

**Лабораторная работа № 15. Основы имитации в среде GPSS/World.** (Тренинг в малых группах, 1 час.)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области структуры и алгоритмов создания имитационных моделей в ППП GPSS/World, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

Описать основные этапы моделирования в GPSS/W на основе выбранного объекта исследования.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Основной группой операторов являются операторы, описывающие состояние и поведение транзактов. Транзакты перемещаются в системных времени и пространстве, переходя от одного блока модели к другому и воздействуя на них. Транзакты возникают и уничтожаются, могут расщепляться и сливаться. Входя в блок, транзакт вызывает определяемую типом блока подпрограмму, которая обрабатывает соответствующее событие. Далее транзакт в общем случае пытается войти в следующий блок.

Эффективное использование системы предусматривает выполнение ряда этапов:

1. Постановка задачи.
2. Выявление основных особенностей.
3. Создание имитационной модели процесса.
4. Представление имитационной модели в системе GPSSW.
5. Моделирование системы.

#### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-

технической политике».

## Основная литература

п.1 раздела 7.

## Дополнительная литература

пп.6, 9, 10 раздела 7.

### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте основные операторы, организующие цикл существования транзактов.
2. Чем определяется поведение транзакта в модели?
3. Охарактеризуйте особенности моделируемой системы.
4. Каким образом организуется трансляция модели?
5. Как можно отладить программу?
6. Каким образом можно запустить программу на выполнение?
7. Как регулируется продолжительность прогона модели?

### **Лабораторная работа № 16. Моделирование непроизводственных систем в GPSS/World.** (Тренинг в малых группах, 1 час.)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области имитационного моделирования непроизводственных систем в ППП GPSS/World, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. По данным примера построить блок-диаграмму и имитационную модель (с комментариями).

2. Графически представить результаты моделирования. 3. Интерпретировать полученные результаты.

4. Исследовать зависимость коэффициентов загрузки элементов системы от изменения параметров интервалов времени входных потоков и обслуживания покупателей.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

Допустим, нам надо промоделировать работу небольшого магазина, который имеет один кассовый аппарат и одного продавца. Известны следующие параметры функционирования магазина:

- поток покупателей (требований), приходящих в магазин за покупками, равномерный;
  - интервал времени прибытия покупателей колеблется в пределах от 8,7 до 10,3 мин. включительно, или  $9,5 \pm 0,8$  мин.;
  - время пребывания покупателей у кассового аппарата составляет  $2,3 \pm 0,7$  мин. После этого покупатели подходят к продавцу для получения товара;
  - время, потраченное на обслуживание покупателей продавцом, составляет  $10 \pm 1,4$  мин.
- Требуется определить параметры функционирования магазина:
- коэффициент загрузки кассира;
  - коэффициент загрузки продавца;
  - максимальное, среднее и текущее число покупателей в каждой очереди;
  - среднее время обслуживания в каждом канале обслуживания;
  - среднее время нахождения покупателя в каждой очереди и др.

#### *Выявление основных особенностей*

Для моделирования работы магазина необходимо сформировать входной поток покупателей (требований) и временной интервал моделирования работы магазина. Но перед этим

необходимо выбрать единицу измерения времени. Для моделирования работы магазина можно взять в качестве единицы измерения минуту.

*Создание имитационной модели процесса*

Создание имитационной модели начнем с построения заголовка модели, который может быть представлен, например в таком виде:

```
; GPSSW File           MAGAZIN.GPS
*****
*           Моделирование работы магазина           *
*****
```

Моделирование потока покупателей будем выполнять с помощью оператора **GENERATE** (Генерировать). В нашем примере он будет выглядеть так:

```
t_prod           QTABLE           Ocher_prod, 0,2,32
                GENERATE           9.5,0.8
```

В поле операнда A указывается средний интервал времени между прибытием в магазин двух идущих один за другим покупателей (требований, транзактов). В нашем примере он составляет 9,5 мин.

В поле операнда B дано отклонение времени прихода покупателей от среднего. В нашем примере это отклонение составляет 0,8 мин.

Покупатель, вошедший в магазин, сначала встает в очередь к кассиру, если она есть. Это можно промоделировать оператором **QUEUE** (Очередь), который только в совокупности с соответствующим оператором **DEPART** (Выйти) собирает статистическую информацию о работе моделируемой очереди.

В нашем примере оператор **QUEUE** будет выглядеть так.

```
QUEUE           Ocher_kassa
```

В поле операнда A дается символьное или числовое имя очереди. Таких очередей в сложных системах может быть очень много. В нашей задаче дадим очереди имя Ocher\_kassa (Очередь в кассу). Желательно, чтобы присваиваемое имя отражало суть описываемого элемента системы.

Следуя логике, покупатель может выйти из очереди только тогда, когда освободится кассир (канал обслуживания). Для этого вводится оператор **SEIZE**, который определяет занятость канала обслуживания, и при его освобождении очередное требование выходит из очереди и идет в канал на обслуживание. Это может выглядеть так:

```
SEIZE           Kassir
```

В поле операнда A дается символьное или числовое имя канала обслуживания. Таких каналов обслуживания в системе может быть очень много. В нашей задаче каналу дано имя Kassir (Кассир). Здесь также имя должно отражать суть описываемого элемента системы.

Выход покупателя из очереди в кассу фиксируется оператором **DEPART** с соответствующим названием очереди. В нашем примере это будет выглядеть так:

```
DEPART         Ocher_kassa
```

Далее должно быть промоделировано время пребывания покупателя, непосредственно обслуживаемого кассиром. Это время в нашем примере составляет  $2,3 \pm 0,7$  мин. Для моделирования этого процесса используется оператор **ADVANCE** (Задержать), который в нашей задаче будет выглядеть так:

```
ADVANCE        2.3, 0.7
```

После обслуживания кассиром покупатель отправляется к продавцу за получением оплачиваемого товара. Однако перед этим в системе должно быть послано сообщение об освобождении канала обслуживания. Это делается с помощью оператора **RELEASE**, который в нашей задаче записывается так:

```
RELEASE      Kassir
```

Следует особо подчеркнуть, что парные операторы **QUEUE** и **DEPART** для каждой очереди должны иметь одно и то же, но свое уникальное имя. Это же относится и к операторам **SEIZE** и **RELEASE**.

После обслуживания в кассе покупатель направляется к продавцу – следующему каналу обслуживания. Процесс моделирования этой цепи аналогичен только что описанному. И в нашем примере он может быть представлен, например, в таком виде:

```
QUEUE      Ocher_prod
SEIZE      Prodavec
DEPART     Ocher_prod
ADVANCE    10, 1.4
RELEASE    Prodavec
```

После обслуживания продавцом (каналом обслуживания) покупатель (требование) покидает систему. Это действие может быть представлено оператором **TERMINATE** (Завершить):

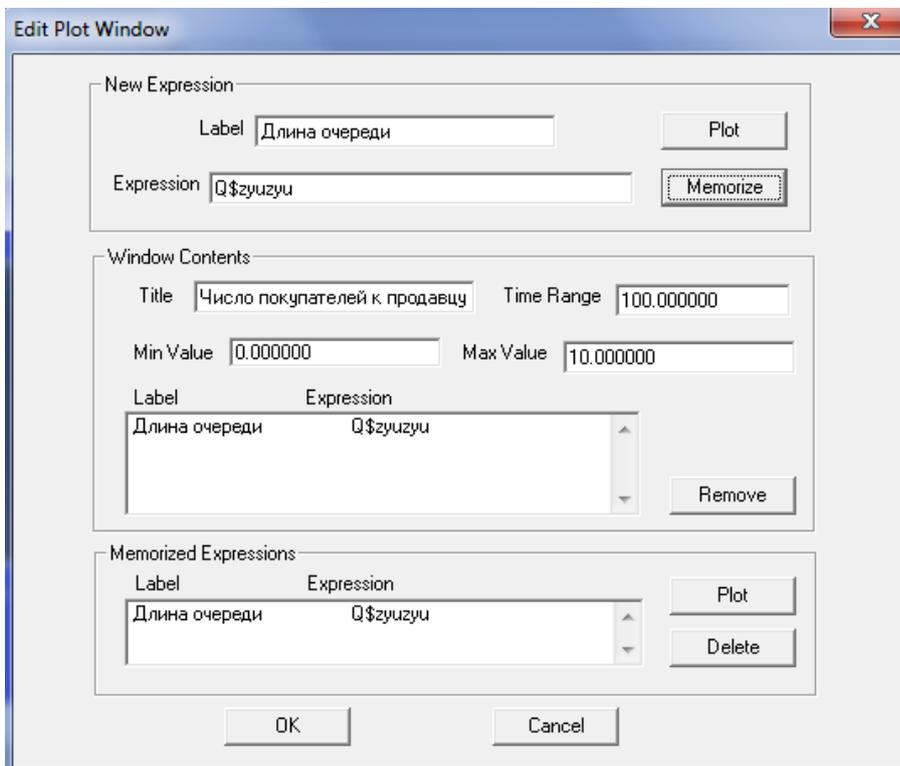
```
TERMINATE  1
```

В поле операнда A стоит число 1. Это означает, что систему обслуживания – магазин – покупатели покидают по одному. Завершающим оператором в нашей задаче является управляющая команда **START** (Начать), позволяющая начать моделирование:

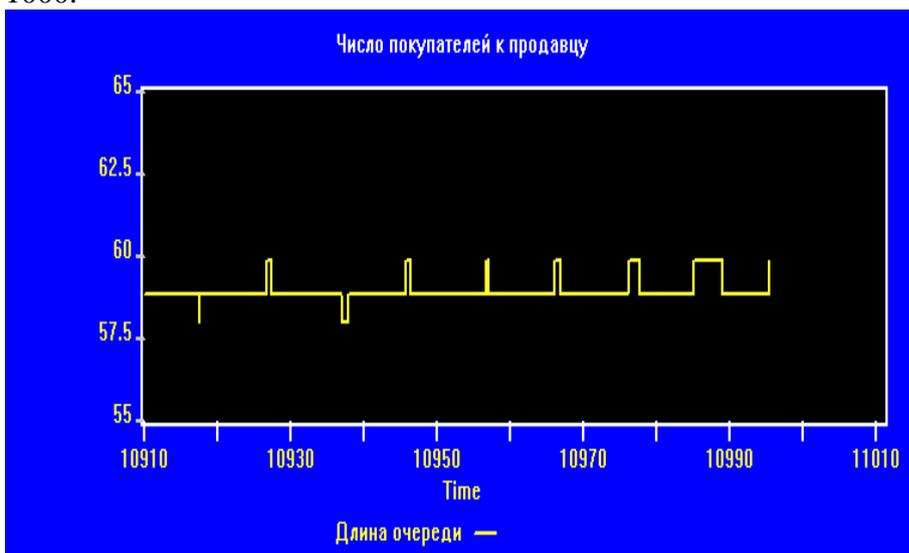
```
START      100
```

В поле операнда A стоит число 100, показывающее, с каким числом покупателей будет моделироваться система работы магазина.

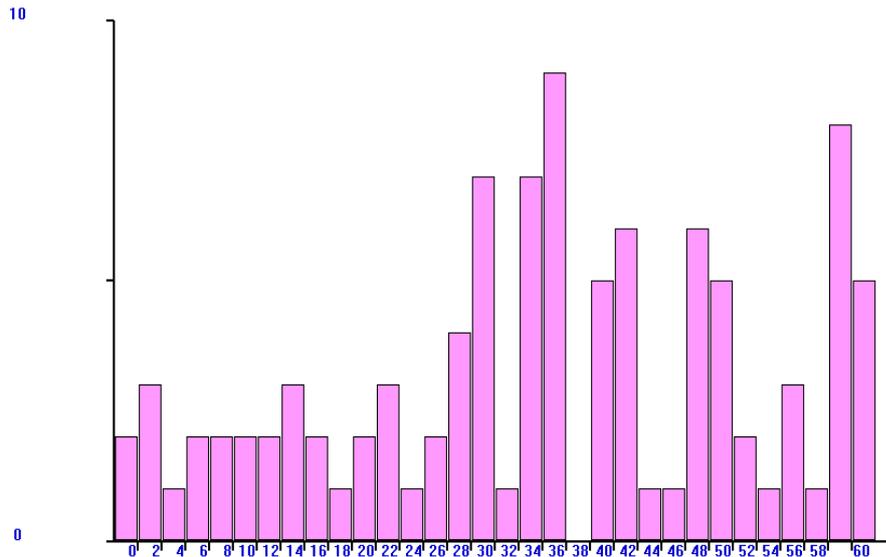
Переходим в пункт меню Window – Simulation Window – Plot Window. В открывшемся окне «Edit Plot Window» заполняем необходимые поля.



Далее переходим в Command – Start, в новом окне «Start Command» указываем значение 1000.



Для получения гистограммы модели добавляем новую строку в начало кода: `t_prod QTABLE zuzyuu,0,2,32`. Переходим в пункт меню Window – Simulation Window – Table Window – Open Table Window.



#### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп.6, 9, 10 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите операторы, регулирующие поведение узлов обслуживания.
2. Назовите парные блоки.
3. Охарактеризуйте основные элементы отчета.
4. Опишите гистограмму.

#### **Лабораторная работа № 17. Моделирование производственных систем в GPSS/World** (Тренинг в малых группах, 1 час.)

**Цель работы:** развитие у обучающихся профессиональных компетенций в области имитационного моделирования производственных систем в ППП GPSS/World, формирования умений и навыков, связанных с их применением.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. С учетом технологической последовательности работ построить блок-диаграмму и имитационную модель (с комментариями) производственного участка средствами системы GPSS World.
2. Провести имитационный эксперимент, выявить основные характеристики процесса средствами GPSS. Определить для рабочего дня (8 часов) и рабочей недели (5 дней при односменном режиме) среднюю загрузку каждого станка, среднее время обработки деталей каждого типа, какова длина очередей на обработку для станков, какой размер склада необходим для данного потока деталей.
3. Предложить способы модификации участка цеха с целью повышения эффективности его работы (повышение производительности, улучшение использования оборудования).

Таблица 1 - Распределение операций по станкам

Вариант	Операция					
	1	2	3	4	5	6
0	A1	A2	A3	A1	A3	A2
1	A1	A2	A3	A3	A2	A1
2	A1	A2	A3	A3	A1	A2
3	A1	A2	A3	A1	A2	A3
4	A1	A2	A3	A2	A1	A3
5	A1	A2	A3	A2	A3	A1
6	A2	A1	A3	A1	A2	A3
7	A2	A1	A3	A1	A3	A2
8	A2	A1	A3	A2	A1	A3
9	A2	A1	A3	A2	A3	A1
10	A2	A1	A3	A3	A1	A2
11	A2	A1	A3	A3	A2	A3
12	A3	A1	A3	A1	A2	A3
13	A1	A2	A1	A2	A3	A2
14	A2	A3	A1	A1	A2	A3
15	A2	A1	A2	A3	A1	A3

Таблица 2 - Входные временные характеристики, мин

Вариант	Интервалы времени поступления деталей	
	первого типа	второго типа
0	$30 \pm 5$	$20 \pm 5$
1	$25 \pm 4$	$25 \pm 6$
2	$20 \pm 3$	$30 \pm 7$
3	$15 \pm 5$	$35 \pm 8$
4	$10 \pm 4$	$20 \pm 5$
5	$30 \pm 5$	$10 \pm 3$
6	$15 \pm 4$	$15 \pm 6$
7	$30 \pm 10$	$15 \pm 3$
8	$20 \pm 5$	$20 \pm 5$
9	$25 \pm 4$	$10 \pm 3$
10	$45 \pm 5$	$15 \pm 5$
11	$20 \pm 4$	$15 \pm 3$
12	$10 \pm 3$	$15 \pm 5$
13	$30 \pm 10$	$15 \pm 5$
14	$10 \pm 4$	$15 \pm 6$
15	$25 \pm 4$	$15 \pm 3$

Таблица 3 - Временные характеристики операций, мин

Вариант	Интервалы времени выполнения операции					
	1	2	3	4	5	6
0	$5 \pm 2$	$20 \pm 4$	$10 \pm 3$	$7 \pm 3$	$15 \pm 5$	$15 \pm 5$
1	$20 \pm 4$	$5 \pm 2$	$15 \pm 5$	$15 \pm 5$	$7 \pm 3$	$10 \pm 3$
2	$10 \pm 3$	$15 \pm 5$	$5 \pm 2$	$20 \pm 4$	$10 \pm 3$	$7 \pm 3$
3	$18 \pm 3$	$10 \pm 3$	$12 \pm 5$	$20 \pm 4$	$25 \pm 8$	$12 \pm 4$

4	12 ± 5	15 ± 5	18 ± 3	10 ± 3	5 ± 2	20 ± 4
5	15 ± 5	20 ± 4	10 ± 3	18 ± 3	12 ± 5	20 ± 4
6	10 ± 3	25 ± 8	5 ± 2	15 ± 5	18 ± 3	15 ± 5
7	15 ± 5	12 ± 5	20 ± 4	5 ± 2	10 ± 3	18 ± 3
8	20 ± 4	18 ± 3	10 ± 3	7 ± 3	15 ± 5	25 ± 8
9	10 ± 3	15 ± 5	10 ± 3	12 ± 5	5 ± 2	20 ± 4
10	25 ± 8	5 ± 2	12 ± 5	7 ± 3	10 ± 3	15 ± 5
11	20 ± 4	10 ± 3	15 ± 5	5 ± 2	12 ± 5	25 ± 8
12	12 ± 5	20 ± 4	25 ± 8	15 ± 5	5 ± 2	10 ± 3
13	20 ± 4	15 ± 5	12 ± 5	10 ± 3	12 ± 5	15 ± 5
14	10 ± 3	10 ± 3	18 ± 3	15 ± 5	5 ± 2	20 ± 4
15	12 ± 5	20 ± 4	5 ± 2	7 ± 3	10 ± 3	20 ± 4

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих теоретических и практических рекомендаций.

В качестве объекта исследования рассматривается производственный участок цеха. Средствами языка GPSS необходимо смоделировать работу участка цеха, состоящего из нескольких станков и обрабатывающего два потока деталей различного типа.

Маршруты обработки деталей двух типов представлены в таблице 1 (распределение выполняемых операций по станкам А1, А2 и А3). Операции 1–3 и выполняются над деталями первого типа, а операции 4–6 – над деталями второго типа. Интервалы времени между поступлениями деталей и времена выполнения операций распределены равномерно. Информация о времени поступления и выполнения операций задано в табл. 2 и 3

### **Пример :**

Таблица - Таблица определений для примера

Элементы GPSS		Назначение
Транзакты:		Детали:
1-й сегмент модели	первого типа	
2-й сегмент модели	второго типа	
3-й сегмент модели	Таймер	
Станки:		Выполнение:
А1	операций 1 и 4	
А2	операций 2 и 6	
А3	операции 3 и 5	
Очереди:		Общая очередь:
АА1	к станку А1	
АА2	к станку А2	
АА3	к станку А3	

*Примечание.* Единица времени в модели – 1 мин.

### *ТЕКСТ ПРОГРАММЫ НА GPSS*

```
SIMULATE
GENERATE 30,5 1-й сегмент модели
QUEUE АА1
```

```

SEIZE AI
DEPART AA1
ADVANCE 5,2
RELEASE AI
QUEUE AA2
SEIZE A2
DEPART AA2
ADVANCE 20,4
RELEASE A2
QUEUE AA3
SEIZE A3
DEPART AA3
ADVANCE 10,3
RELEASE A3
TERMINATE
GENERATE 20,5 2-й сегмент модели
QUEUE AA1
SEIZE AI
DEPART AA1
ADVANCE 7,3
RELEASE AI
QUEUE AA3
SEIZE A3
DEPART AA3
ADVANCE 15,5
RELEASE A3
QUEUE AA2
SEIZE A2
DEPART AA2
ADVANCE 15,5
RELEASE A2
TERMINATE
GENERATE 480 3-й сегмент модели (таймер)
TERMINATE 1

```

В данном примере таймер настроен на выполнение моделирования в течение 8-часового рабочего дня. Для выполнения моделирования в течение 5 дней таймер должен быть откорректирован.

Из информации, содержащейся в листинге выходного отчета, можно сформировать следующие таблицы.

Таблица - Средняя загрузка станков, %

Станок	В течение 8 часов	В течение 5 рабочих дней
AI	48	52
A2	92	98
A3	88	96

Таблица - Максимальная длина очередей к станкам

Станок	В течение 8 часов	В течение 5 рабочих дней
AI	1	1

A2	12	59
A3	2	3

Таблица - Среднее время обработки деталей на станках, мин.

Станок	В течение 8 часов	В течение 5 рабочих дней
A1	5.9	6.31
A2	16.33	16.99
A3	12.38	13.18

Общее число обработанных деталей в течение 8 часов равно 40, в течение рабочей недели – 142. Эти данные могут служить основанием для расчета необходимого размера склада готовой продукции. Из результатов моделирования можно сделать вывод, что первый станок A1 загружен на 50 %. Перегружен станок A2 (об этом говорит средний процент использования 98 % и длина очереди – 59). Станок A3 загружен оптимально.

Для повышения эффективности работы этого участка цеха при данном потоке деталей можно использовать два станка A2. Для проверки такого предположения надо внести в программу модели изменения.

```

SIMULATE
A2 STORAGE 2      2-й станок моделируется как накопитель
GENERATE 30,5
QUEUE AA1
SEIZE AI
DEPART AA1
ADVANCE 5,2
RELEASE AI
QUEUE AA2
ENTER A2
DEPART AA2
ADVANCE 20,4
LEAVE A2
QUEUE AA3
SEIZE A3
DEPART AA3
ADVANCE 10,3
RELEASE A3
TERMINATE
GENERATE 20,5
QUEUE AA1
SEIZE AI
DEPART AA1
ADVANCE 7,3
RELEASE AI
QUEUE AA3
SEIZE A3
DEPART AA3
ADVANCE 15,5
RELEASE A3
QUEUE AA2
ENTER A2
DEPART AA2
ADVANCE 15,5

```

**LEAVE A2**  
**TERMINATE**  
**GENERATE 2400**  
**TERMINATE 1**

По результатам данного варианта моделирования можно сделать вывод: использование двух станков А2 позволило ликвидировать очередь к данному станку, снизив среднюю загрузку станков А2 до 67 % (чего и следовало ожидать). Но при этом перераспределилась нагрузка на станок А3: при средней нагрузке в 99 % максимальная очередь на обработку станком А3 возросла до 16. Можно продолжить моделирование с целью определения рациональной структуры участка цеха при заданном потоке деталей.

Если структуру цеха менять нельзя, то, используя язык моделирования GPSS, можно подобрать такой поток деталей, который давал бы возможность рационально загружать имеющееся оборудование.

#### Рекомендуемые источники

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
2. Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп.6, 9, 10 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Чем накопитель отличается от узла обслуживания с точки зрения логики функционирования и способа моделирования?
2. Как регулировать продолжительность рабочей смены в программе?
3. Какие законы распределения и в каких блоках использовались в программе?
4. Каким образом можно быстрее написать и отладить программу?

### **9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы**

#### **Аналитическая оценка характеристик СМО**

Цель работы: практическое освоение обучающимися методов расчета операционных характеристик систем массового обслуживания.

#### Задание:

1. Познакомиться с основными алгоритмами функционирования предметной области;
2. Обобщить алгоритмы выполнения заданий лабораторных работ.
3. Выполнить задания, предусмотренные контрольной работой.

#### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить основные теоретические и прикладные вопросы по предметной области.
2. Рассмотреть совместно с преподавателем основные алгоритмы выполнения заданий.
3. Выполнить и устно защитить контрольную работу.

#### Форма отчетности:

1. Пояснительная записка в электронном виде с распечатками формул расчетов и соответствующих результатов в соответствии с заданиями на выполнение контрольной работы.
2. Ответы на контрольные вопросы в устной форме для защиты контрольной работы.

#### Задания для самостоятельной работы:

1. Осуществить постановку задачи.

2. Построить формализованную схему процесса.
3. Определить значения основных операционных характеристик СМО (длину очереди, количество заявок в системе, время нахождения клиентов в системе и очереди, а также коэффициент загрузки системы) по данным о количестве поступающих в СМО и выбывающих после обслуживания требований в единицу времени ( $\lambda$  и  $\mu$  соответственно), приведенным в таблице.  $N$  принять равным номеру варианта, а число узлов – более 1 в случае, когда  $\rho = 1$ .

#### Частоты входных и выходных потоков

Вариант	$\mu$	$\lambda$
1	6	5
2	7	6
3	8	7
4	9	9
5	10	10
6	11	10
7	12	11
8	3	2
9	5	4
10	2	2
11	8	7
12	7	6
13	3	3
14	4	3
15	6	5

Интерпретировать полученные результаты с точки зрения эффективности функционирования СМО.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к контрольной работе

Проработка основной и дополнительной литературы, терминов, сведений, требующихся для запоминания и являющихся основополагающими в данной теме. Проработка материалов по изучаемому вопросу, с использованием рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», а также с учетом следующих практических рекомендаций.

**Пример.** Собранные сведения о режиме функционирования автомобильной моечной станции показывают, что автомобили поступают на эту станцию в соответствии с пуассоновским законом распределения (с интенсивностью 5 машин в час). Продолжительность выполнения работ, связанных с мытьем и чисткой, подчиняется экспоненциальному закону со средним значением, равным 10 минутам на один автомобиль. Станция располагает пятью площадками для стоянки машин. Если все площадки заняты, то дополнительно прибывающие на моечную станцию автомобили вынуждены искать другую станцию.

Рассматриваемая СМО обладает конфигурацией  $(M/M/1):(GD/N/\infty)$ .

Количество клиентов, которое теряет станция из-за ограниченности мест, можно определить как

$$\lambda - \lambda_{\text{эфф}} = \lambda_{p_N}.$$

В рассматриваемом примере  $N = 5 + 1 = 6, \rho = 5/6$ , а

$$P_N = \left( \frac{1 - \frac{5}{6}}{1 - \frac{5}{6}} \right) \cdot \frac{5}{6} = 0,0774.$$

Таким образом, частота возникновения ситуаций, когда прибывший автомобиль не имеет возможности присоединиться к очереди, равняется  $5 \cdot 0,0774 = 0,387$  автомобиля в час, что при 8-часовом рабочем дне эквивалентно тому, что моечная станция в среднем за день будет терять три автомобиля.

Требуется определить среднее время пребывания на моечной станции автомобилей. Сначала рассчитываем величину

$$L_s = \frac{\frac{5}{6} \left[ 1 - 7 \frac{5}{6} + 6 \frac{5}{6} \right]}{\frac{5}{6} \left[ 1 - \frac{5}{6} \right]} = 2,29 \text{ автомобиля.}$$

С учетом того, что  $\lambda_{эфф} = \lambda(1 - P_0) = 5 \cdot (1 - 0,0774) = 4,613$ , получаем

$$W_s = \frac{L_s}{\lambda_{эфф}} = \frac{2,29}{4,613} = 0,496 \text{ ч.}$$

#### Рекомендуемые источники

- 1.Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ (с изменениями и дополнениями) «Об информации, информационных технологиях и о защите информации»
- 2.Федеральный закон от 23.08.1996 г. №127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике».

#### Основная литература

п.1 раздела 7.

#### Дополнительная литература

пп.3,4,6, 9, 10 раздела 7.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

- 1.Что является причиной образования очередей в СМО?
- 2.Какой показатель используется для измерения интенсивности поступления требований в СМО?
- 3.Какой показатель используется для измерения интенсивности выбытия требований из СМО?
- 4.Какой смысл имеет параметр  $\lambda$  в функции распределения Пуассона  $P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$  ?
- 5.Чему равна средняя частота поступлений при пуассоновском входном потоке?
- 6.Какие потоки требований являются стационарными?

### **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

- 1.Microsoft Windows Professional Russian, Microsoft Office Russian, Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
- 2.Справочно-правовая система «Консультант Плюс», GPSS World Student Version.

**11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ  
ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного Оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Лк	Лекционная аудитория (мультимедийный класс)	Интерактивная доска SMART Board 680i2/Unifl, Интерактивный планшет Wacom PL-720, Колонки Microlab Solo-7C, Ноутбук Samsung R610<NP-R610-FS08>, Телевизор плазменный Samsung 63 PS-63A756T1M	Лк №№1-26
ЛР	Дисплейный класс	Системный блок AMD A10-7800 Radeon R7 (12 шт.), Системный блок для слабовидящих пользователей AMD A10-7850K (1 шт.), Монитор Philips233 V5QHABP (13 шт.)	ЛР №№ 1 – 17
кр	Дисплейный класс	Системный блок AMD A10-7800 Radeon R7 (12 шт.), Системный блок для слабовидящих пользователей AMD A10-7850K (1 шт.), Монитор Philips233 V5QHABP (13 шт.)	---
	Читальный зал №1	Оборудование 10 ПК i5-2500/H67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	
СР	Читальный зал №1	Оборудование 10 ПК i5-2500/H67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	---

## Приложение 1

### ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-2	способность анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования	1. Сущность и основные этапы математического моделирования	1.1. Модель. Моделирование как способ исследования. Свойства и область применения моделей. 1.2. Понятие, виды экономико-математических моделей и основные этапы их построения.	Вопросы к зачету №№1.1.-1.7  Экзаменационные вопросы №№1.1.-1.7
		2. Состав и принципы построения имитационной модели.	2.1. Сущность, область применения и основные этапы имитационного моделирования. 2.2. Структура моделирующего алгоритма. 2.3. Задание времени в имитационной модели. 2.4. Построение моделирующих алгоритмов.	Вопросы к зачету №№2.1.-2.4.  Экзаменационные вопросы №№2.1.-2.5
		4. Адекватность и точность имитационных моделей.	4.1. Основные принципы оценки адекватности математической модели. 4.2. Погрешности моделирования.	Экзаменационные вопросы №№4.1-4.4.
		6. Основы теории массового обслуживания.	6.1. Основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания. 6.2. Входной и выходной потоки в системах массового обслуживания.	Экзаменационные вопросы №№ 6.1-6.7
ПК-23	способность применять системный подход	3. Реализация имитационной модели на ЭВМ.	3.1. Моделирование как эксперимент. Метод Монте-Карло.	Вопросы к зачету №№3.1-3.5.

	и математические методы в формализации решения прикладных задач		3.2.Способы генерации случайных чисел в имитационном моделировании. 3.3.Моделирование случайных событий. 3.4.Модель входа. 3.5.Модель выхода. 3.6.Модель обратной связи.	Экзаменационные вопросы №№3.1-3.10
		5.Инструментальные средства имитационного моделирования.	5.1.Языки имитационного моделирования: концептуальные свойства и особенности, требования, виды, архитектура. 5.2.Пакеты прикладных программ моделирования. Автоматизированные системы моделирования.	Экзаменационные вопросы №№ 5.1-5.7
		7.Системы массового обслуживания (СМО).	7.1.СМО при наличии входного и выходного потоков. 7.2.СМО различной конфигурации.	Экзаменационные вопросы №№7.1.-7.5
		8.Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО).	8.1.Проблемы моделирования СМО. 8.2.Прикладные задачи ТМО.	Экзаменационные вопросы №№8.1.-8.5.

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования	1.1.Дайте определения «модель», «экономико-математическая модель». Перечислите ее основные компоненты и свойства. Приведите примеры экономико-математических моделей.	1. Сущность и основные этапы математического моделирования
			1.2.Сравните этапы математического и имитационного моделирования на конкретном примере.	
			1.3.В чем заключаются особенности и область применения имитационных моделей?	
			1.4.Охарактеризуйте этапы имитационного моделирования.	
			1.5.Перечислите элементы имитационной модели.	

			1.6.Структурируйте формализованную схему процесса функционирования библиотеки.	
			1.7.Структурируйте формализованную схему процесса функционирования библиотеки.	
			2.1.Охарактеризуйте алгоритм метода повременного моделирования с детерминированным шагом.	2. Состав и принципы построения имитационной модели.
			2.2.Охарактеризуйте алгоритм метода повременного моделирования со случайным шагом.	
			2.3.Охарактеризуйте алгоритм позаявочного способа построения моделирующих алгоритмов.	
			2.4.Постройте моделирующий алгоритм работы библиотеки	
2.	ПК-23	способность применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач	3.1.Какую роль играет метод Монте-Карло в имитационном моделировании?	3.Реализация имитационной модели на ЭВМ.
			3.2.Охарактеризуйте преимущества и недостатки различных способов генерации случайных чисел.	
			3.3. Каким образом используется таблица случайных чисел для их генерации? Приведите примеры	
			3.4.Сформулируйте в аналитическом виде условия, идентифицирующие наступления случайных событий.	
			3.5.Укажите основное назначение модели входа. Каким образом она связана с формализованной схемой процесса?	

### 3.Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1.	ОПК-2	способность анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования	1.1.Основные понятия математического и имитационного моделирования. 1.2.Виды моделирования. Свойства и область применения моделей. 1.3.Основные аспекты применения математических методов в решении практических проблем 1.4.Основные этапы экономико-математического моделирования. 1.5.Состав экономико-математических методов. 1.6.Классификационные свойства экономико-математических моделей. 1.7. Достоинства и недостатки	1. Сущность и основные этапы математического моделирования

			имитационных моделей.	
			2.1.Сущность, методология и область применения имитационного моделирования	<b>2.</b> Состав и принципы построения имитационной модели.
			2.2.Этапы имитационного моделирования. Элементы имитационной модели	
			2.3. Состав формализованной схемы процесса	
			2.4.Структура моделирующего алгоритма.	
			2.5.Принципы и правила задания модельного времени.	
			4.1.Основные принципы оценки адекватности математической модели.	<b>4.</b> Адекватность и точность имитационных моделей.
			4.2.Погрешности имитационного моделирования.	
			4.3.Расчет суммарной погрешности модели.	
			4.4.Распределение допусков на управляемые переменные.	
			6.1.Основные элементы и функциональные возможности СМО.	<b>6.</b> Основы теории массового обслуживания.
			6.2. Характеристики эффективности обслуживания	
			6.3.Виды и характеристика марковских процессов	
			6.4.Алгоритм составления уравнений Колмогорова	
			6.5.Статистические свойства входных и выходных потоков	
			6.6.Характеристики входных потоков	
			6.7.Характеристики выходных потоков	
<b>2.</b>	ПК-23	способность применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач	3.1.Алгоритм метода Монте-Карло	<b>3.</b> Реализация имитационной модели на ЭВМ
			3.2. Способы генерации случайных чисел	
			3.3.Моделирование случайных событий. Этапы статистической оценки случайных воздействий	
			3.4.Модель входа: сущность и назначение в имитационном алгоритме.	
			3.5.Основные принципы функционирования модели выхода	
			3.6.Процедура испытания статистических гипотез в имитационном моделировании.	
			3.7.Общие принципы построения и функционирования модели об-	

		ратной связи.	
		3.8. Основы теории планирования эксперимента	
		3.9. Процедура выбора подобласти проведения эксперимента. Последовательность достижения оптимума.	
		3.10. Виды и свойства факторов	
		5.1. Сущность и виды языков имитационного моделирования. Их преимущества и недостатки.	<b>5. Инструментальные средства имитационного моделирования.</b>
		5.2. Архитектура языков моделирования. Требования, предъявляемые к языкам имитационного моделирования	
		5.3. Основы классификация, сравнение эффективности и критерии выбора языков моделирования.	
		5.4. Языки моделирования непрерывных систем	
		5.5. Языки моделирования дискретных систем	
		5.6. Понятие и состав пакета прикладных программ моделирования систем.	
		5.7. Структура автоматизированной системы моделирования.	
		7.1. Характеристика идентификационной структуры Кендалла	<b>7. Системы массового обслуживания (СМО).</b>
		7.2. Алгоритм и условия определения основных операционных характеристик СМО	
		7.3. Моделирование СМО с одним обслуживающим узлом	
		7.4. Моделирование СМО с несколькими обслуживающими узлами	
		7.5. СМО с приоритетами. Тандемы очередей	
		8.1. Проблемы сложности и гибкости математических моделей обслуживания	<b>8. Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО).</b>
		8.2. Подготовка исходных данных и проверка гипотез	
		8.3. Проблемы определения оптимального уровня обслуживания	
		8.4. Модели со стоимостными характеристиками	
		8.5. Моделирование предпочтительного уровня обслуживания	

#### 4. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия и категории системного анализа и математического моделирования;</li> </ul> <p>(ПК-23):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы применения системного подхода и математических методов в формализации решения прикладных задач;</li> </ul>	отлично	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>полностью</b> сформированы и оценка «отлично» выставляется в случае, если обучающийся все-стороннее и систематически демонстрирует: способности применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач и анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования.
<p><b>Уметь</b> (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать основные понятия и категории системного анализа и математического моделирования для анализа социально-экономических задач и процессов;</li> </ul> <p>(ПК-23):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать основные математические методы в формализации решения прикладных задач;</li> </ul>	хорошо	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 сформированы в <b>достаточной степени</b> и оценка «хорошо» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует недостаточно полные способности применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач и анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования.
<p><b>Владеть</b> (ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- статистическими знаниями по системному анализу и математическому моделированию в различных сферах деятельности;</li> </ul> <p>(ПК-23):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основными методиками применения системного подхода и математических методов в формализации решения прикладных задач.</li> </ul>	удовлетворительно	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 сформированы <b>частично</b> и оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует частичные способности применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач и анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования.

	неудовлетворительно	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>не сформированы</b> и оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует: существенные пробелы в способности применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач и анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования.
	<b>зачтено</b>	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>полностью</b> сформированы и оценка «зачтено» выставляется в случае, если обучающийся полностью усвоил научно-теоретические основы системного подхода, овладел математическими методами в формализации решения прикладных задач и анализа социально-экономических задач и процессов с применением технических средств.
	<b>Не зачтено</b>	Компетенции ОПК-2 и ПК-23 <b>не сформированы</b> и оценка «не зачтено» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует: существенные пробелы: в усвоении научно-теоретических основ системного подхода, во владении математическими методами в формализации решения прикладных задач и анализа социально-экономических задач и процессов с применением технических средств.

### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина «Математическое и имитационное моделирование» направлена на ознакомление с основными понятиями и категориями теоретических и прикладных аспектов имитационного математического моделирования как научного исследования; на получение теоретических знаний и практических навыков использования соответствующих основных

методов и инструментов системных исследований для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины «Математическое и имитационное моделирование» предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы;
- зачет;
- экзамен;
- самостоятельную работу обучающихся;
- выполнение контрольной работы.

В ходе освоения раздела 1 «Сущность и основные этапы математического моделирования» обучающиеся должны уяснить основные понятия предметной области – модель, моделирование как способ исследования; свойства и область применения моделей; понятие, виды экономико-математических моделей и основные этапы их построения.

В ходе освоения раздела 2 «Состав и принципы построения имитационной модели» обучающиеся должны уяснить сущность, область применения и основные этапы имитационного моделирования; структуру моделирующего алгоритма; способы задания времени в имитационной модели; последовательность построения моделирующих алгоритмов.

В ходе освоения раздела 3 «Реализация имитационной модели на ЭВМ» обучающиеся должны уяснить сущность моделирования как эксперимента, основанного на методе Монте-Карло; способы генерации случайных чисел в имитационном моделировании; принципы моделирования случайных событий; сущность и назначение моделей вход, выхода, обратной связи.

В ходе освоения раздела 4 «Адекватность и точность имитационных моделей» обучающиеся должны уяснить основные принципы оценки адекватности математической модели, виды погрешностей моделирования.

В ходе освоения раздела 5 «Инструментальные средства имитационного моделирования» обучающиеся должны уяснить принципы использования языков имитационного моделирования; пакетов прикладных программ моделирования; автоматизированных систем моделирования.

В ходе освоения раздела 6 «основы теории массового обслуживания» обучающиеся должны уяснить основные компоненты и характеристики моделей массового обслуживания, принципы моделирования входных и выходных потоков в системах массового обслуживания.

В ходе освоения раздела 7 «Системы массового обслуживания (СМО)» обучающиеся должны уяснить принципы моделирования СМО при наличии входного и выходного потоков различной конфигурации.

В ходе освоения раздела 8 «Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО)» обучающиеся должны уяснить проблемы моделирования СМО, способы постановки и решения прикладных задач ТМО.

Необходимо овладеть навыками и умениями применения изученных методов имитационного моделирования для формализованного анализа управленческой информации, применения и реализации тех или иных проектов в конкретных ситуациях.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на понятийно-категориальный аппарат дисциплины. Овладение ключевыми понятиями является важным этапом в освоении содержания основных методов и инструментов математического и имитационного моделирования.

При подготовке к зачету и экзамену рекомендуется особое внимание уделить вопросам использования основных методов и инструментов математического и имитационного моделирования для построения экономических, финансовых и организационно-управленческих моделей путем их адаптации к конкретным задачам управления.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об основных методах математическо-

го и имитационного моделирования информации при принятии управленческих решений.

Самостоятельную работу необходимо начинать с проработки конспекта лекций, обобщения, систематизации, углубления и конкретизации полученных теоретических знаний с использованием основной и дополнительной литературы, а также рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

В процессе консультации с преподавателем прояснять вопросы, термины, материал, вызвавший трудности при самостоятельной работе.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий (в виде лекций и лабораторных работ) в сочетании с внеаудиторной работой.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Математическое и имитационное моделирование**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является овладение основами теоретических знаний в области системного анализ, математического и имитационного моделирования и умение применять их на практике.

Задачей изучения дисциплины является: овладение обучающимися методологией и методиками математического и имитационного моделирования в формализации решения прикладных задач.

**2. Структура дисциплины**

Распределение трудоемкости по отдельным видам учебной работы, включая самостоятельную работу: 52 час. – лекции, 70 час. – лабораторные работы, 166 час. – самостоятельная работа.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 324 часа, 9 зачетных единиц.

**2.2 Основные разделы дисциплины:**

- 1 - Сущность и основные этапы математического моделирования
- 2 - Состав и принципы построения имитационной модели.
- 3 - Реализация имитационной модели на ЭВМ.
- 4 - Адекватность и точность имитационных моделей.
- 5 - Инструментальные средства имитационного моделирования.
- 6 - Основы теории массового обслуживания.
- 7 - Системы массового обслуживания (СМО).
- 8 - Практическое применение теории массового обслуживания (ТМО).

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 - способность анализировать социально-экономические задачи и процессы с применением методов системного анализа и математического моделирования
- ПК-23 - способность применять системный подход и математические методы в формализации решения прикладных задач.

**4. Вид промежуточной аттестации:** зачет, экзамен.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Ф.И.О.) \_\_\_\_\_  
(подпись)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 09.03.03 Прикладная информатика от « 12 » марта 2015 г. № 207 для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018 г. № 130, для заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. № 130.

**Программу составил:**

Боярчук Наталья Яновна,  
доцент базовой кафедры МиИТ, к.э.н., доцент \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании базовой кафедры МиИТ от « 19 » декабря 2018 г., протокол № 8

И. о. заведующего базовой кафедрой МиИТ \_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

**СОГЛАСОВАНО:**

И. о. заведующего выпускающей базовой кафедрой МиИТ \_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ФЭиУ от «28 » декабря 2018 г., протокол № 4

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ Е.В.Трапезникова

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_