

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Математических методов исследования операций  
Азарнова Т.В.  
18.05.2022



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.06 Имитационные модели в задачах машинного обучения**

- 1. Код и наименование направления подготовки / специальности:**  
**02.04.02 Фундаментальные информационные технологии**
- 2. Профиль подготовки / специализация/магистерская программа:**  
**Машинное обучение и интеллектуальные информационные технологии**
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** магистр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** математических методов исследования операций
- 6. Составители программы:** Бондаренко Ю.В., д. т. н., профессор кафедры математических методов исследования операций
- 7. Рекомендована:** НМС факультета Прикладной математики, информатики и механики № 8 от 15.04.2022
- 8. Учебный год:** 2023/2024 **Семестр(ы):** 4

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

*Цели изучения дисциплины:* ознакомление будущих специалистов с современными подходами имитационного моделирования и анализа сложных систем и процессов, объектов и проектов, получения данных в задачах машинного обучения для формирования умений и навыков разработки профессионально-ориентированных программных средств и приложений на основе интеллектуальных информационных технологий, осуществления руководства проведения исследований по отдельным задачам.

*Задачи учебной дисциплины:* освоение студентами методологических основ и понятийного аппарата имитационного моделирования сложных систем, объектов и процессов; формирование знаний, умений и практических навыков построения имитационных моделей и проведения вычислительных экспериментов в задачах машинного обучения по основным направлениям имитационного моделирования (статистического, дискретно-событийного, системной динамики, агентного) на основе использования знаний в области искусственного интеллекта, инженерии знаний, машинного обучения для разработки прикладного программного обеспечения; приобретение практических навыков использования методов и приемов алгоритмизации поставленных задач с учетом возможностей современных интеллектуальных информационных технологий; обучение организации сбора и изучения научно-технической информации по теме проводимых исследований и разработок.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** (цикл, к которому относится дисциплина, требования к входным знаниям, умениям и навыкам, дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей)

Дисциплина «Имитационные модели в задачах машинного обучения» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 дисциплин учебного плана.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикаторы(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен осуществлять научное руководство проведением исследований по отдельным задачам	ПК-2.1	Формирует план проведения научно-исследовательских работ.	Знает: - технологию имитационного моделирования; - цели имитационного моделирования; - подходы к планированию направленного вычислительного эксперимента; Умеет: - формировать план научно-исследовательской работы, требующей разработку имитационной модели в соответствии с этапами имитационного моделирования; - планировать направленный вычислительный эксперимент;

				-обрабатывать и интерпретировать результаты эксперимента; Владеет навыками проведения научно-исследовательской работы по имитационному моделированию сложных систем
		ПК-2.2	Организует сбор и изучение научно-технической информации по теме проводимых исследований и разработок	Знает: - основные принципы моделирования сложных объектов и процессов, технологию и методы моделирования; - основные понятия и технологические этапы имитационного моделирования, включая получение, обработку и анализ данных; - основные типы систем и процессов, исследование которых основывается на построении и реализации имитационной модели; - технологии построения моделей каждого направления имитационного моделирования; - технологию организации вычислительного эксперимента и обработки результатов; Умеет : - осуществлять сбор и обработку реальных данных по теме исследований; - организовывать сбор и изучение научно-технической информации с передовыми практиками разработки имитационных моделей; Владеет навыками работы с научно-технической информацией по разработке имитационных моделей и программному обеспечению их реализации.
ПК-4	Способен разрабатывать профессионально-ориентированные программные средства и приложения на основе интеллектуальных информационных технологий.	ПК-4.1	Использует методы и приемы алгоритмизации поставленных задач с учетом возможностей современных интеллектуальных информационных технологий.	Знает: - алгоритмы построения имитационной модели для основных направлений имитационного моделирования (системной динамики, дискретно-событийного моделирования, агентного моделирования); - современные интеллектуальные технологии, используемые для формирования имитационных моделей, включая обработку экспертной информации, когнитивного анализа, машинного обучения; Умеет: - проводить анализ реальной системы; - разрабатывать алгоритм построения имитационной модели в соответствии с целями исследования;

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- формировать адекватную имитационную модель на основе предварительной обработки данных с учетом возможностей интеллектуальных технологий;</li> <li>Владеет:</li> <li>-навыками использования методов и приемов алгоритмизации задач, связанных с моделированием сложных стохастических систем и процессов;</li> <li>- выбора современных интеллектуальных технологий и алгоритмов обработки данных и вычислительных экспериментов.</li> </ul>
		ПК-4.2	Использует знания в области искусственного интеллекта, инженерии знаний, машинного обучения для разработки прикладного программного обеспечения.	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- интеллектуальные технологии и алгоритмы машинного обучения, используемые для формирования имитационной модели;</li> <li>- прикладное программное обеспечения интеллектуальной обработки данных и имитационного моделирования;</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-осуществлять выбор программного обеспечения для реализации имитационной модели;</li> <li>-формировать имитационную модель в виде компьютерной программы;</li> <li>-проводить направленный вычислительный эксперимент;</li> <li>-осуществлять обработку и интерпретацию результатов;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами машинного обучения выявления причинно-следственных связей и интеллектуальными методами анализа данных;</li> <li>-навыками работы со специализированным программным обеспечением имитационного моделирования.</li> </ul>

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом —3/108.

Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой.

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость (часы)				
	Всего	В том числе в интерактивной форме	По семестрам		
			№ сем. 4	№ сем.	.....
Аудиторные занятия					
в том числе:	лекции	24	24		

практические	-	-		
лабораторные	12	12		
Самостоятельная работа	72	72		
Форма промежуточной аттестации	Зачет с оценкой	Зачет с оценкой		
Итого:	108	108		

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Методологические основы имитационного моделирования	Понятие имитационного моделирования сложных систем. Основные направления имитационного моделирования (вероятностное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование). Общие этапы имитационного моделирования. Программное обеспечение имитационного моделирования (обзор). Испытание и исследование свойств имитационной модели. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.	Имитационные модели в задачах машинного обучения <a href="#">Курс: Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
1.2	Статистическое моделирование	Понятие статистического моделирования. Основные виды статистического моделирования. Этапы статистического моделирования. Законы распределения случайных величин. Метод Монте-Карло.	Имитационные модели в задачах машинного обучения <a href="#">Курс: Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
1.3	Дискретно-событийное моделирование	Основные понятия дискретно-событийного моделирования. Моделирование случайных процессов. Системы массового обслуживания (СМО). Классификация СМО. Основные характеристики СМО. Основные типы СМО и их характеристики (Одноканальная СМО с отказами и ожиданием, многоканальная СМО). Дискретно-событийное моделирование в Anylogic. Применение дискретно-событийного моделирования для получения большого массива данных о системе в задачах машинного обучения.	Имитационные модели в задачах машинного обучения <a href="#">Курс: Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
1.4	Модели системной динамики	Понятия системной динамики. Основные этапы разработки модели системной динамики. Интеллектуальные методы выявления причинно-следственных связей. Построение когнитивной карты. Построение модели системной динамики. Системное моделирование в Anylogic. Примеры	Имитационные модели в задачах машинного обучения <a href="#">Курс: Имитационные</a>

		моделей системной динамики. Получение данных для задач машинного обучения на основе реализации модели системной динамики.	<a href="#">модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
1.5	Агентные модели	Основные понятия агентного моделирования. Модели агента и среды. Моделирование поведения агентов. Агентное моделирование в Anylogic. Машинное обучение в агентном моделировании.	Имитационные модели в задачах машинного обучения Курс: <a href="#">Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
<b>3. Лабораторные работы</b>			
3.1	Статистическое моделирование	Лабораторная работа № 1. Имитационное моделирование анализа риска инвестиционных проектов	Имитационные модели в задачах машинного обучения Курс: <a href="#">Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
3.2	Дискретно-событийное моделирование	Лабораторная работа № 2 Оптимизация работы системы массового обслуживания (на примере торгового предприятия). Лабораторная работа № 3. Моделирование процесса функционирования оптового склада продукции.	Имитационные модели в задачах машинного обучения Курс: <a href="#">Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
3.3	Модели системной динамики	Лабораторная работа № 4. Моделирование развитие эпидемии методами системной динамики	Имитационные модели в задачах машинного обучения Курс: <a href="#">Имитационные модели в задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
3.4.	Агентные модели	Лабораторная работа № 5. Моделирование работы отделения банка.	Имитационные модели в задачах машинного обучения Курс: <a href="#">Имитационные</a>

			<a href="http://vsu.ru">МОДЕЛИ В задачах машинного обучения (vsu.ru)</a>
--	--	--	--

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1	Методологические основы имитационного моделирования	4			14	18
2	Статистическое моделирование	6		3	14	23
3	Дискретно-событийное моделирование	6		3	16	25
4	Модели системной динамики	6		3	16	25
5	Агентные модели	2		3	12	17
	Итого:	24		12	72	72

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Освоение дисциплины «Имитационные модели в задачах машинного обучения» включает лекционные занятия, лабораторные занятия и самостоятельную работу обучающихся.

На первом занятии студент получает информацию для доступа к комплексу учебно-методических материалов.

В рамках общего объема часов, отведенных для изучения дисциплины, предусматривается выполнение следующих видов самостоятельных работ студентов (СРС): изучение лекционного материала, выполнение практических заданий в форме лабораторных работ.

Методологические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов

Для повышения уровня освоения компетенций студентам предлагается прослушать подобранный преподавателям курс вебинаров ведущих специалистов в области имитационного моделирования (ссылки на вебинары представлены в курсе «Имитационное моделирование» на образовательной платформе ВГУ.

Методические рекомендации по подготовке к зачету

При подготовке к зачету следует в полной мере использовать лекционный материал и учебники, рекомендованного преподавателем.

Методические рекомендации при использовании дистанционных образовательных технологий

При использовании дистанционных образовательных технологий и электронного обучения выполнять все указания преподавателей по работе на LMS-платформе, своевременно подключаться к online-занятиям, соблюдать рекомендации по организации самостоятельной работы

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Веремчук, Н. С. Элементы имитационного моделирования : учебно-методическое пособие / Н. С. Веремчук. — Омск : СибАДИ, 2021. — 152 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/191222">https://e.lanbook.com/book/191222</a>
2	Строгалева, В. П. Имитационное моделирование : учебное пособие / В. П. Строгалева, И. О. Толкачева. — 4-е изд. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2018. — 295 с. — ISBN 978-5-7038-4825-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106283">https://e.lanbook.com/book/106283</a> (
3	Палей, А. Г. Имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей средствами iWebsim и AnyLogic : учебное пособие / А. Г. Палей, Г. А. Поллак. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-3844-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/122179">https://e.lanbook.com/book/122179</a> .
4	Рыжиков, Ю. И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями : учебное пособие / Ю. И. Рыжиков. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-3464-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/113404">https://e.lanbook.com/book/113404</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Имитационное моделирование бизнес-процессов : учебно-методическое пособие / З. И. Баусова, Е. В. Жаркова, А. Л. Козлов, Ю. А. Коробасова. — Пенза : ПензГТУ, 2013. — 164 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/62734">https://e.lanbook.com/book/62734</a> (дата обращения: 21.05.2021).
6	Королев, А. В. Экономико-математические методы и моделирование : учебник и практикум для вузов / А. В. Королев. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 280 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00883-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <a href="https://urait.ru/bcode/470088">https://urait.ru/bcode/470088</a>
7	Кутузов, О. И. Моделирование систем. Методы и модели ускоренной имитации в задачах телекоммуникационных и транспортных сетей : учебное пособие / О. И. Кутузов. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 132 с. — ISBN 978-5-8114-2972-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/107274">https://e.lanbook.com/book/107274</a> .
8	Мицель, А. А. Сборник задач по имитационному моделированию экономических процессов : учебное пособие / А. А. Мицель. — Москва : ТУСУР, 2016. — 218 с. — ISBN 978-5-86889-358-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/110242">https://e.lanbook.com/book/110242</a> ).

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	Университетская библиотека on-line Режим доступа: <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a>
10	ЭБС Лань. Режим доступа: <a href="http://www.e.lanbook.com">http://www.e.lanbook.com</a>
11	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online (доступ осуществляется по адресу: <a href="https://biblioclub.ru/">https://biblioclub.ru/</a> );
12	Электронная библиотека технического ВУЗа «Консультант студента» (доступ осуществляется по адресу: <a href="https://www.studmedlib.ru/">https://www.studmedlib.ru/</a> );
13	Современные информационные технологии в бизнесе/ ВШЭ. – НПОО.- Режим доступа: <a href="https://openedu.ru/course/hse/ITBUSINESS/">https://openedu.ru/course/hse/ITBUSINESS/</a>
14	Системная динамика устойчивого развития / УрФУ. – НПОО. – Режим доступа: <a href="https://openedu.ru/course/urfu/ECOS/">https://openedu.ru/course/urfu/ECOS/</a>
15	Имитационное моделирование / Ю.В. Бондаренко. – Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». – Режим доступа - Курс: Имитационное моделирование ( <a href="http://vsu.ru">vsu.ru</a> )



## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

Для обеспечения самостоятельной работы студентов в электронном курсе дисциплины на образовательном портале «Электронный университет ВГУ» сформирован учебно-методический комплекс, который включает в себя: программу курса, учебные пособия и справочные материалы, методические указания по выполнению проекта. Студенты получают доступ к данным материалам на первом занятии по дисциплине.

Указанные в учебно-методическом комплексе учебные пособия и справочные материалы, приведены в таблице ниже:

№ п/п	Источник
1	Ави, П. Вероятностное программирование на практике / П. Ави ; перевод с английского А. А. Слинкин. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — 462 с. — ISBN 978-5-97060-410-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/97346">https://e.lanbook.com/book/97346</a>
2	Мицель, А. А. Сборник задач по имитационному моделированию экономических процессов : учебное пособие / А. А. Мицель. — Москва : ТУСУР, 2016. — 218 с. — ISBN 978-5-86889-358-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/110242">https://e.lanbook.com/book/110242</a>
3	Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в Anylogic 7/ В.Д.Боев. – СПб: ВАС, 2014. – 432 с. – Режим доступа: <a href="http://anylogic.ru">Имитационное моделирование как необходимая часть инженерного образования сложилось в середине прошлого, двадцатого века (anylogic.ru)</a>
4	Пройдакова, Е. В. Исследование систем массового обслуживания методом имитационного моделирования : учебное пособие / Е. В. Пройдакова, М. А. Федоткин. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. — 21 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/153322">https://e.lanbook.com/book/153322</a>

## 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий, для организации самостоятельной работы обучающихся используется онлайн-курс, размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также другие Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

Информационные технологии для реализации учебной дисциплины:

- технологии синхронного и асинхронного взаимодействия студентов и преподавателя посредством служб (сервисов) по пересылке и получению электронных сообщений, в том числе, по сети Интернет;
- сервис электронной почты для оперативной связи преподавателя и студентов.

Программное обеспечение:

- ОС Windows 10,
- пакет стандартных офисных приложений для работы с документами, таблицами и т.п. (MS Office, МойОфис, LibreOffice);
- Adobe Reader;
- специализированное ПО (Anelagic);
- интернет-браузер (Chrome, Яндекс.Браузер, Mozilla Firefox).

### **18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

*(при использовании лабораторного оборудования указывать полный перечень, при большом количестве оборудования можно вынести данный раздел в приложение к рабочей программе)*

Лекционная аудитория должна быть оборудована: учебная мебель, компьютер (ноутбук), мультимедийное оборудование (проектор, экран, средства звуковоспроизведения), допускается переносное оборудование.

Лабораторные занятия должны проводиться в специализированной аудитории, оснащенной учебной мебелью и персональными компьютерами с доступом в сеть Интернет (компьютерные классы, студии), мультимедийными средствами (мультимедийный проектор, экран, средства звуковоспроизведения), установленным ПО, Число рабочих мест в аудитории должно быть таким, чтобы обеспечивалась индивидуальная работа студента на отдельном персональном компьютере.

Для самостоятельной работы необходимы компьютерные классы, помещения, оснащенные компьютерами с доступом к сети Интернет.

### **19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

**Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:**

№ п/п	Наименования раздела дисциплины	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Методологические основы имитационного моделирования	ПК-2	ПК-2.1, ПК-2.2	Письменный опрос
2	Статистическое моделирование	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-4.1	Письменный опрос, лабораторная работа
3	Дискретно-событийное моделирование	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-4.1, ПК-4.2	Письменный опрос, лабораторная работа
4	Модели системной динамики	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-4.1, ПК-4.2	лабораторная работа
5	Агентные модели	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1, ПК-2.2, ПК-4.1, ПК-4.2	лабораторная работа
Промежуточная аттестация форма контроля				Перечень вопросов, КИМ

### **20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

#### **20.1 Текущий контроль успеваемости**

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

- Письменный опрос;
- Лабораторные работы.

## Перечень примерных заданий на лабораторные работы

### Лабораторная работа № 1. Имитационное моделирование анализа риска инвестиционных проектов

Постановка задачи. Фирма рассматривает инвестиционный проект по производству продукта «А». В процессе предварительного анализа экспертами были выявлены три ключевых параметра проекта и определены возможные границы их изменений (см. таблицу). Прочие параметры проекта считаются постоянными величинами.

Постройте имитационную модель расчета NPV. Считая, что все ключевые переменные имеют равномерный закон распределения, проведите вычислительный эксперимент. Сделайте выводы о целесообразности инвестиций.

#### Ключевые параметры проекта по производству продукта «А»

Сценарий	Показатели		
	Наихудший	Наилучший	Вероятный
Объем выпуска, Q	130	300	200
Цена за штуку, P	40	55	50
Переменные затраты, I	35	25	30

#### Неизменяемые параметры проекта по производству продукта «А»

Показатели	Наиболее вероятные значения
Постоянные затраты, F	500
Амортизация, A	100
Ставка процента по заемным средствам (налог на прибыль), T	60%
Норма дисконта, r	10%
Срок проекта, n	5

### Лабораторная работа № 2 Оптимизация работы системы массового обслуживания (на примере торгового предприятия).

Постановка задачи 1: В маленький супермаркет с одной кассой приходят покупатели в среднем каждые 4 минуты. Каждый посетитель сперва в течение  $m \pm 1$  мин. ходит по супермаркету и выбирает товар, затем подходит к продавцу. Продавец обслуживает покупателей в среднем  $n$  минут по нормальному закону распределения с  $\sigma = 0,7$ .

Промоделируйте работу супермаркета за время прохождения 1000 покупателей.

Для получения параметров  $m$ ,  $n$  рассмотрите реальные данные любого торгового предприятия.

На основании результатов вычислительного эксперимента получите данные для прогнозирования среднего времени пребывания покупателей в магазине методами машинного обучения.

Постановка задачи 2. В супермаркет с пятью кассами приходят покупатели в среднем каждые 20 секунд. Процесс поступления является пуассоновским. Каждый посетитель сперва в течение  $n \pm 1$  минут ходит по супермаркету и выбирает товар, затем подходит к кассам, к которым организована единая очередь. На каждой кассе покупатели обслуживаются в среднем по  $m$  минуты по нормальному закону распределения с разбросом 0,3. Промоделировать работу супермаркета за 24 часа и определить, сколько дополнительных касс стоит открыть, чтобы среднее время ожидания в очереди было не больше минуты.

Для получения параметров  $m$ ,  $n$  рассмотрите реальные данные любого торгового предприятия.

На основании результатов вычислительного эксперимента получите данные для прогнозирования среднего времени пребывания покупателей в магазине методами машинного обучения

**Лабораторная работа № 3.** Моделирование процесса функционирования оптового склада продукции.

Постановка задания. В отделе по работе с клиентами оптовой базы работают  $n$  сотрудников, занимающихся сбором документов и сертификатов качества к заявке клиента. В среднем за  $n$  часов отдел получает  $m$  заявок. На сбор документов по одной заявке один сотрудник затрачивает в среднем  $t$  минут. Если приходит заявка, а свободных сотрудников нет, то заявка переходит в другой отдел, что экономически не выгодно для работы отдела.

Рассмотри работу системы в двух режимах:

1) все сотрудники работают вместе как один, т.е. одну заявку обслуживают все сотрудники

2) каждый сотрудник обслуживает одну заявку

Сравните эффективности этих двух режимов работы системы.

**Лабораторная работа № 4** Моделирование развития эпидемии.

Рассмотрим сложную систему – общество, элементами которого являются люди. Выделим следующие группы (подсистемы) людей:

- инфицированные (заболевшие гриппом к определенному моменту времени);
- выздоровевшие (выздоровевшие после болезни гриппом);
- не вакцинированные (восприимчивые к гриппу);
- вакцинированные (невосприимчивые к гриппу).

Параметрами процесса развития эпидемии выступают:

- $infection\_rate$  (темп заболевания) – доля заболевающих гриппом в единицу времени (от 0 до 1) среди восприимчивых к гриппу людей;
- $recovery\_rate$  (темп выздоровления) – доля выздоравливающих в единицу времени (от 0 до 1) среди всех людей, заболевших гриппом.

Требуется: провести исследование динамики численности группы инфицированных и группы выздоровевших людей в зависимости от параметров процесса развития эпидемии и начальной численности всех групп населения.

Построение модели. Имитационная модель развития эпидемии относится к классу моделей системной динамики. Для наглядного представления такого типа моделей принято строить потоковые диаграммы. Элементами потоковой диаграммы для данного примера являются:

- 1) Уровни (узлы сети, обозначающие переменные состояния модели):

- susceptible (не вакцинированные) – общее число людей, восприимчивых к гриппу;

- infected (инфицированные) – общее число людей, заболевших гриппом;

- recovered – общее число людей, выздоровевших после болезни.

2) Постоянные параметры: *infection\_rate*; *recovery\_rate*;

3) Темпы (скорость потока, проходящего по дуге потоковой сети):

- $\frac{d(\text{susceptible})}{dt} = -\text{get\_sick};$

- $\frac{d(\text{infected})}{dt} = \text{get\_sick} - \text{get\_well};$

- $\frac{d(\text{recovered})}{dt} = \text{get\_well};$

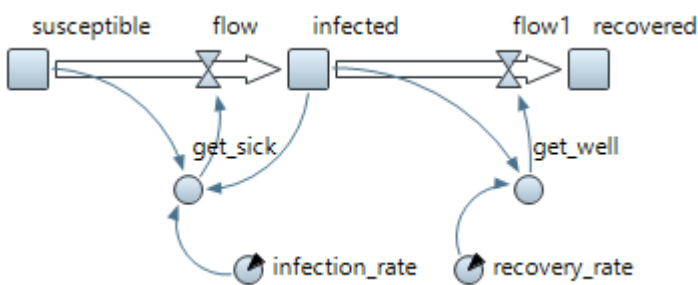
где переменные

- *get\_sick* – число людей, заболевших в единицу времени,

$\text{get\_sick} = \text{infected} * \text{susceptible} * \text{infection\_rate};$

- *get\_well* – число людей, выздоровевших в единицу времени,

$\text{get\_well} = \text{infected} * \text{recovery\_rate}.$



1. Постройте модель,.

2. На основании ретроспективных данных заболеваемости covid-19 осуществите расчет параметров модели. При одних и тех же значениях параметров осуществите 10000 экспериментов. На основании полученных данных осуществите прогноз числа заболевших и выздоровевших одним из методов машинного обучения.

3. На основании анализа литературы перечислите те состояния, которые должны быть добавлены для эпидемии covid-19/

### Лабораторная работа № 5. Моделирование работы отделения банка

Постановка задания: Создать модель простой системы обслуживания, а именно модель банковского отделения. В банковском отделении находятся банкомат и стойки банковских кассиров, что позволяет быстро и эффективно обслуживать посетителей банка. Операции с наличностью клиенты банка производят с помощью банкомата, а более сложные операции, такие как оплата счетов – с помощью кассиров.

### Технология проведения

Лабораторные работы выполняются на лабораторных занятиях с использованием специального ПО (программы Anylogic). Задания выполняются с использованием ПО, указанного в п. 17 (или аналогов со схожей функциональностью). По каждой лабораторной работе студенты представляют краткий письменный отчет, содержащий краткое описание работы и выводы. При сдаче лабораторной работы студент должен ответить на вопросы преподавателя по лекционному материалу темы лабораторной.

### Критерии оценки лабораторной работы

Для оценивания результатов работы используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания	Шкала оценок
Обучающийся верно построил модель, сформировал параметры, провел вычислительные эксперимент, осуществил обработку результатов и сделал правильные выводы.	<i>Отлично</i>
Построенная модель или выводы имеют незначительные неточности	<i>Хорошо</i>
Модель имеет незначительные неточности, имеются существенные ошибки в проведении вычислительного эксперимента, обработке результатов и выводах.	<i>Удовлетворительно</i>
Модель не построена или содержит существенные ошибки	<i>Неудовлетворительно</i>

### Письменный опрос (типовой вариант)

1 Дайте понятие «имитационное моделирование». Для моделирования каких процессов и систем применяется имитационное моделирование?

2. Перечислите этапы технологии имитационного моделирования.

3. Какой тест на причинность Вы знаете?

4. Перечислите цели имитационного моделирования.

5. Разработать простую имитационную модель равновесной рыночной цены на товар, основываясь на паутиной модели равенства спроса и предложения.

### Критерии оценки письменного опроса

Для оценивания результатов опроса используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания	Шкала оценок
Обучающийся верно ответил на задания 1-4. При этом 5 задание может быть решено неверно из-за незначительной ошибки.	<i>Отлично</i>
Верно решено 4 задания.	<i>Хорошо</i>
Верно решено 3 задания.	<i>Удовлетворительно</i>
Верно решено менее 3 заданий	<i>Неудовлетворительно</i>

### **Технология проведения**

Письменный опрос проводится письменно, в течение 2 академических часов.

### **20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы к зачету.

#### **Перечень вопросов к зачету**

1. Понятие имитационного моделирования сложных систем.
2. Основные направления имитационного моделирования (вероятностное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование).
3. Общие этапы имитационного моделирования. Инструментальные средства имитационного моделирования.
4. Испытание и исследование свойств имитационной модели.
5. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.
6. Понятие статистического моделирования. Основные виды статистического моделирования.
7. Этапы статистического моделирования.
8. Законы распределения случайных величин.
9. Метод Монте-Карло.
10. Основные понятия дискретно-событийного моделирования.
11. Моделирование случайных процессов.
12. Системы массового обслуживания (СМО). Классификация СМО.
13. Основные характеристики СМО.
14. Основные типы СМО и их характеристики (Одноканальная СМО с отказами и ожиданием, многоканальная СМО).
15. Дискретно-событийное моделирование в Anylogic
16. Понятия системной динамики.
16. Основные этапы разработки модели системной динамики.
17. Статистические методы выявления причинно-следственных связей. Построение когнитивной карты.
18. Построение модели системной динамики.
19. Системное моделирование в Anylogic. Примеры моделей системной динамики.
20. Основные понятия агентного моделирования.
21. Модели агента и среды. Моделирование поведения агентов.
22. Агентное моделирование в Anylogic

#### **Контрольно-измерительный материал (типовой вариант)**

1. Статистические методы выявления причинно-следственных связей. Построение когнитивной карты
2. Основные направления имитационного моделирования (вероятностное моделирование, системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование).
3. Модели агента и среды. Моделирование поведения агентов.

### **Технология проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится письменно в течение 2 академических часов.

### Критерии оценки ответов на контрольно-измерительный материал

Для оценивания результатов работы используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания	Шкала оценок
студент демонстрирует глубокое понимание темы, умеет распространять вытекающие из теории выводы для анализа экономической системы, верно отвечает на 3 вопроса..	<i>Отлично</i>
студент демонстрирует понимание теоретических положений темы и базовых понятий, но допускает неточности в ответах, отвечает на 2 вопроса .	<i>Хорошо</i>
студент отвечает на один вопрос.	<i>Удовлетворительно</i>
студент демонстрирует непонимание теоретических основ и базовых понятий курса.	<i>Неудовлетворительно</i>

Оценка промежуточной аттестации формируется как интегральная оценка по следующей формуле:

$$Q_{тек} = 0,08(Q_{лаб1} + Q_{лаб2} + Q_{лаб3} + Q_{лаб4} + Q_{лаб5}) + 0,3Q_{письм} + 0,3Q_{зачет}$$

При округлении оценки используется правило правильного округления.