

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Экономический факультет  
Кафедра экономической кибернетики и прикладной статистики

УТВЕРЖДАЮ:  
Дека́н экономического факультета  
Тхор Е.С.  
« 24 »  2023 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ»**

По направлению подготовки 38.04.05 Бизнес-информатика  
Программа магистратуры: «Бизнес-аналитика»

Луганск - 2023

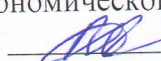
## Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Системно-динамическое моделирование» по направлению подготовки 38.04.05 Бизнес-информатика. – 30 с.


Рабочая программа учебной дисциплины «Системно-динамическое моделирование» составлена с учетом Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 38.04.05 Бизнес-информатика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 12 августа 2020 года № 990.

СОСТАВИТЕЛЬ (СОСТАВИТЕЛИ):  
к.т.н., доцент Велигура А.В.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры экономической кибернетики и прикладной статистики «18» 04 2023 г., протокол № 26

Заведующий кафедрой экономической кибернетики  
и прикладной статистики  А.В. Велигура

Переутверждена: «  »    20   г., протокол №   

Согласована (для обеспечивающей кафедры):  
Декан экономического факультета  Тхор Е.С.

Переутверждена: «  »    20   года, протокол №   

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии экономического факультета «21» апреле 2023 г., протокол № 4.

Председатель учебно-методической  
комиссии экономического факультета  Е.Н. Шаповалова

## **1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе**

Системно-динамическое моделирование – это метод исследования систем, основанный на создании компьютерной модели, воспроизводящей структуру и процессы функционирования реальной системы, а также на проведении вычислительных экспериментов на этой модели. Важными особенностями системно-динамического моделирования является динамическое описание процессов, а также, в основном, алгоритмический подход к описанию поведения системы, существенно расширяющий выразительную способность и области применения метода по сравнению с математическим описанием. Системно-динамическое моделирование – междисциплинарная, интегративная деятельность. Моделирование систем основано на применении профессиональных знаний в предметной области менеджмента и логистики, системного анализа, методов исследования операций, основ программирования, основ статистической обработки наблюдений. Это сложная деятельность, требующая от студентов значительных усилий, но именно она замыкает контур обратной связи в обучении, активизирует знания, «проверяет на прочность» ментальные модели будущих бизнес-информатиков. Имитационная модель позволяет визуализировать и измерить процессы в моделируемой системе; проверять, как на практике работают изученные в профессиональных дисциплинах методы и концепции, а главное – позволяет понять, как функционируют сложные организационные и логистические системы.

**Цель** курса – изучение метода и технологии системно-динамического моделирования в приложении к задачам исследования социально-экономических систем различной сложности.

В курсе рассматриваются сущность метода имитационного моделирования, базовые концепции имитационного моделирования (процессный, системная-динамика, агентное моделирование), технология и инструменты имитационного моделирования, а также применение имитационного моделирования в прикладных задачах моделирования социально-экономических систем. В рамках курса предусмотрен компьютерный практикум, направленный на освоение студентами системы имитационного моделирования Anylogic.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО. Требования к результатам освоения содержания дисциплины**

Дисциплина «Системно-динамическое моделирование» относится к обязательной части цикла дисциплин.

Для успешного завершения курса студенты должны владеть знаниями по основам логистики и управления цепями поставок, основам теории вероятностей и математической статистики, экономико-математическим методам в логистике, системному анализу, а также по выбранной для проекта области логистической деятельности (логистика производства, складирования, логистика распределения, управление запасами, управление цепями поставок).

Полученные знания и навыки студенты могут применить как при выполнении диссертационного исследования, так и при решении прикладных профессиональных задач, работая в отделе логистики компании или консалтинговой фирме.

Дисциплина основывается на базе дисциплин предыдущего уровня образования и является логическим продолжением содержания дисциплин профессионального цикла, является основой для изучения следующих дисциплин: «Бизнес-анализ», «Математические методы и модели рыночной экономики», «Управление бизнес-процессами».

### 3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ОПК-1 Способен разрабатывать стратегию развития информационных технологий инфраструктуры предприятия и управлять ее реализацией	ОПК-1.3. Обладает навыками разработки ИТ-стратегии предприятия	<b>Знать:</b> Методы и технологии разработки системно-динамических моделей экономических систем
		<b>Уметь:</b> анализировать результаты моделирования экономических систем с помощью системной динамики
		<b>Владеть:</b> Инструментальными средствами разработки системно-динамических моделей

### 4. Структура и содержание дисциплины

#### 4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
<b>Общая учебная нагрузка (всего)</b>	<b>108</b> (3 зач. ед)	<b>108</b> (3 зач. ед)
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:</b>	<b>42</b>	<b>12</b>
Лекции	14	4
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	-	-
Лабораторные работы	28	8
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса ( <i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i> )	-	-
<b>Самостоятельная работа студента (всего)</b>	<b>66</b>	<b>96</b>
Форма аттестации	зачет с оценкой	зачет с оценкой

## **4.2. Содержание разделов дисциплины**

### ***Тема 1. ПОНЯТИЕ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ***

Сложная система, как объект моделирования. Общая классификация основных видов моделирования. Компьютерное моделирование.

### ***Тема 2. СУЩНОСТЬ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***

Метод имитационного моделирования и его особенности. Представление структуры и динамики моделируемой системы в имитационной модели. Дискретные и непрерывные имитационные модели. Возможности, области применения имитационного моделирования.

### ***Тема 3. БАЗОВЫЕ ПОДХОДЫ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ***

Процессно-ориентированные дискретные имитационные модели: системы массового обслуживания, базовые объекты в процессных моделях – заявки, серверы, очереди. События и модельное время. Сбор и анализ статистической информации по результатам имитационного эксперимента с дискретными моделями. Модели системной динамики: парадигма системной динамики, языки диаграмм причинно-следственных связей и потоковых диаграмм. Агентное моделирование. Парадигма и принципы построения агентных моделей.

### ***Тема 4. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***

Формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования. Разработка концептуальной модели. Формализация и компьютерная реализация имитационной модели. Сбор и анализ исходных данных. Испытание и исследование свойств имитационной модели. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели. Анализ результатов моделирования и принятие решений.

### ***Тема 5. ИСПЫТАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ***

Комплексный подход к тестированию имитационной модели. Проверка адекватности модели. Верификация имитационной модели. Оценка точности результатов моделирования. Оценка устойчивости результатов моделирования. Анализ чувствительности имитационной модели.

### ***Тема 6. ИМИТАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ***

Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели. Основные цели и типы вычислительных экспериментов в имитационном моделировании. Оптимизация в имитационном эксперименте.

### ***Тема 7. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ***

Назначение языков и систем моделирования. Классификация языков и систем моделирования, их основные характеристики. Технологические возможности современных систем моделирования. Выбор системы моделирования. Компьютерный практикум по разработке имитационных моделей в Anylogic.

### ***Тема 8. ПРИЛОЖЕНИЯ ПРОЦЕССНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЛОГИСТИКЕ И УПРАВЛЕНИИ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК***

Приложения процессного имитационного моделирования. Анализ и оптимизация бизнес-процессов с использованием имитационных моделей. Имитационное моделирование в логистике производства. Цифровое производство. Комплексный подход к управлению запасами и материальными потоками на предприятии с использованием инструментов имитационного моделирования. Проектирование и инжиниринг складских систем с применением технологий имитационного моделирования. Применение имитационного моделирования в задачах стратегического, тактического и оперативного планирования цепи поставок. Имитационное моделирование в функциональной области логистики складирования. Имитационное моделирование в функциональной области логистики распределения. Имитационное моделирование мультимодальных транспортных систем. Моделирование деятельности цепи поставок на стратегическом, тактическом и операционном уровне. Комплексный подход к постановке и решению задачи оптимизации цепи поставок.

### ***Тема 9. ПРИЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ В СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ И ЦЕПЬЮ ПОСТАВОК***

Дж. Форрестер и его фундаментальная работа «Индустриальная динамика» - системно-динамическая модель цепи поставок предприятия. Структура, базовые потоки динамической модели предприятия. Пример производственно-сбытовой системы: организационная структура и диаграмма потоков и уровней. Реакция и колебания производственно-сбытовой системы. Системно-динамическая имитационная модель цепи поставок производственной компании. Применение системно-динамического имитационного моделирования при разработке стратегии бизнеса. Механизмы корпоративного роста в работах Стермана. Стратегическая архитектура и теория динамической стратегии по Уоррену. Динамическая система сбалансированных показателей. Расширение области применения

динамических моделей в корпоративном управлении. От системного мышления менеджеров – к реализации корпоративных аналитических приложений на основе имитационных моделей. Применение системной динамики в сфере управленческого консалтинга и стратегического менеджмента. Разработка методик управленческого консалтинга. Шаблоны корпоративных решений на основе системно-динамического моделирования: стратегическая архитектура и корпоративная динамика предприятия. Когнитивные карты менеджеров. Управленческий консалтинг и системное мышление. Инвестиционное планирование и управление проектами. Управление производственной программой. Комплексное управление логистическими процессами на предприятии. Управление сбытовой сетью. Формирование логистической стратегии. Анализ динамики рынка. Моделирование, анализ и реинжиниринг бизнес-процессов.

### ***Тема 10. МНОГОАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ ЭКОНОМИКА***

Практическое применение многоагентных моделей и систем в сфере экономики и управления. Потребительские рынки и модели поведения клиентов. Агентно-ориентированные модели в сфере логистики, координация участников цепи поставок и стратегии сотрудничества. Агентные модели конкуренции.

#### **4.3. Лекции**

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Понятие сложной системы. Моделирование систем	1	1
2	Сущность метода имитационного моделирования	1	
3	Базовые подходы в имитационном моделировании	1	1
4	Основные этапы имитационного моделирования	1	
5	Испытание и исследование свойств имитационной модели	1	1
6	Имитационный эксперимент	1	
7	Инструментальные средства автоматизации моделирования	2	1
8	Приложения процессного имитационного моделирования в логистике и управлении цепями поставок	2	
9	Приложения системной динамики в стратегическом управлении предприятием и цепью поставок	2	
10	Многоагентное имитационное моделирование и поведенческая экономика	2	
<b>Итого:</b>		<b>14</b>	<b>4</b>

#### **4.4. Практические (семинарские) занятия** Учебным планом не предусмотрено.

#### 4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Понятие сложной системы. Моделирование систем	3	1
2	Сущность метода имитационного моделирования	3	1
3	Базовые подходы в имитационном моделировании	3	1
4	Основные этапы имитационного моделирования	3	1
5	Испытание и исследование свойств имитационной модели	3	1
6	Имитационный эксперимент	3	1
7	Инструментальные средства автоматизации моделирования	3	1
8	Приложения процессного имитационного моделирования в логистике и управлении цепями поставок	3	1
9	Приложения системной динамики в стратегическом управлении предприятием и цепью поставок	2	
10	Многоагентное имитационное моделирование и поведенческая экономика	2	
<b>Итого:</b>		<b>28</b>	<b>8</b>

#### 4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Понятие сложной системы. Моделирование систем	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
2	Сущность метода имитационного моделирования	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
3	Базовые подходы в имитационном моделировании	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
4	Основные этапы имитационного моделирования	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
5	Испытание и исследование свойств имитационной модели	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
6	Имитационный эксперимент	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
7	Инструментальные средства автоматизации моделирования	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9
8	Приложения процессного имитационного моделирования в логистике и	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	6	9



	управлении цепями поставок			
9	Приложения системной динамики в стратегическом управлении предприятием и цепью поставок	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	8	10
10	Многоагентное имитационное моделирование и поведенческая экономика	Подготовка к практическим занятиям, к текущему и промежуточному контролю знаний и умений.	8	10
11	Зачет с оценкой	Подготовка к зачету	4	4
<b>Итого:</b>			<b>66</b>	<b>96</b>

#### **4.7. Курсовые работы.**

Учебным планом не предусмотрены

#### **5. Образовательные технологии**

Формами обучения являются лекционные занятия, компьютерный практикум, предполагающий аудиторную и самостоятельную работу, анализ кейсов применения имитационного моделирования для решения логистических задач, деловые имитационные игры (из консультационной практики, промышленные прототипы, материалы конференций ИММОД, WinterSim, международного общества системной динамики). В рамках дисциплины студенты выполняют проект, предполагающий решение задачи в самостоятельно выбранной области логистики с использованием метода имитационного моделирования.

Используемая в педагогическом процессе образовательная технология ориентирована на сформулированные в п.2 цели освоения дисциплины. Она интегрирует методы традиционного обучения и активной работы студентов во время практических занятий с применением деловых имитационных игр, информационных систем моделирования и анализа логистических бизнес-процессов, формирует навыки проектной коллективной деятельности.

Мониторинг качества усвоения учебного материала осуществляется в процессе каждого учебного занятия.

Практические занятия проводятся в компьютерных классах с обеспечением доступа каждого обучаемого к специализированному программному обеспечению для выполнения работы.

#### **6. Формы контроля освоения дисциплины**

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем(ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- собеседование (устный или письменный опрос);
- расчетно-графическая работа;

творческое задание.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, расчетно-графические работы, тесты, защиту курсовой работы и методы контроля, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Форма аттестации по результатам освоения дисциплины проходит в форме письменного/устного зачета с оценкой (включает в себя ответ на теоретические вопросы и решение задач) либо в сочетании различных форм (компьютерного тестирования, решения задач и пр.), защиты курсовой работы. Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой отличной оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

### **а) основная литература:**

1. Лисяк Н.К., Моделирование систем. Часть 1: учебное пособие / Лисяк Н. К. - Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2017. - 106 с. - Текст: электронный //

ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927525041.html>.

2. Велигура А.В., Попова Н.Н. Системная динамика экономических систем: учеб. пособие. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2017. – 376 с.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Мезенцев К.Н. Практикум «Моделирование систем в среде AnyLogic 6.4.1» [Электронный ресурс] ([https://www.anylogic.ru/upload/Books\\_ru/Mezenczev\\_Systems\\_Simulation\\_In\\_AnyLogic\\_6\\_\(Part\\_1\).pdf](https://www.anylogic.ru/upload/Books_ru/Mezenczev_Systems_Simulation_In_AnyLogic_6_(Part_1).pdf)).

2. А.В. Духанов, О.Н. Медведева. Имитационное моделирование сложных систем Курс лекций. Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. – 107 с. [Электронный ресурс] (<http://85.142.151.31/bitstream/123456789/1855/3/00738.pdf>).

3. Бунцев И.А., Создание и реализация имитационных моделей в программной среде AnyLogic. Учебное пособие для вузов. / Бунцев И.А. - М.: Горячая линия - Телеком, 2016. - 154 с. - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991204873.html>.

4. Мичасова О.В. Имитационное моделирование экономических систем: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 186 с. [Электронный ресурс] ([http://www.lib.unn.ru/students/src/SIM\\_EC\\_SYS.pdf](http://www.lib.unn.ru/students/src/SIM_EC_SYS.pdf)).

#### **в) методические рекомендации**

1. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» тема «Модель распространения продукта по Басу» для студентов, обучающихся по специальности «Экономическая кибернетика» / сост. Н.Н. Попова, А.В. Велигура. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2015. - 39 с.

2. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» тема «Моделирование стратегии рекламной компании» для студентов, обучающихся по специальности «Экономическая кибернетика» / сост. Н.Н. Попова, А.В. Велигура. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2015. - 16 с.

3. Методические указания к выполнению практического занятия №4 по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» на тему «Модель Солоу» (для студентов специальности «Бизнес-информатика»). Утверждено на заседании кафедры «Экономическая кибернетика и прикладная статистика» / сост. А.В. Велигура. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2016. - 18 с.

4. Методические указания к выполнению практического занятия №6 по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» на тему «Модель старения населения» (для студентов специальности «Бизнес-информатика»). Утверждено на заседании кафедры «Экономическая кибернетика и

прикладная статистика» / сост. А.В. Велигура. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2016. - 19 с.

5. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» для студентов направления подготовки/специальности «38.03.05 - Бизнес-информатика. Информационная бизнес-аналитика». Занятие 8. Моделирование процесса распространения эпидемии / сост. А.В. Велигура. - Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. - 31 с.

6. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» (для студентов направления подготовки 38.04.05 - Бизнес-информатика). Утверждено на заседании кафедры «Экономическая кибернетика и прикладная статистика» / сост. А.В. Велигура. - Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. - 26 с.

7. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Системно-динамическое моделирование» (для студентов направления подготовки 38.04.05 - Бизнес-информатика). Утверждено на заседании кафедры «Экономическая кибернетика и прикладная статистика» / сост. А.В. Велигура. - Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. - 31 с.

#### **г) Интернет-ресурсы:**

1. Министерство образования и науки Российской Федерации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/>

2. Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://obrnadzor.gov.ru/>

3. Министерство образования и науки Луганской Народной Республики [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://minobr.su>

4. Народный совет Луганской Народной Республики [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://nslnr.su>

5. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fgosvo.ru>

6. Федеральный портал «Российское образование» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.edu.ru/>

7. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://window.edu.ru/>

8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fcior.edu.ru/>

9. Электронно-библиотечная система «Консультант студента» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

10. Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.studmed.ru>

11. Научная библиотека имени А. Н. Коняева [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://biblio.dahluniver.ru/>

12. Официальный сайт Any Logic - <http://www.any-logic.com>

13. Электронная библиотека по техническим наукам -  
<http://techlibrary.ru>

## **8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины**

Лекционная аудитория оснащена мультимедийными средствами проведения презентаций, показа видеофильмов, бизнес-кейсов, демонстрации и проведения деловых имитационных игр, принятия контрольной (проектной) работы.

В специализированном компьютерном классе для проведения практических занятий установлена система моделирования AnyLogic, развернута информационная система для демонстрации прототипов, референтных моделей анализа функционирования логистических систем (производство, склад и др.) и цепей поставок и другие, в том числе, офисные программные продукты для проведения дополнительных аналитических расчетов.

Программное обеспечение:

<b>Функциональное назначение</b>	<b>Бесплатное программное обеспечение</b>	<b>Ссылки</b>
Офисный пакет	OpenOffice 4.3.7	<a href="https://www.openoffice.org/">https://www.openoffice.org/</a>
Операционная система	UBUNTU 19.04	<a href="https://ubuntu.com/">https://ubuntu.com/</a>
Браузер	Firefox Mozilla	<a href="http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx">http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx</a>
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	<a href="http://www.gimp.org/">http://www.gimp.org/</a> <a href="http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8">http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8</a> <a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP">http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP</a>
Редактор PDF	Adobe Acrobat Reader	<a href="https://get.adobe.com/ru/reader/">https://get.adobe.com/ru/reader/</a>
Аудиоплеер	VLC	<a href="http://www.videolan.org/vlc/">http://www.videolan.org/vlc/</a>
Программное обеспечение для имитационного моделирования	AnyLogic Personal Learning Edition	<a href="https://www.anylogic.com/downloads/personal-learning-edition-download/">https://www.anylogic.com/downloads/personal-learning-edition-download/</a>

## 9. Оценочные средства по дисциплине

### Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине Системно-динамическое моделирование

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1.	ОПК-1	Способен разрабатывать стратегию развития информационных технологий инфраструктуры предприятия и управлять ее реализацией	ОПК-1.3.	Тема 1. Тема 2. Тема 3. Тема 4. Тема 5. Тема 6. Тема 7. Тема 8. Тема 9. Тема 10	2

### Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины (модуля), практики	Наименование оценочного средства <sup>2</sup>
1	ОПК-1	ОПК-1.3	Знать: Методы и технологии разработки системно-динамических моделей экономических систем Уметь: анализировать результаты моделирования экономических систем с помощью системной динамики Владеть: Инструментальными	Тема 1. Тема 2. Тема 3. Тема 4. Тема 5. Тема 6. Тема 7. Тема 8. Тема 9. Тема 10	Собеседование (устный или письменный опрос), расчетно-графическая работа, творческое задание

			средствами разработки си темно- динамических моделей		
--	--	--	---	--	--

**Перечень вопросов по темам дисциплины  
«Системно-динамическое моделирование»  
(для проведения собеседования (устный или письменный опрос))**

Каждому студенту выдается свой собственный, сформулированный вопрос. Ответ должен быть четким и кратким, содержащим все основные характеристики описываемого понятия, области, категории.

Устные опросы проводятся во время практических занятий и возможны при проведении зачета в качестве дополнительного испытания при недостаточности результатов тестирования и решения задачи.

Письменный блиц-опрос проводится без предупреждения, что стимулирует обучающихся к систематической подготовке к занятиям.

При оценке опросов анализу подлежит точность формулировок, связность изложения материала, обоснованность суждений.

**Тема 1.** Понятие сложной системы. Моделирование систем

1. Сложная система, как объект моделирования.
2. Общая классификация основных видов моделирования.
3. Компьютерное моделирование.

**Тема 2.** Сущность метода имитационного моделирования

1. Метод имитационного моделирования и его особенности.
2. Представление структуры и динамики моделируемой системы в имитационной модели.
3. Дискретные и непрерывные имитационные модели.
4. Возможности, области применения имитационного моделирования.

**Тема 3.** Базовые подходы в имитационном моделировании

1. Процессно-ориентированные дискретные имитационные модели: системы массового обслуживания, базовые объекты в процессных моделях – заявки, серверы, очереди.
2. События и модельное время.
3. Сбор и анализ статистической информации по результатам имитационного эксперимента с дискретными моделями.
4. Модели системной динамики: парадигма системной динамики, языки диаграмм причинно-следственных связей и потоковых диаграмм.

5. Агентное моделирование.
6. Парадигма и принципы построения агентных моделей.

**Тема 4.** Основные этапы имитационного моделирования

1. Формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования.
2. Разработка концептуальной модели.
3. Формализация и компьютерная реализация имитационной модели.
4. Сбор и анализ исходных данных.
5. Испытание и исследование свойств имитационной модели.
6. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.
7. Анализ результатов моделирования и принятие решений.

**Тема 5.** Испытание и исследование свойств имитационной модели

1. Комплексный подход к тестированию имитационной модели.
2. Проверка адекватности модели.
3. Верификация имитационной модели.
4. Оценка точности результатов моделирования.
5. Оценка устойчивости результатов моделирования.
6. Анализ чувствительности имитационной модели.

**Тема 6.** Имитационный эксперимент

1. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.
2. Основные цели и типы вычислительных экспериментов в имитационном моделировании.
3. Оптимизация в имитационном эксперименте.

**Тема 7.** Инструментальные средства автоматизации моделирования

1. Назначение языков и систем моделирования.
2. Классификация языков и систем моделирования, их основные характеристики.
3. Технологические возможности современных систем моделирования.
4. Выбор системы моделирования.

**Тема 8.** Приложения процессного имитационного моделирования в логистике и управлении цепями поставок

1. Приложения процессного имитационного моделирования.



2. Анализ и оптимизация бизнес-процессов с использованием имитационных моделей.
3. Имитационное моделирование в логистике производства.
4. Цифровое производство.
5. Комплексный подход к управлению запасами и материальными потоками на предприятии с использованием инструментов имитационного моделирования.
6. Проектирование и инжиниринг складских систем с применением технологий имитационного моделирования.
7. Применение имитационного моделирования в задачах стратегического, тактического и оперативного планирования цепи поставок.
8. Имитационное моделирование в функциональной области логистики складирования.
9. Имитационное моделирование в функциональной области логистики распределения.
10. Имитационное моделирование мультимодальных транспортных систем.
11. Моделирование деятельности цепи поставок на стратегическом, тактическом и операционном уровне.
12. Комплексный подход к постановке и решению задачи оптимизации цепи поставок.

**Тема 9. Приложения системной динамики в стратегическом управлении предприятием и цепью поставок**

1. Дж. Форрестер и его фундаментальная работа «Индустриальная динамика» - системно-динамическая модель цепи поставок предприятия.
2. Структура, базовые потоки динамической модели предприятия.
3. Пример производственно-сбытовой системы: организационная структура и диаграмма потоков и уровней.
4. Реакция и колебания производственно-сбытовой системы.
5. Системно-динамическая имитационная модель цепи поставок производственной компании.
6. Применение системно-динамического имитационного моделирования при разработке стратегии бизнеса.
7. Механизмы корпоративного роста в работах Стермана.
8. Стратегическая архитектура и теория динамической стратегии по Уоррену.
9. Динамическая система сбалансированных показателей.

10. Расширение области применения динамических моделей в корпоративном управлении.
11. От системного мышления менеджеров – к реализации корпоративных аналитических приложений на основе имитационных моделей.
12. Применение системной динамики в сфере управленческого консалтинга и стратегического менеджмента.
13. Разработка методик управленческого консалтинга.
14. Шаблоны корпоративных решений на основе системно-динамического моделирования: стратегическая архитектура и корпоративная динамика предприятия.
15. Когнитивные карты менеджеров.
16. Управленческий консалтинг и системное мышление.
17. Инвестиционное планирование и управление проектами.
18. Управление производственной программой.
19. Комплексное управление логистическими процессами на предприятии.
20. Управление сбытовой сетью.
21. Формирование логистической стратегии.
22. Анализ динамики рынка.
23. Моделирование, анализ и реинжиниринг бизнес-процессов.

**Тема 10.** Многоагентное имитационное моделирование и поведенческая экономика

1. Практическое применение многоагентных моделей и систем в сфере экономики и управления.
2. Потребительские рынки и модели поведения клиентов.
3. Агентно-ориентированные модели в сфере логистики, координация участников цепи поставок и стратегии сотрудничества.
4. Агентные модели конкуренции.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «Собеседование (устный или письменный опрос)»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	«Отлично» - вопрос раскрыт полностью, точно обозначены основные понятия и характеристики по теме
4	«Хорошо» - вопрос раскрыт, однако нет полного описания всех необходимых элементов.

3	«Удовлетворительно» - вопрос раскрыт не полно, присутствуют грубые ошибки, однако есть некоторое понимание раскрываемых понятий.
2	«Неудовлетворительно» - ответ на вопрос отсутствует или в целом не верен.

### **Расчетно-графическая работа**

Решение практических задач в рамках расчетно-графической работы осуществляется с целью проверки степени усвоения знаний и выработки навыков решения практических задач, умения применять на практике полученных знаний.

Расчетно-графическая работа включает выполнение заданий по вариантам и содержит тематические разделы согласно перечню практических занятий рабочей программы дисциплины.

Темы:

1. Модель распространения продукции
2. Моделирование повторных покупок
3. Моделирование стратегии рекламной кампании
4. Модель Солоу
5. Паутинообразная модель
6. Модель динамики численности населения
7. Модель финансовых потоков в регионе
8. Модель динамики занятости населения
9. Модель реального сектора региона
10. Модель сельскохозяйственного сектора региона
11. Модель сектора торговли
12. Модель сектора личных хозяйств

Пример расчетно-графической работы по теме «Паутинообразная модель установления рыночного равновесия»

В качестве примера использования табличных функций рассмотрим «паутинообразную» модель установления рыночного равновесия, используемую в микроэкономике (рис. 1).

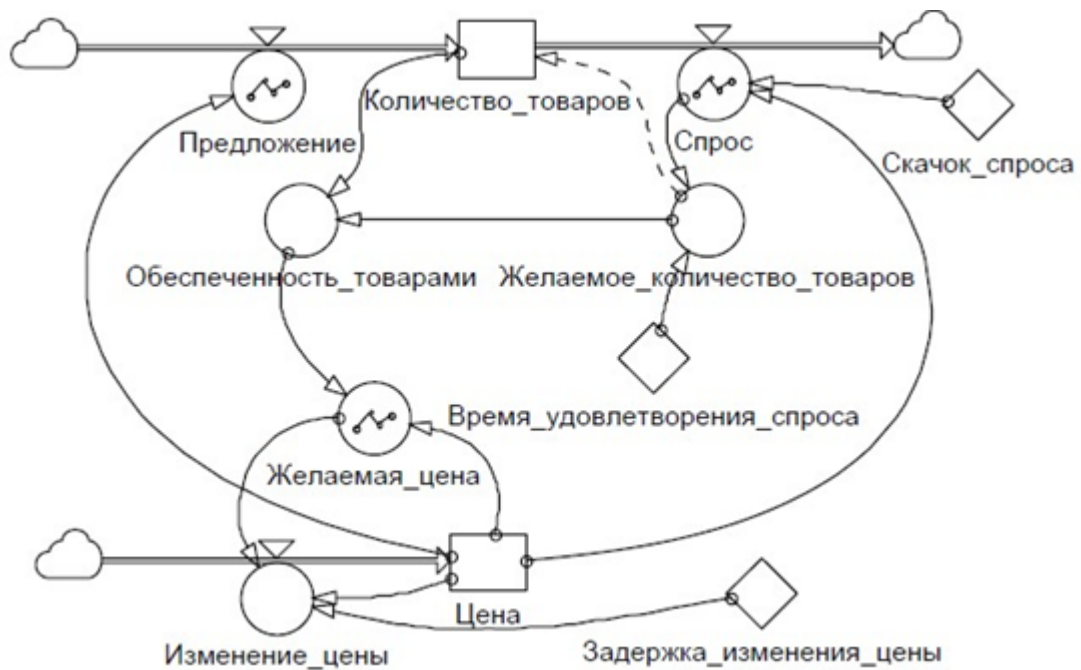


Рисунок 1. Поточковая диаграмма для «паутинообразной» модели

Эта модель описывается следующей системой уравнений (без комментариев к переменным):

**Уравнения уровней**

```

init  Количество_товаров = Желаемое_количество_товаров
flow  Количество_товаров = -dt*Спрос +dt*Предложение
unit  Количество_товаров = шт.
init  Цена = 15
flow  Цена = +dt*Изменение_цены
unit  Цена = руб./шт.

```

**Уравнения темпов**

```

aux   Изменение_цены = (Желаемая_цена-Цена) / Задержка_изменения_цены
unit  Изменение_цены = руб./шт./ед.времени
aux   Предложение = GRAPH(Цена, 0, 5, [0, 0, 40, 57, 68, 77, 84, 89, 94,
97, 100"Min:0;Max:100"])
unit  Предложение = шт./ед.времени
aux   Спрос = GRAPH(Цена, 5, 5, [100, 73, 57, 45, 35, 28, 22, 18, 14, 10
"Min:0;Max:100"])+STEP(Скачок_спроса, 10)
unit  Спрос = шт./ед.времени

```

**Вспомогательные уравнения**

```

aux   Желаемая_цена = GRAPH(Обеспеченность_товарами, 0.5, 0.1, [2, 1.8,
1.55, 1.35, 1.15, 1, 0.87, 0.75, 0.65, 0.55, 0.5"Min:0.5;Max:2"])*Цена
unit  Желаемая_цена = руб.
aux   Желаемое_количество_товаров = Спрос* Время_удовлетворения_
спроса
unit  Желаемое_количество_товаров = шт.
aux   Обеспеченность_товарами = Количество_товаров / Желаемое_
количество_товаров
unit  Обеспеченность_товарами = безразмерная

```

### Константы

```
const Время_удовлетворения_спроса = 4
unit  Время_удовлетворения_спроса = ед.времени
const Задержка_изменения_цены = 15
unit  Задержка_изменения_цены = ед.времени
const Скачок_спроса = 10
unit  Скачок_спроса = шт./ед.времени
```

В данной модели используются три табличных функции GRAPH, две из которых отражают известные законы спроса и предложения (рис. 2), а третья – изменение цены (в %), которую готовы платить покупатели, в зависимости от изменения обеспеченности рынка товарами (в %).

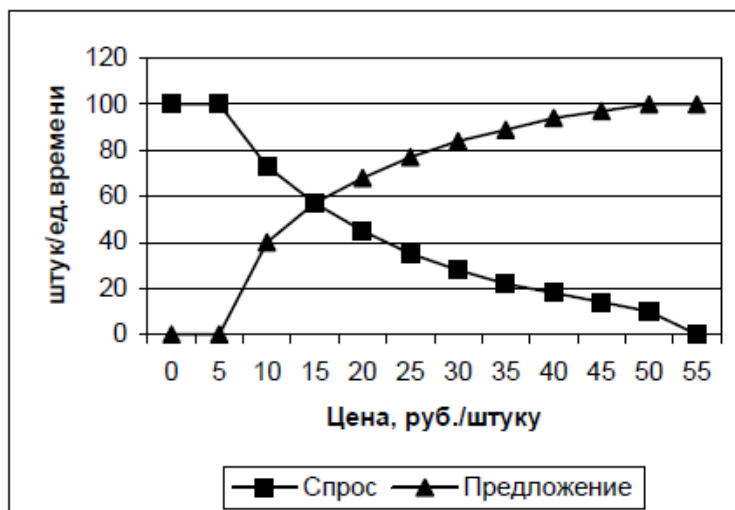


Рис. 2. Функции спроса и предложения

Модель демонстрирует переход от одного устойчивого равновесия к другому в том случае, когда в момент времени  $t = 10$  ед. времени при каждом значении цены увеличивается величина спроса за счет скачка спроса, равного 10 шт./ед.времени. При этом рынок из старого равновесного положения, характеризуемого равновесной ценой 15 руб./шт., равновесным количеством товаров 228 шт. и равновесными спросом и предложением 57 шт./ед.времени, переходит в новое равновесное состояние, характеризуемое новой равновесной ценой, равновесным количеством товаров и равновесными спросом и предложением, равными (с точностью до целых значений) 17 руб./шт., 247 шт., 62 шт./ед.времени соответственно.

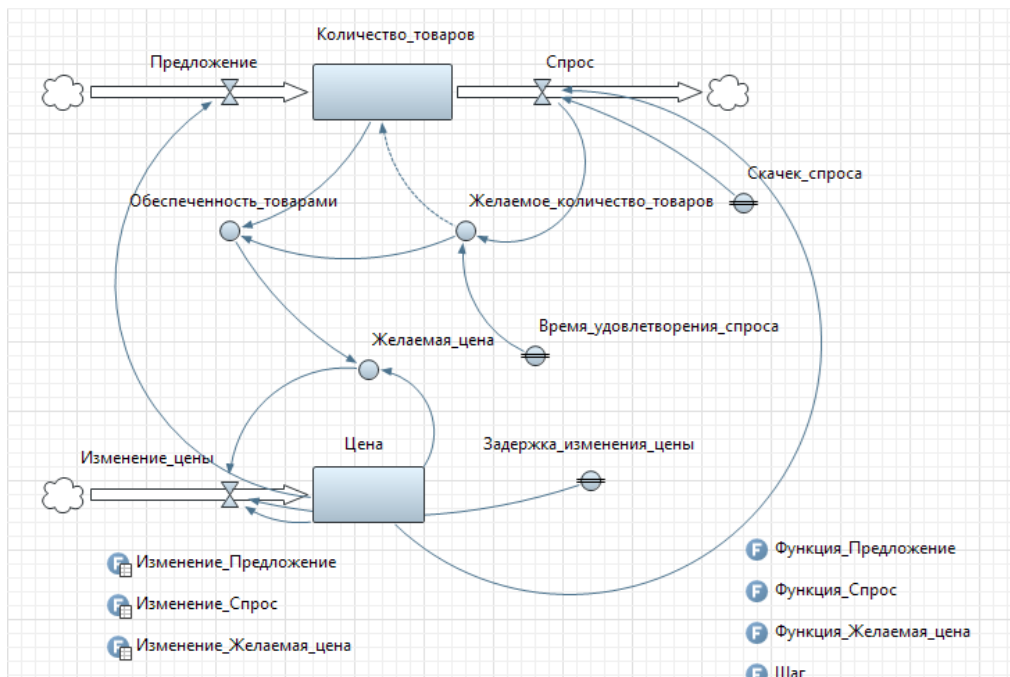


Рис 3. Потоквая диаграмма для "паутинообразной" модели.

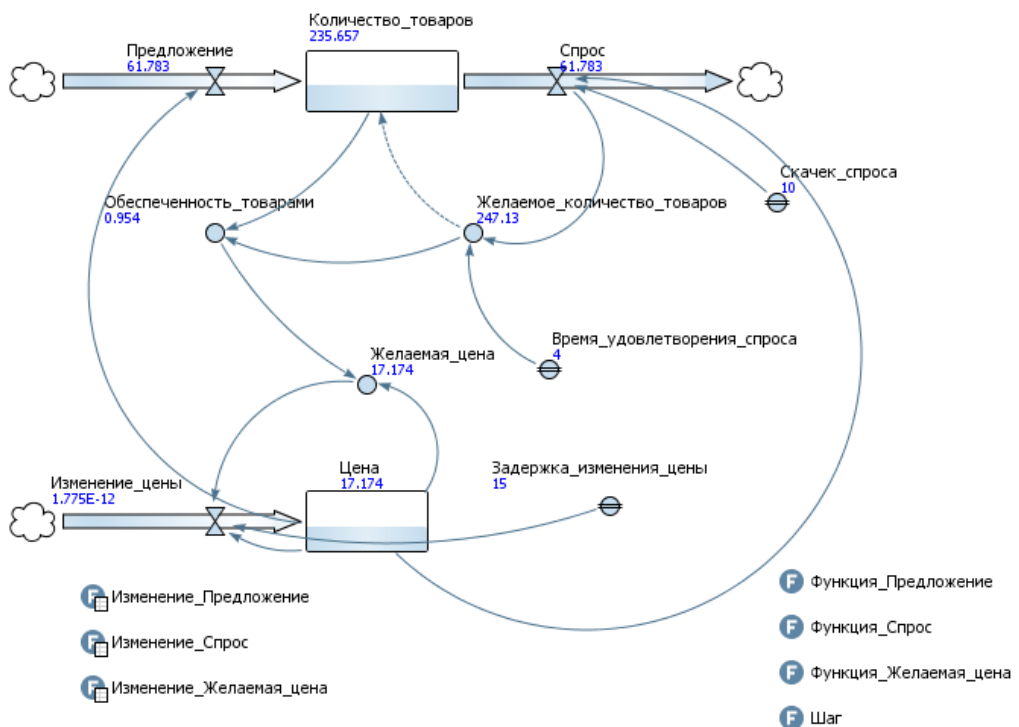


Рис. 4. Результаты работы модели

Выполненные работы загружаются в систему дистанционного обучения кафедры экономической кибернетики и прикладной статистики <https://ecpsdahl.ru/>

## Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «Расчетно-графическая работа»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Расчетно-графическая работа выполнена на высоком уровне. Студент правильно выполнил индивидуальную расчетно-графическую работу. Показал отличное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы на защите.
4	Расчетно-графическая работа выполнена на среднем уровне. Студент выполнил индивидуальную работу с небольшими неточностями. Показал хорошие владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов на защите.
3	Расчетно-графическая работа выполнена на низком уровне. Студент выполнил индивидуальную работу с существенными неточностями. Показал удовлетворительное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы на защите было допущено много неточностей.
2	Расчетно-графическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне. При выполнении индивидуальной работы студент продемонстрировал недостаточный уровень владения умениями и навыками при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на вопросы на защите было допущено множество неточностей.

### Творческое задание

Примерные темы творческих заданий:

1. Спецификация модели «Численность занятых в экономике»
2. Спецификация модели «Уровень безработицы»
3. Спецификация модели «Фонд оплаты труда»
4. Спецификация модели «Доходы населения от социальных трансфертов»
5. Спецификация модели «Денежные доходы населения»
6. Спецификация модели «Денежные расходы и сбережения населения»
7. Спецификация модели «Основные производственные фонды»
8. Спецификация модели «Инвестиции»
9. Спецификация модели «Промышленность»

10. Спецификация модели «Агропромышленный комплекс»

11. Спецификация модели «Импорт»

12. Спецификация модели «Экспорт»

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству «Творческое задание»

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	«Отлично» - Исследование выполнено самостоятельно, имеет научно-практический характер, содержит элементы новизны. Студент показал знание теоретического материала по рассматриваемой проблеме, умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщение и выводы. Материал излагается грамотно, логично, последовательно. Оформление отвечает требованиям написания отчета. Во время защиты студент показал умение кратко, доступно (ясно) представить результаты исследования, адекватно ответить на поставленные вопросы.
4	«Хорошо» - Исследование выполнено самостоятельно, имеет научно-практический характер, содержит элементы новизны. Студент показал знание теоретического материала по рассматриваемой проблеме, однако умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщения и выводы вызывают у него затруднения. Материал не всегда излагается логично, последовательно. Имеются недочеты в оформлении отчета. Во время защиты студент показал умение кратко, доступно (ясно) представить результаты исследования, однако затруднялся отвечать на поставленные вопросы.
3	«Удовлетворительно» - Исследование не содержит элементы новизны. Студент не в полной мере владеет теоретическим материалом по рассматриваемой проблеме, умение анализировать, аргументировать свою точку зрения, делать обобщение и выводы вызывают у него затруднения. Материал не всегда излагается логично, последовательно. Имеются недочеты в оформлении отчета. Во время защиты студент затрудняется в представлении результатов исследования и ответах на поставленные вопросы.
2	«Неудовлетворительно» - Выполнено менее 50% требований к творческому заданию (см. оценку «5») и студент не допущен к защите.

### ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

**Назначение:** ФОС предназначен для контроля и оценки промежуточных результатов освоения учебной дисциплины «Системно-динамическое моделирование».



Форма промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

Промежуточная аттестация проходит в письменной форме и включает теоретическую часть (раскрыть два теоретических вопроса) и практическую часть (решение задачи). Возможны устные вопросы при проведении экзамена в качестве дополнительного испытания при недостаточности результатов письменного ответа и решения задачи.

Время выполнения – 60 минут.

Условия выполнения: кабинет, тестовая программа либо раздаточный материал.

### **Вопросы для подготовки к зачету**

1. Дайте определение понятия «модель».
2. Провести сопоставление понятий «модель», «система», «объект».
3. Какие требования предъявляются к модели?
4. Какие функции выполняет модель?
5. Перечислите классы моделей и их свойства согласно укрупненной классификации.
6. Назовите классы моделей и их свойства согласно детализированной классификации.
7. Какая модель называется имитационной?
8. Перечислите этапы построения имитационной модели.
9. Что происходит на этапе трансляции модели?
10. К каким последствиям может привести использование неадекватной модели?
11. В чем отличие стратегического и тактического планирования эксперимента?
12. На каких принципах строится концепция УСИМ?
13. Какие операции должна выполнять УСИМ?
14. Назовите этапы имитационного моделирования согласно концепции УСИМ.
15. Дайте определение понятия «датчик псевдослучайных чисел».
16. Что такое линейный конгруэнтный генератор?
17. Каким образом можно определить качество ЛК-генератора?
18. Перечислите принципы выбора параметров ЛК-генератора.
19. Что такое период генератора псевдослучайных чисел?
20. С помощью какого критерия можно проверить равномерность распределения чисел, полученных с помощью ЛК-генератора?
21. Что такое мощность ЛК-последовательности?
22. Каким образом можно подобрать параметры генератора с ненулевым

- аддитивным членом и составным модулем, что бы его период был полным?
23. Назначение спектрального теста.
  24. Назовите базовые принципы системной динамики.
  25. Приведите структуру простейшей цепи обратной связи.
  26. Дайте определение понятиям «уровень» и «темп»?
  27. Назовите примеры программных продуктов, применяемых при построении имитационных моделей.
  28. Что такое экзогенная переменная?
  29. Что такое эндогенная переменная?
  30. Как можно представить динамическую модель, основанную на системной динамике, в виде математических соотношений?
  31. В чем заключается концепция объектно-ориентированной системы моделирования?
  32. Что такое транзакт? Какие действия он может выполнять?
  33. Приведите примеры транзактов.
  34. Какими характеристиками обладает транзакт?
  35. На что влияет приоритет транзакта?
  36. Что представляет собой узел графа сети в концепции ООСМ?
  37. Какие этапы необходимо пройти при проведении машинных экспериментов с моделью?
  38. Дайте определение понятию «многофакторная модель».
  39. Что характеризует остаточная дисперсия?
  40. Назовите назначение коэффициента детерминации?
  41. Каким образом можно оценить параметры многофакторной модели?
  42. Назовите этапы построения многофакторной модели.
  43. В чем заключается отрицательное воздействие коэффициента мультиколлинеарности на результат моделирования?
  44. При выполнении расчетов коэффициентов корреляции коэффициент  $r_{12}$  оказался равным 0,8. Какой фактор необходимо исключить из модели?
  45. По каким критериям проводится анализ факторов на статистическую значимость?
  46. Для чего необходимо проверять модель на адекватность?
  47. Что показывает коэффициент эластичности?
  48. Назовите отличия предсказания от прогноза?
  49. Приведите классификацию экстраполяционных методов прогнозирования.
  50. На какие компоненты разбивается ряд при прогнозировании методами разложения ряда?
  51. Влияют ли исходные данные на качество прогноза?
  52. Назовите этапы прогнозирования с помощью методов экстраполяции.

53. В чем заключается подготовка исходных данных для выполнения прогноза?
54. В чем заключается критерий Дарбина-Уотсона?
55. Приведите характеристики модели Хольта-Уинтерса?

### Примеры задач

**Задача 1.** Рассмотрим состояния банка  $s_1, s_2, s_3$ , характеризующиеся соответственно процентными ставками 3%, 4%, 5%, которые устанавливаются в начале каждого месяца и фиксированы на всем его протяжении. Переходные вероятности зависят от моментов установления процентных ставок. Матрицы переходных состояний задаются следующим образом :

$$p(1) = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.4 & 0.5 \\ 0.3 & 0.2 & 0.5 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 \end{pmatrix}, p(2) = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.2 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 \\ 0.2 & 0.5 & 0.3 \end{pmatrix}, p(3) = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.4 & 0.1 & 0.5 \\ 0.1 & 0.1 & 0.8 \end{pmatrix}.$$

Постройте размеченные графы состояний, соответствующие началам каждого месяца в квартале, и найдите вероятности состояний банка в конце квартала, если в конце предшествующего месяца процентная ставка составляла 3%.

**Задача 2.** Матрицы переходных вероятностей неоднородной марковской цепи (имеющей 3 возможных состояния), соответствующие четырем шагам, задаются следующим образом :

$$p(1) = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0.0 \\ 0.3 & 0.1 & 0.6 \end{pmatrix}, p(2) = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.0 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 \end{pmatrix},$$

$$p(3) = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.5 \\ 0.0 & 0.7 & 0.3 \\ 0.7 & 0.1 & 0.2 \end{pmatrix}, p(4) = \begin{pmatrix} 0.9 & 0.0 & 0.1 \\ 0.0 & 0.8 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 & 0.7 \end{pmatrix}.$$

А вектор начального распределения вероятностей имеет вид :  $p_1(0)=0.25; p_2(0)=0.45; p_3(0)=0.30$ . Найти вероятности состояний на 4-м шаге  $p_1(4), p_2(4), p_3(4)$ .

**Задача 3.** Составьте систему дифференциальных уравнений Колмогорова по матрице плотностей вероятностей переходов

$$\Lambda = \begin{pmatrix} 0 & 5 & 2 \\ 0 & 0 & 4 \\ 3 & 7 & 0 \end{pmatrix}.$$

**Задача 4.** На промышленном предприятии решается вопрос о том, сколько потребуется механиков для работы в ремонтном цехе. Пусть предприятие имеет 10 машин, требующих ремонта с учетом числа ремонтирующихся. Отказы машин происходят с частотой  $\lambda = 10$  отк/ час. Для устранения неисправности механику требуется в среднем  $t=3$  мин. Распределение моментов возникновения отказов является пуассоновским, а продолжительность выполнения ремонтных работ распределена экспоненциально. Возможно организовать 4 или 6 рабочих мест в цехе для механиков предприятия. Необходимо выбрать наиболее эффективный вариант обеспечения ремонтного цеха рабочими местами для механиков.

**Задача 5 .** На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности  $\lambda = 4$  машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 17 мин (ограничений на очередь нет). Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся в режиме.

**Задача 6.** На пункт техосмотра поступает простейший поток заявок (автомобилей) интенсивности  $\lambda = 4$  машины в час. Время осмотра распределено по показательному закону и равно в среднем 17 мин, в очереди может находиться не более 5 автомобилей. Определите вероятностные характеристики пункта техосмотра в установившемся в режиме.

**Задача 7.** В аудиторскую фирму поступает простейший поток заявок на обслуживание с интенсивностью  $\lambda = 1,5$  заявки в день. Время обслуживания распределено по показательному закону и равно в среднем трем дням. Аудиторская фирма располагает пятью независимыми бухгалтериями, выполняющими аудиторские проверки (обслуживание заявок). Очередь заявок неограниченна. Дисциплина очереди не регламентирована. Определите вероятностные характеристики аудиторской фирмы как СМО, работающей в стационарном режиме.

**Задача 8.** В вычислительном центре работает 5 персональных компьютеров. Простейший поток задач, поступающих на ВЦ, имеет интенсивность  $\lambda = 10$  задач в час. Среднее время решения задачи равно 12 мин. Заявка получает отказ, если все ПК заняты. Найдите вероятностные характеристики системы обслуживания (ВЦ).

**Задача 9.** В одноканальную СМО с отказами поступает простейший поток заявок с интенсивностью  $\lambda = 0,5$  заявки в минуту. Время обслуживания заявки имеет показательное распределение с  $t=1,5$  мин.

Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.

**Задача 10.** Одноканальная СМО с отказами представляет собой одну телефонную линию. Заявка (вызов), пришедшая в момент, когда линия занята, получает отказ. Все потоки событий простейшие. Интенсивность потока  $\lambda=0/95$  вызова в минуту. Средняя продолжительность разговора  $t=1$  мин.

Определите вероятностные характеристики СМО в установившемся режиме работы.

**Критерии и шкала оценивания к промежуточной аттестации «экзамен»**

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

## Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)