

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Системотехника»

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

по дисциплине

*«М.1.2.2 Системы и сети массового обслуживания»*

направления подготовки

*«09.04.01 - Информатика и вычислительная техника»*

Магистерская программа «Автоматизированные системы обработки  
информации и управления»

форма обучения – очная

курс – 1

семестр – 2

часов в неделю – 2

всего часов – 144,

в том числе:

лекции – 14

коллоквиум - 4

лабораторные занятия – 18

самостоятельная работа – 108

зачет – не предусмотрен

экзамен – 2 семестр

РГР – не предусмотрена

курсовая работа – 2 семестр

курсовой проект – не предусмотрен

## **1. Цели и задачи дисциплины**

Учебная дисциплина «Системы и сети массового обслуживания» реализует требования федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника».

Целью преподавания дисциплины является изучение студентами основ теории систем и сетей массового обслуживания, использование их моделей при решении практических задач исследования дискретных систем с сетевой структурой и стохастическим характером функционирования.

Задачи дисциплины направлены на ознакомление с основными типами систем массового обслуживания, усвоение математического аппарата теории массового обслуживания, овладение навыками применения методов и моделей ТМО для изучения, анализа и моделирования реальных систем обслуживания.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП ВО**

Дисциплина относится к блоку М.1.2 Вариативная часть.

Базовой дисциплиной для изучения дисциплины М.1.2.5 «Системы и сети массового обслуживания» является дисциплина М.1.2.4 «Применение методов моделирования в исследованиях и проектировании сложных систем».

Знания, приобретенные в курсе М.1.2.5 «Системы и сети массового обслуживания» могут быть использованы в дисциплине М.1.2.7 «Принципы организации АСОИУ», в дальнейшем при выполнении программы магистерской подготовки, при научно-исследовательской работе, а также в профессиональной деятельности.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих профессиональных компетенций:

ПК-2 – знание методов научных исследований и владение навыками их проведения;

ПК-4 – владение существующими методами и алгоритмами решения задач распознавания и обработки данных.

### Студент должен знать

– основы теории цепей Маркова с дискретным и непрерывным временем (ПК-4),

– основные понятия теории массового обслуживания (ПК-4),

– основы теории экспоненциальных сетей массового обслуживания и сетей массового обслуживания общего вида (ПК-2);

### Студент должен уметь

- строить математические модели в виде систем и сетей массового обслуживания (ПК-4);
- использовать математические модели для решения практических задач анализа и синтеза сложных систем (ПК-2);
- 

### Студент должен иметь навык

- работы с современными программно-техническими средствами реализации моделей систем и сетей массового обслуживания (ПК-4).

## **4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий**

№ модуля	№ недели	№ темы	Наименование темы	Часы				
				Всего	Лекции	Коллоқ.	Лабораторные	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1-2	1	Основные понятия теории систем и сетей массового обслуживания	2	2	-	-	-
1	3-4	2	Цепи Маркова	24	2	-	-	22
1	5-6	3	Системы массового обслуживания	24	2	-	-	22
1	7-10	4	Экспоненциальные сети массового обслуживания	34	4		8	22
2	11-16	5	Сети массового обслуживания общего вида	36	2	4	8	22
2	17-18	6	Примеры использования моделей систем и сетей массового обслуживания для решения практических задач анализа и синтеза сложных систем	24	2	-	2	20
Всего				144	14	4	18	108

## **5. Содержание лекционного курса**

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Учебно-методическое обеспечение
1	2	1	Предмет, цели и задачи курса. Содержание курса и его связь с другими дисциплинами. Аналитические модели систем и сетей массового обслуживания. Философские аспекты теории систем и сетей массового обслуживания. Использование теории для решения практических задач	1-4, 15 «1.1. Лекции»
2	2	2	Цепи Маркова с дискретным временем. Однородные цепи Маркова. Процесс размножения и гибели	1-4, 15 «1.1. Лекции»

<b>№ темы</b>	<b>Всего часов</b>	<b>№ лекции</b>	<b>Тема лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции</b>	<b>Учебно-методическое обеспечение</b>
3	2	3	Системы обслуживания без потерь. Системы обслуживания с потерями. Замкнутая система обслуживания. Метод этапов. Метод вложенных цепей Маркова	1-4, 14 «1.1. Лекции»
4	2	4	Однородные открытые и замкнутые сети обслуживания. Рекурсивный метод анализа сетей обслуживания	1-4, 14 «1.1. Лекции»
4	2	5	Анализ сетей обслуживания методом свертки. Анализ сетей обслуживания методом декомпозиции	1-4, 14 «1.1. Лекции»
5	2	6	Анализ сетей обслуживания методом базовых функций. Итерационный метод анализа средних значений	1-4, 14 «1.1. Лекции»
6	2	7	Расчет экспоненциальных сетей массового обслуживания. Проектирование систем телеобработки заданий (занятие проводится в интерактивной форме, используется метод мозгового штурма)	1-4, 14 «1.1. Лекции»

## **6. Содержание коллоквиумов**

В рамках проведения коллоквиумов предлагается подготовить устный доклад по предложенной теме.

<b>№ темы</b>	<b>Всего часов</b>	<b>№ коллоквиума</b>	<b>Тема коллоквиума. Вопросы, отрабатываемые на коллоквиуме</b>	<b>Учебно-методическое обеспечение</b>
5	2	1	Неоднородные сети обслуживания с экспоненциальными этапами обслуживания. Неоднородные сети массового обслуживания общего вида	1-4
5	2	2	Проектирование распределенных информационно-управляющих систем и анализ их производительности (занятие проводится в интерактивной форме, используется метод мозгового штурма)	1-4

## **7. Перечень практических занятий**

Практических занятий не предусмотрено учебным планом.

## 8. Перечень лабораторных работ

№ темы	Всего часов	Наименование лабораторной работы. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном занятии	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4
4	2	Моделирование одноканальной экспоненциальной системы массового обслуживания (занятие проводится в интерактивной форме, используется работа в малых группах)	5-8, 12-14 «2.2. МУ по выполнению лабораторных работ»
4	6	Моделирование экспоненциальной сети массового обслуживания	5-8, 12-14 «2.2. МУ по выполнению лабораторных работ»
5	8	Моделирование сети массового обслуживания общего вида (занятие проводится в интерактивной форме, используется работа в малых группах)	5-8, 12-14 «2.2. МУ по выполнению лабораторных работ»
6	2	Моделирование процесса функционирования автозаправочной станции (занятие проводится в интерактивной форме, используется работа в малых группах)	5-8, 12-14 «2.2. МУ по выполнению лабораторных работ»

Отчет по лабораторной работе должен содержать тему, краткую теоретическую и развернутую практическую части, с подробными комментариями ко всем этапам выполнения, объем не менее 4 страниц.

## 9. Задания для самостоятельной работы студентов

Текущая самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине, направленная на углубление и закрепление знаний студента, на развитие практических умений, включает в себя следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по темам, вынесенным на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным занятиям, курсовой работе и экзамену.

Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа по дисциплине, направленная на развитие интеллектуальных умений, общекультурных и профессиональных компетенций, развитие творческого мышления у студентов, включает в себя следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- выполнение вычислений, обработка и анализ данных;
- углубленное исследование теоретического материала по тематике

лабораторных занятий.

<b>№ темы</b>	<b>Всего Часов</b>	<b>Вопросы для самостоятельного изучения (задания)</b>	<b>Учебно-методическое обеспечение</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
2	22	Предельное распределение цепи Маркова	1-2, 5-6, 9
3	11	Пуассоновский процесс	2, 4, 7-9, 11
3	11	Эрланговские системы массового обслуживания, их основные характеристики	1-4, 10, 12
4	22	Основные параметры и характеристики экспоненциальных сетей массового обслуживания	2-3, 5-8, 14
5	22	Приближенные методы расчета характеристик неэкспоненциальных сетей массового обслуживания	1-3, 6-8, 10
6	20	Модели информационно-вычислительных систем	4, 9-12

### **10. Расчетно-графическая работа**

Не предусмотрена учебным планом.

### **11. Курсовая работа**

Курсовая работа посвящена разработке системы массового обслуживания сложной человеко-машинной системы.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем предметной области построить систему массового обслуживания.
2. Для построенной системы массового обслуживания разработать программу на языке высокого уровня, моделирующую поведение разработанной СМО.
3. Провести отладку и тестирование разработанной программы.
4. Подготовить пояснительную записку, содержащую описание метода, блок-схему разработанного алгоритма, текст программы с комментариями, описание работы программы, заключение.

#### **Варианты заданий**

1. АСУ энергетикой предприятия.
2. АСУ линии производства листового стекла.
3. АСУ столовой.
4. АСУ интернет-магазина.

Курсовая работа должна содержать обзорную часть проблемы, иметь четкую постановку задачи, содержать теоретические исследования проблемы и материалы моделирования.

Требования к оформлению работы: полуторный интервал, 14 кегль, цитирование и сноски в соответствии с принятыми стандартами, правильность грамматики, орфографии, синтаксиса.

## 12. Курсовой проект

Не предусмотрен учебным планом.

## 13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В процессе освоения образовательной программы у обучающегося в ходе изучения дисциплины «Системы и сети массового обслуживания» должны сформироваться профессиональные компетенции ПК-2 и ПК-4.

Под компетенцией **ПК-2** понимается знание методов научных исследований и владение навыками их проведения.

Для формирования компетенции **ПК-2** необходимы базовые знания фундаментальных разделов математики, теории вероятностей и математической статистики, моделирования систем и программирования.

Код компетенции	Этап формирования	Показатели оценивания	Критерии оценивания		
			Промежуточная аттестация	Типовые задания	Шкала оценивания
ПК-2	I (2 семестр)	1. Знание существующих методов исследования и решения задач проектирования АСУ	Промежуточная аттестация	Типовые задания	Шкала оценивания
		2. Умение строить программу научных исследований 3. Понимание принципов разработки научных методов и проведения научных исследований	Экзамен	В соответствии с пунктом 13.2	В соответствии с пунктом 13.3

Под компетенцией **ПК-4** понимается владение существующими методами и алгоритмами решения задач распознавания и обработки данных.

Для формирования компетенции **ПК-4** необходимы базовые знания фундаментальных разделов математики, теории вероятностей и математической статистики, моделирования систем и программирования.

Код компетенции	Этап формирования	Показатели оценивания	Критерии оценивания		
			Промежуточная аттестация	Типовые задания	Шкала оценивания
ПК-12	I (2 семестр)	1. Знание основных методов и алгоритмов решения задач распознавания и обработки данных	Промежуточная аттестация	Типовые задания	Шкала оценивания
		2. Умение разрабатывать системы распознавания	Экзамен	В соответствии с	В соответствии с пунктом

		образов 3. Навыки разработки систем обработки данных		пунктом 13.2	13.3
--	--	--	--	-----------------	------

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине учет успешности выполнения лабораторных работ, самостоятельной работы, курсовой работы, тестовых заданий и сдачу экзамена.

**Лабораторные работы** считаются успешно выполненными в случае предоставления работающей программы, отчета, включающего тему, постановку задачи, описание хода вычислений в выбранном пакете прикладных программ, скриншоты и графики при необходимости и защите лабораторной работы – ответе на вопросы по теме работы. Шкала оценивания – «зачтено / не зачтено». «Зачтено» за лабораторную работу ставится в случае, если студент корректно решил поставленную задачу, при этом обучающимся показано свободное владение материалом по дисциплине. «Не зачтено» ставится в случае, если задача решена с ошибками, тогда задание возвращается студенту на доработку и затем вновь сдаётся на проверку преподавателю.

**Курсовая работа** считается успешно выполненной в случае предоставления работающей программы, отчета, включающего тему, краткие теоретические сведения, текст и алгоритм программы, скриншоты выполнения программы и защите курсовой работы – кратком докладе на тему и ответе на вопросы по теме работы. Курсовая работа оценивается по пятибалльной шкале. «Отлично» за курсовую работу ставится в случае, если разработанная программа правильно решает поставленную задачу, обрабатывает некорректно поставленные задачи, при этом обучающимся показано свободное владение материалом по дисциплине. «Хорошо» ставится в случае, если программа правильно решает поставленную задачу, обрабатывает некорректно поставленные задачи, но при этом обучающийся при ответе на вопросы допускает неточности. «Удовлетворительно» ставится в случае, если программа правильно решает поставленную задачу, но при этом обучающийся при ответе на вопросы допускает грубые ошибки. Если программа выполняет вычисление результата с ошибками, тогда она возвращается студенту на доработку и затем вновь сдаётся на проверку преподавателю.

**Самостоятельная работа** считается успешно выполненной в случае предоставления отчета по каждой теме. Задание для отчета соответствует пункту 9 рабочей программы. Оценивание отчетов проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено». «Зачтено» выставляется в случае, если отчет оформлен в соответствии с критериями:

- правильность оформления отчета (титульная страница, оглавление и оформление источников);
- уровень раскрытия темы отчета / проработанность темы;
- структурированность материала;
- количество использованных литературных источников.



В случае, если какой-либо из критериев не выполнен, отчет возвращается на доработку.

В конце семестра обучающийся письменно отвечает на **тестовые задания**, содержащие вопросы по изученному материалу. Оценивание тестовых заданий проводится по пятибалльной шкале. В качестве критериев оценивания используется количество правильных ответов. При ответе более чем, на 80 % вопросов выставляется «отлично», при ответе более чем, на 70 % вопросов выставляется «хорошо», более 50 % – «удовлетворительно», в случае меньшего количества правильных ответов ставится «неудовлетворительно».

К **экзамену** по дисциплине обучающиеся допускаются при:

- предоставлении всех отчетов по всем лабораторным работам и защите всех лабораторных работ;
- сдачи отчетов с учетом того, что они «зачтены» преподавателем;
- успешной защите курсовой работе (с оценкой «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно»);
- успешном написании тестовых заданий (с оценкой «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно»).

Экзамен сдается устно, по билетам, в которых представлен вопрос из перечня «Вопросы для экзамена» и одно расчетное задание из списка тестовых вопросов. Оценивание проводится по пятибалльной шкале.

«Отлично» ставится при:

- правильном, полном и логично построенном ответе,
- умении оперировать специальными терминами,
- использовании в ответе дополнительного материала,
- иллюстрировании теоретического положения практическим материалом;
- оценке «отлично» или «хорошо» за тестовые вопросы.

«Хорошо» ставится, если в ответе встречаются

- негрубые ошибки или неточности,
- затруднения в использовании практического материала,
- не вполне законченные выводы или обобщения;
- оценке «удовлетворительно» или «хорошо» за тестовые вопросы.

«Удовлетворительно» ставится, если в ответе встречаются

- грубые ошибки или неточности,
- значительные затруднения в использовании практического материала,
- отсутствуют законченные выводы или обобщения;
- оценке «удовлетворительно» за тестовые вопросы.

«Неудовлетворительно» ставится при:

- схематичном неполном ответе,
- неумении оперировать специальными терминами или их незнании;
- оценке «удовлетворительно» за тестовые вопросы.

### **Вопросы для зачета**

Зачет учебным планом не предусмотрен.

## Вопросы для экзамена

1. Перечислите основные элементы системы массового обслуживания (СМО).
2. По каким признакам и как классифицируются СМО?
3. Поясните сущность входного потока заявок на обслуживание и его основные параметры и характеристики.
4. Поясните сущность выходного потока обслуженных заявок и его основные параметры и характеристики.
5. От каких факторов зависит размер потока необслуженных заявок, приведите примеры?
6. В каких случаях целесообразно организовывать очередь заявок на обслуживание в СМО?
7. Какие виды приоритетов заявок вы знаете и в чем их суть?
8. Какой поток заявок называется ординарным?
9. Какой поток заявок называется рекуррентным?
10. Какой поток заявок называется потоком без последствия?
11. Какой поток заявок называется потоком с последствием?
12. Какой поток заявок называется потоком с ограниченным последствием?
13. Какой поток заявок называется стационарным?
14. Какой поток заявок называется простейшим?
15. Каковы свойства простейшего потока заявок?
16. Что такое "интенсивность" потока, как она определяется?
17. Что такое "параметр" потока, как он определяется?
18. Как соотносятся "параметр" потока и "интенсивность" потока?
19. Как называется параметр равный отношению интенсивностей входного потока и обслуживания заявок в системе, поясните его смысл?
20. Какая СМО называется Марковской. Приведите примеры?
21. Чем сеть массового обслуживания отличается от СМО?
22. Какие четыре типовых задачи решаются при исследовании СМО?
23. Какие дополнительные задачи возникают в случае анализа мультисервисной СМО?
24. Поясните способы задания детерминированных и случайных потоков.
25. Поясните сущность распределения Пуассона, перечислите его свойства.
26. Дайте характеристику показательного распределения и его свойств, области применения в СМО.
27. Дайте определение и описание модели Пуассоновского потока с условным параметром.
28. Сравните рекуррентный поток и потоки Пальма и Эрланга.
29. Поясните сущность моделирования процесса обслуживания на основе цепи Маркова.
30. Какие статистические характеристики моделирования используются для анализа характеристик СМО?

31. Сформулируйте задачи, решаемые при имитационном моделировании на ЭВМ.
32. Характеристика качества обслуживания. Виды потерь.
33. Как происходит обслуживание простейшего потока вызовов при показательном законе распределения длительности занятия, поясните второе распределения Эрланга.
34. Чем вызваны условные потери сообщения в системах с ожиданием? Как определяется среднее время ожидания и средняя длина очереди?

### Практические вопросы

**Задание 1.** Среднее число вызовов, поступающих на станцию скорой помощи за один час, равно  $\lambda$ . Поток вызовов простейший. Найти:

а) математическое ожидание, дисперсию, среднее квадратическое отклонение непрерывной случайной величины  $T$  – интервала времени между двумя последовательными вызовами в потоке;

б) вероятность того, что за  $t$  минут поступит:  $m$  вызовов; менее  $m$  вызовов; не менее  $m$  вызовов.

- 1)  $\lambda = 60, \quad t = 6, \quad m = 3.$
- 2)  $\lambda = 40, \quad t = 6, \quad m = 4.$
- 3)  $\lambda = 30, \quad t = 10, \quad m = 2.$
- 4)  $\lambda = 15, \quad t = 12, \quad m = 4.$
- 5)  $\lambda = 30, \quad t = 4, \quad m = 3.$
- 6)  $\lambda = 20, \quad t = 9, \quad m = 3.$
- 7)  $\lambda = 35, \quad t = 12, \quad m = 4.$
- 8)  $\lambda = 25, \quad t = 12, \quad m = 3.$
- 9)  $\lambda = 10, \quad t = 24, \quad m = 2.$
- 10)  $\lambda = 50, \quad t = 6, \quad m = 4.$

**Задание 2.** Электронное устройство работает в ждущем режиме и переключается очередным импульсом. Поток импульсов является потоком Эрланга  $k$  – го порядка с интенсивностью  $\lambda_k$  импульсов в час. В случайный момент времени устройство включается в сеть и ждет первого очередного импульса. Найти плотность распределения вероятностей времени ожидания очередного импульса и построить ее график. Вычислить вероятность того, что устройство останется в ждущем режиме не более  $t$  минут. Ответ дать с тремя десятичными знаками.

*Указание:* плотность распределения времени ожидания первого очередного события для потока Эрланга  $k$  – го порядка имеет вид

$$f(x) = \frac{\lambda}{k} \sum_{s=0}^{k-1} \frac{(\lambda \theta)^s}{s!} e^{-\lambda \theta}, \quad \theta \geq 0,$$

где  $\lambda$  – интенсивность простейшего потока, из которого получен поток Эрланга  $k$  – го порядка.

- 1)  $k = 3, \quad \lambda_k = 2, \quad t = 10.$
- 2)  $k = 2, \quad \lambda_k = 3, \quad t = 5.$

- 3)  $k = 3, \quad \lambda_k = 1, \quad t = 6.$
- 4)  $k = 2, \quad \lambda_k = 2, \quad t = 12.$
- 5)  $k = 3, \quad \lambda_k = 3, \quad t = 15.$
- 6)  $k = 2, \quad \lambda_k = 0,5, \quad t = 10.$
- 7)  $k = 3, \quad \lambda_k = 1,5, \quad t = 5.$
- 8)  $k = 2, \quad \lambda_k = 2,5, \quad t = 20.$
- 9)  $k = 3, \quad \lambda_k = 0,5, \quad t = 12.$
- 10)  $k = 2, \quad \lambda_k = 1,5, \quad t = 15.$

**Задание 3.** Задана матрица  $P$  вероятностей перехода дискретной цепи Маркова за один шаг. Распределение вероятностей по состояниям в начальный момент определяется вектором  $\bar{q}$ . Построить размеченный граф состояний. Найти:

- 1) матрицу  $P_2$  переходов цепи за два шага;
- 2) распределение вероятностей по состояниям в конце второго шага;
- 3) вероятность пребывания цепи в третьем состоянии в конце первого шага;
- 4) стационарное распределение вероятностей.

$$1) P = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,8 \\ 0 & 0,3 & 0,7 \\ 0,6 & 0,2 & 0,2 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,7 \quad 0,2 \quad 0,1).$$

$$2) P = \begin{pmatrix} 0,3 & 0,3 & 0,4 \\ 0,3 & 0 & 0,7 \\ 0,5 & 0,5 & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,3 \quad 0,2 \quad 0,5).$$

$$3) P = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,2 & 0 \\ 0,1 & 0,6 & 0,3 \\ 0,1 & 0,4 & 0,5 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,4 \quad 0,4 \quad 0,2).$$

$$4) P = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,3 & 0,5 \\ 0 & 0,7 & 0,3 \\ 0,3 & 0,4 & 0,3 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,2 \quad 0,2 \quad 0,6).$$

$$5) P = \begin{pmatrix} 0 & 0,5 & 0,5 \\ 0,2 & 0,1 & 0,7 \\ 0,3 & 0,5 & 0,2 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,4 \quad 0,3 \quad 0,3).$$

$$6) P = \begin{pmatrix} 0,9 & 0,1 & 0 \\ 0,8 & 0,1 & 0,1 \\ 0,3 & 0,3 & 0,4 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,2 \quad 0,4 \quad 0,4).$$

$$7) P = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,2 \\ 0,4 & 0,3 & 0,3 \\ 0,2 & 0,8 & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,1 \quad 0,5 \quad 0,4).$$

$$8) P = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,2 & 0,7 \\ 0,5 & 0,2 & 0,3 \\ 0,9 & 0,1 & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,3 \ 0,1 \ 0,6).$$

$$9) P = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,1 & 0,5 \\ 0,3 & 0,7 & 0 \\ 0,2 & 0,2 & 0,6 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,9 \ 0 \ 0,1).$$

$$10) P = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,5 & 0,3 \\ 0,6 & 0 & 0,4 \\ 0 & 0,9 & 0,1 \end{pmatrix}, \quad \bar{q} = (0,1 \ 0,8 \ 0,1).$$

**Задание 4.** Задана матрица  $\Lambda$  интенсивностей переходов непрерывной цепи Маркова. Построить размеченный граф состояний. Провести классификацию состояний системы. Найти стационарное распределение вероятностей, если оно существует.

$$1) \Lambda = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & -5 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & -4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 2 & -6 & 0 & 0 \\ 9 & 0 & 0 & 7 & -16 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 3 & 0 & -14 \end{pmatrix}.$$

$$2) \Lambda = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & -3 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 5 & -6 & 0 & 0 \\ 7 & 0 & 2 & -9 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 & -4 \end{pmatrix}.$$

$$3) \Lambda = \begin{pmatrix} -3 & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -7 & 0 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -5 & 5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -4 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 8 & 9 & 3 & -20 \end{pmatrix}.$$

$$4) \Lambda = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2 & 0 & 2 & 0 \\ 7 & 0 & -13 & 6 & 0 \\ 3 & 5 & 0 & -8 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 9 & -17 \end{pmatrix}.$$

$$5) \Lambda = \begin{pmatrix} -9 & 2 & 0 & 4 & 0 & 3 \\ 0 & -10 & 3 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & -8 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

$$6) \Lambda = \begin{pmatrix} -5 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & -7 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & -2 & 0 & 0 & 0 \\ 7 & 8 & 0 & -18 & 3 & 0 \\ 0 & 2 & 3 & 0 & -16 & 11 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & -6 \end{pmatrix}.$$

$$7) \Lambda = \begin{pmatrix} -5 & 3 & 0 & 2 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & -9 & 0 & 2 \\ 0 & 5 & 0 & -5 & 0 \\ 6 & 3 & 0 & 0 & -9 \end{pmatrix}.$$

$$8) \Lambda = \begin{pmatrix} -4 & 3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -11 & 4 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & -7 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9 & 6 & -15 \end{pmatrix}.$$

$$9) \Lambda = \begin{pmatrix} -7 & 0 & 0 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & -11 & 0 & 0 & 11 & 0 \\ 0 & 0 & -5 & 2 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 5 & -5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & -11 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 7 & 0 & -7 \end{pmatrix}.$$

$$10) \Lambda = \begin{pmatrix} -9 & 7 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & -9 & 5 & 0 & 4 \\ 0 & 0 & -3 & 0 & 3 \\ 4 & 0 & 6 & -15 & 5 \\ 0 & 1 & 7 & 0 & -8 \end{pmatrix}.$$

**Задание 5.** В компьютерном зале  $l$  персональных ком-пьютеров. Зал эксплуатируется 12 часов в сутки. Интенсивность потока отказов одного компьютера равна  $\lambda$  компьютеров в сутки. Время восстановления одного компьютера одним мастером в среднем составляет  $T$  часов. Все потоки простейшие. Определить оптимальное число обслуживающих зал мастеров по ремонту, если производительность зала оценивается по формуле

$$P_{\text{зала}} = \frac{l - \bar{l}_{\text{не}}}{l} \cdot 100\%,$$

где  $l$  - число персональных компьютеров,  $\bar{l}_{\text{не}}$  - среднее число неисправных компьютеров.

*Указание:* экономически оправдан прием на работу еще одного мастера, если он обеспечивает прирост производительности зала не менее чем на 10% от номинальной.

- 1)  $l = 6, \quad \lambda = 0,2, \quad T = 36.$
- 2)  $l = 5, \quad \lambda = 0,2, \quad T = 30.$

- 3)  $l = 4, \quad \lambda = 0,2, \quad T = 24.$
- 4)  $l = 6, \quad \lambda = 0,15, \quad T = 48.$
- 5)  $l = 5, \quad \lambda = 0,3, \quad T = 20.$
- 6)  $l = 4, \quad \lambda = 0,1, \quad T = 48.$
- 7)  $l = 6, \quad \lambda = 0,3, \quad T = 24.$
- 8)  $l = 5, \quad \lambda = 0,15, \quad T = 40.$
- 9)  $l = 4, \quad \lambda = 0,16, \quad T = 30.$
- 10)  $l = 6, \quad \lambda = 0,24, \quad T = 30.$

**Задание 6.** В отделе  $k$  телефонных аппаратов. Среднее число поступающих в отдел вызовов равно  $\lambda$  вызовов в час. Входной поток простейший. Время переговоров распределено по показательному закону и в среднем составляет  $T$  минут. Определить:

- 1) вероятность отказа в переговорах;
- 2) абсолютную пропускную способность системы;
- 3) относительную пропускную способность;
- 4) среднее число занятых аппаратов;
- 5) коэффициент загрузки оборудования  $\frac{\bar{k}}{k} \cdot 100\%$ .

Как изменятся эти показатели работы системы, если в отделе добавить еще один аппарат? Сколько аппаратов необходимо добавить, чтобы отказ получали не более 10% вызовов?

- 1)  $k = 3, \quad \lambda = 20, \quad T = 10.$
- 2)  $k = 2, \quad \lambda = 15, \quad T = 12.$
- 3)  $k = 2, \quad \lambda = 8, \quad T = 15.$
- 4)  $k = 3, \quad \lambda = 10, \quad T = 18.$
- 5)  $k = 2, \quad \lambda = 5, \quad T = 24.$
- 6)  $k = 4, \quad \lambda = 24, \quad T = 10.$
- 7)  $k = 3, \quad \lambda = 15, \quad T = 12.$
- 8)  $k = 4, \quad \lambda = 30, \quad T = 12.$
- 9)  $k = 2, \quad \lambda = 10, \quad T = 18.$
- 10)  $k = 3, \quad \lambda = 25, \quad T = 6.$

**Задание 7.** Разработчик СМО располагает двумя каналами обслуживания. Интенсивность обслуживания одним каналом  $\mu$  заявок в час. Время обслуживания распределено по показательному закону. Входящий поток заявок простейший с интенсивностью  $\lambda$  заявок в час. Возможны два варианта проекта: вариант 1 – две независимо работающих одноканальных безотказных СМО(  $1; \infty; \lambda/2; \mu$  ); вариант 2 – одна двухканальная безотказная СМО(  $2; \infty; \lambda; \mu$  ). Провести сравнительный анализ вариантов по следующим показателям эффективности: среднее число занятых каналов; средняя длина очереди; среднее время пребывания заявки в системе.

Провести аналогичный сравнительный анализ в том случае, если при тех же условиях разработчик располагает средствами для организации  $m$  мест в очереди для ожидания обслуживания. Рассмотреть два варианта:

вариант 1 – две независимо работающих одноканальных СМО( 1;  $m/2$  ;  $\lambda/2$  ;  $\mu$  ) ; вариант 2 – одна двухканальная СМО( 2 ;  $m$  ;  $\lambda$  ;  $\mu$  ) .

*Указание:* всюду вектор  $(a_1; a_2; a_3; a_4)$  имеет компоненты:  $a_1$  – число каналов обслуживания;  $a_2$  – число мест в очереди;  $a_3$  – интенсивность входного потока;  $a_4$  – интенсивность потока обслуживания.

- 1)  $\lambda = 8$  ,  $\mu = 5$  ,  $m = 6$  .
- 2)  $\lambda = 6$  ,  $\mu = 5$  ,  $m = 4$  .
- 3)  $\lambda = 6$  ,  $\mu = 4$  ,  $m = 6$  .
- 4)  $\lambda = 8$  ,  $\mu = 7$  ,  $m = 4$  .
- 5)  $\lambda = 10$  ,  $\mu = 6$  ,  $m = 6$  .
- 6)  $\lambda = 10$  ,  $\mu = 7$  ,  $m = 4$  .
- 7)  $\lambda = 8$  ,  $\mu = 6$  ,  $m = 4$  .
- 8)  $\lambda = 12$  ,  $\mu = 7$  ,  $m = 6$  .
- 9)  $\lambda = 4$  ,  $\mu = 3$  ,  $m = 4$  .
- 10)  $\lambda = 10$  ,  $\mu = 8$  ,  $m = 4$  .

**Задание 8.** В двухканальную систему массового обслуживания (СМО) с отказами поступает стационарный пуассоновский поток заявок с интенсивностью  $\lambda$  заявок в минуту. Длительность обслуживания каждой заявки равна  $(0,5 + \tau_i)$  минут, где  $\tau_i$  – непрерывная случайная величина, закон распределения которой неизвестен. Статистическое распределение выборки  $\{\tau_i\}$  объема  $n = 100$  имеет вид

Вновь заявка свободный	$\tau_i, \text{мин}$	[0; 0,1)	[0,1; 0,2)	[0,2; 0,3)	[0,3; 0,4)	[0,4; 0,5)	прибывшая занимает канал с
	$n_i$	10	25	35	15	15	

меньшим номером. При занятости всех каналов заявка покидает СМО необслуженной. Требуется: 1) построить эмпирическую функцию распределения случайной величины  $\tau_i$ ; 2) методом обратных функций смоделировать входящий поток и поток обслуживания; 3) смоделировать работу СМО методом Монте-Карло; 4) по результатам трех испытаний найти среднее число обслуженных заявок за время  $T$ ; 5) к одному из испытаний (любому) построить временные диаграммы работы СМО.

*Указание:* воспользоваться таблицей случайных чисел, приведенной на стр. 24 – 25. В числовых данных задачи:  $i$  – номер строки,  $j$  – номер столбца для первого случайного числа  $r_{ij}$ . Выбор случайных чисел проводить по строкам, начиная с числа  $r_{ij}$ , без пропусков и вставок.

- 1)  $\lambda = 2$  ,  $T = 5$  ,  $i = 1$  ,  $j = 2$  .
- 2)  $\lambda = 3$  ,  $T = 4$  ,  $i = 2$  ,  $j = 4$  .
- 3)  $\lambda = 4$  ,  $T = 3$  ,  $i = 3$  ,  $j = 6$  .
- 4)  $\lambda = 5$  ,  $T = 3$  ,  $i = 4$  ,  $j = 8$  .
- 5)  $\lambda = 2$  ,  $T = 6$  ,  $i = 5$  ,  $j = 10$  .
- 6)  $\lambda = 3$  ,  $T = 5$  ,  $i = 6$  ,  $j = 12$  .
- 7)  $\lambda = 4$  ,  $T = 4$  ,  $i = 7$  ,  $j = 14$  .



- 8)  $\lambda = 5$ ,  $T = 4$ ,  $i = 8$ ,  $j = 16$ .  
 9)  $\lambda = 2$ ,  $T = 4$ ,  $i = 9$ ,  $j = 18$ .  
 10)  $\lambda = 3$ ,  $T = 3$ ,  $i = 10$ ,  $j = 20$ .

### Тестовые задания по дисциплине

1. Модель объекта это...
  - 1) предмет похожий на объект моделирования
  - 2) объект заместитель, который учитывает свойства объекта, необходимые для достижения цели
  - 3) копия объекта
  - 4) шаблон, по которому можно произвести точную копию объекта
  
2. Основная функция модели это:
  - 1) Получить информацию о моделируемом объекте
  - 2) Отобразить некоторые характеристические признаки объекта
  - 3) Получить информацию о моделируемом объекте или отобразить некоторые характеристические признаки объекта
  - 4) Воспроизвести физическую форму объекта
  
3. Математические модели относятся к классу...
  - 1) Изобразительных моделей
  - 2) Прагматических моделей
  - 3) Познавательных моделей
  - 4) Символических моделей
  
4. Математической моделью объекта называют
  - 1) Описание объекта математическими средствами, позволяющее выводить суждение о некоторых его свойствах при помощи формальных процедур
  - 2) Любую символическую модель, содержащую математические символы
  - 3) Представление свойств объекта только в числовом виде
  - 4) Любую формализованную модель
  
5. Методами математического моделирования являются ...
  - 1) Аналитический
  - 2) Числовой
  - 3) Аксиоматический и конструктивный!!
  - 4) Имитационный
  
6. Какая форма математической модели отображает предписание последовательности некоторой системы операций над исходными данными с целью получения результата:
  - 1) Аналитическая

- 2)Графическая
- 3)Цифровая
- 4)Алгоритмическая

7.Объект, состоящий из вершин и ребер, которые между собой находятся в некотором отношении, называют...

- 1)Системой
- 2)Чертежом
- 3)Структурой объекта
- 4)Графом

8.Эффективность математической модели определяется ...

- 1)Оценкой точности модели
- 2)Функцией эффективности модели
- 3)Соотношением цены и качества
- 4)Простотой модели

9.Адекватность математической модели и объекта это...

- 1)правильность отображения в модели свойств объекта в той мере, которая необходима для достижения цели моделирования
- 2)Полнота отображения объекта моделирования
- 3)Количество информации об объекте, получаемое в процессе моделирования
- 4)Объективность результата моделирования

10.Состояние объекта определяется ...

- 1) Количеством информации, полученной в фиксированный момент времени
- 2)Множеством свойств, характеризующим объект в фиксированный момент времени относительно заданной цели
- 3) Только физическими данными об объекте
- 4) Параметрами окружающей среды

11.Изменение состояния объекта отображается в виде...

- 1)Статической модели
- 2)Детерминированной модели
- 3)Динамической модели
- 4)Стохастической модели

12.Фазовое пространство определяется ...

- 1)Множеством состояний объекта, в котором каждое состояние определяется точкой с координатами эквивалентными свойствам объекта в фиксированный момент времени
- 2)Координатами свойств объекта в фиксированный момент времени
- 3)Двумерным пространством с координатами  $x, y$

#### 4)Линейным пространством

#### 13.Фазовая траектория это

- 1)Вектор в полярной системе координат
- 2)След от перемещения фазовой точки в фазовом пространстве
- 3)Монотонно убывающая функция
- 4)Синусоидальная кривая с равными амплитудами и частотой

#### 14.Точка бифуркации это...

- 1)Точка фазовой траектории, характеризующая изменение состояния объекта
- 2)Точка на траектории, характеризующая состояние покоя
- 3)Точка фазовой траектории, предшествующая резкому изменению состояния объекта
- 4)Точка равновесия

#### 15.Декомпозиция это ...

- 1)Процедура разложения целого на части с целью описания объекта
- 2)Процедура объединения частей объекта в целое
- 3)Процедура изменения структуры объекта
- 4)Процедура сортировки частей объекта

#### 16.Установление равновесия между простотой модели и качеством отображения объекта называется...

- 1)Дискретизацией модели
- 2)Алгоритмизацией модели
- 3)Линеаризацией модели
- 4)Идеализацией модели

#### 17.Имитационное моделирование ...

- 1)Воспроизводит функционирование объекта в пространстве и времени
- 2)Моделирование, в котором реализуется модель, производящая процесс функционирования системы во времени, а также имитируются элементарные явления, составляющие процесс
- 3)Моделирование, воспроизводящее только физические процессы
- 4)Моделирование, в котором реальные свойства объекта заменены объектами – аналогами

#### 18.Планирование эксперимента необходимо для...

- 1)Точного предписания действий в процессе моделирования
- 2)Выбора числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью
- 3)Выполнения плана экспериментирования на модели
- 4)Сокращения числа опытов

19. Модель детерминированная ...

- 1) Матрица, детерминант которой равен единице
- 2) Объективная закономерная взаимосвязь и причинная обусловленность событий. В модели не допускаются случайные события
- 3) Модель, в которой все события, в том числе, случайные ранжированы по значимости
- 4) Система непредвиденных, случайных событий

20. Дискретизация модели это процедура...

- 1) Отображения состояний объекта в заданные моменты времени
- 2) Процедура, которая состоит в преобразовании непрерывной информации в дискретную
- 3) Процедура разделения целого на части
- 4) Приведения динамического процесса к множеству статических состояний объекта

21. Свойство, при котором модели могут быть полностью или частично использоваться при создании других моделей

- 1) Универсальностью
- 2) Неопределенностью
- 3) Неизвестностью
- 4) Случайностью

22. Непрерывно-детерминированные схемы моделирования определяют...

- 1) Математическое описание системы с помощью непрерывных функций с учётом случайных факторов
- 2) Математическое описание системы с помощью непрерывных функций без учёта случайных факторов
- 3) Математическое описание системы с помощью функций непрерывных во времени
- 4) Математическое описание системы с помощью дискретно-непрерывных функций

23. Погрешность математической модели связана с ...

- 1) Несоответствием физической реальности, так как абсолютная истина недостижима
- 2) Неадекватностью модели
- 3) Неэкономичностью модели
- 4) Неэффективностью модели

## 14. Образовательные технологии

Реализация компетентностного подхода предусматривает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

В учебном процессе при изучении дисциплины используются следующие формы проведения занятий:

- лекции с изложением определений основных понятий, изучаемых в рамках дисциплины, подробным описанием и доказательством наиболее важных свойств этих понятий и их взаимосвязей друг с другом;
- лабораторные занятия с подробным изучением основных свойств понятий, изучаемых в рамках дисциплины, выяснением их взаимосвязей друг с другом в примерах и практических задачах;
- индивидуальные и коллективные консультации с активным участием обучающихся по наиболее сложным частям теоретического материала дисциплины;
- самостоятельная работа по выполнению заданий по основным разделам дисциплины;
- подготовка докладов на семинарских занятиях.

## 15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учеб. пособие / Н. В. Голубева. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. - 192 с. (25 экз.)

2. Павлов, С. П. Системный анализ и математические модели принятия решений : учеб. пособие для студ. всех спец. и напр. / С. П. Павлов, А. Б. Перегудов ; М-во образования и науки РФ, Саратовский гос. техн. ун-т. - Саратов : СГТУ, 2013. - 128 с. (51 экз.)

3. Поршнев, С. В. Компьютерное моделирование физических систем с использованием пакета MathCAD : учеб. пособие / С. В. Поршнев. - 2-е изд., доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - 320 с. (20 экз.)

4. Шелухин, О. И. Моделирование информационных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / Шелухин О. И. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2012. - 536 с. - ISBN 978-5-9912-0193-3 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12002>

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. Баркалов, С. А. Исследование систем организационного управления на основе имитационных моделей [Текст] : монография / Баркалов С. А. - Саратов : Вузовское образование, 2015. - 459 с. - Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/29262>

6. Болдин, А. П. Основы научных исследований [Текст] : учебник / А. П. Болдин, В. А. Максимов. - М. : ИЦ "Академия", 2012. - 336 с. (5 экз.)

7. Журавлева, Т. Ю. Практикум по дисциплине «Имитационное моделирование» [Текст] / Журавлева Т. Ю. - Саратов : Вузовское образование, 2015. - 35 с. - Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.

Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/27380>

## ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

8. Автоматизация и современные технологии : межотрасл. науч.-техн. журн. - М. : ОАО "Машиностроение"

9. Математическое моделирование : РАН. - М. : Наука

10. Мехатроника, автоматизация, управление : теорет. и прикл. науч.-техн. журн. - М. : Новые технологии.

## ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

11. [http://model.exponenta.ru/lectures/sml\\_01.htm](http://model.exponenta.ru/lectures/sml_01.htm) - Введение в дисциплину "Основы моделирования систем"

12. [www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru) – Образовательный математический сайт

13. Казиев В.М. Введение в системный анализ и моделирование Режим доступа: <http://bigc.ru/theory/books/kvisam/glava4.php> Дата обращения: 14.09.2014

## ИСТОЧНИКИ ИОС

14. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Системы и сети массового обслуживания» – Режим доступа: <https://portal3.sstu.ru/Facult/INETM/ST/09.04.01/m.1.2.3/>

## 16. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходима типовая учебная аудитория, оснащенная доской, компьютером и проектором.

Для проведения лабораторных занятий необходим типовой компьютерный класс, имеющий доступ к Интернету и оснащенный установленным программным обеспечением Microsoft Office, Acrobat Reader, Internet Explorer, Borland Turbo Delphi, Java DB 10.4.1.3, Lazarus 0.9.24, Microsoft Visual C# 2005 Express Edition , Microsoft Visual C++ 2005 ATL Update kb973923, Microsoft Visual C++ 2005 Express Edition, Microsoft Visual C++ 2005 Redistributable, Microsoft Visual J# .NET Redistributable Package 1.1, Microsoft Visual J# 2.0, Microsoft Visual J# 2005, NetBeans IDE 6.5, scilab-5.0.3

Для выполнения самостоятельной работы студенты могут воспользоваться компьютерными классами кафедры, имеющими доступ к электронно-библиотечной системе, электронной библиотеке университета и электронной информационно-образовательной среде.