

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и
образовательным инновациям



О.И.Чуприс
(И.О.Фамилия)

(подпись)
(дата утверждения)

Регистрационный № УД-7916/уч.

Системная динамика и агентное моделирование

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальностей:**

1-31 81 08 Компьютерная математика и системный анализ

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-31 81 08-2013 и учебных планов УВО № G31-250/уч., № G31з-266/уч. от 26.05.2017.

СОСТАВИТЕЛИ:

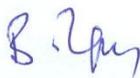
О.А. Лаврова, доцент кафедры дифференциальных уравнений и системного анализа Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа Белорусского государственного университета (протокол №9 от 06.06.2019);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 5 от 28.06.2019).

Зав. кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа, профессор



В.И.Громак

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Целью дисциплины «Системная динамика и агентное моделирование» является формирование и совершенствование у магистрантов знаний, практических навыков и умений построения и реализации динамических (имитационных) моделей сложных систем и процессов на основе парадигм имитационного моделирования: системная динамика и агентное моделирование, а также совершенствование практических навыков анализа систем по результатам их компьютерного (имитационного) моделирования.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование у магистрантов способностей самостоятельно разрабатывать имитационные модели на основе таких подходов, как системная динамика и агентное моделирование;
- формирование у магистрантов способностей использовать инструментальные средства, информационные среды, автоматизированные системы для имитационного моделирования систем;
- формирование у магистрантов способностей использовать математические методы и методы имитационного моделирования для анализа современных естественнонаучных, экономических, социально-политических процессов;
- приобретение способностей самостоятельно расширять компьютерные математические знания с дальнейшим их использованием при построении имитационных моделей, планировании компьютерных экспериментов и анализе выходных данных для широкого круга прикладных задач.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием (магистра).

Дисциплина «Системная динамика и агентное моделирование» относится к циклу дисциплин специальной подготовки компонента учреждения высшего образования и является дисциплиной по выбору магистранта. В рамках данной дисциплины используются знания, навыки и умения, полученные при изучении дисциплины «Дифференциальные уравнения в приложениях».

Требования к компетенциям

В результате изучения дисциплины «Системная динамика и агентное моделирование» студент должен обладать следующими **академическими, социально – личностными и профессиональными компетенциями.**

Академические компетенции:

АК-1. Осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность (включая анализ, сопоставление, систематизацию, абстрагирование, моделирование, проверку достоверности данных, принятие решений и др.).

АК-2. Применять методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие постановку и решение задач научно-педагогической и учебно-методической, научно-исследовательской, научно-производственной, организационно-управленческой и инновационной деятельности.

АК-3. Использовать междисциплинарный подход при решении проблем.

АК-4. Применять технические устройства и компьютеры, использовать базы данных, пакеты прикладных программ и средства компьютерной графики для решения профессиональных задач.

АК-5. Постоянно повышать свою квалификацию.

Социально – личностные компетенции:

СЛК-1. Сотрудничать и работать в команде.

СЛК-2. Владеть коммуникативными способностями для работы в междисциплинарной и международной среде.

СЛК-3. Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности.

СЛК-4. Пользоваться одним из государственных языков Республики Беларусь и иным иностранным языком как средством делового общения.

СЛК-5. Формировать и аргументировать собственные суждения и профессиональную позицию.

СЛК-6. Проявлять инициативу и креативность, в том числе в нестандартных ситуациях.

СЛК-7. Адаптироваться к новым ситуациям социально-профессиональной деятельности, реализовывать накопленный опыт, свои возможности.

СЛК-8. Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности.

Профессиональные компетенции:

ПК-2. Разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение.

ПК-7. Квалифицированно проводить научные исследования в области математики и информационных технологий.

ПК-9. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

ПК-12. Применять современные методологии, формализованные языки и нотации, программные средства для построения и описания моделей процессов, данных, объектов.

ПК-17. Осваивать и реализовывать управленческие инновации в сфере высоких технологий.

В результате изучения учебной дисциплины студент магистратуры должен **знать:**

- этапы имитационного моделирования и принципы их реализаций;
- основные принципы и постулаты системной динамики;
- архитектуру агентных моделей;

– методы статистического анализа результатов имитационного моделирования.

уметь:

– разрабатывать имитационные модели и осуществлять их компьютерную реализацию;

– осуществлять качественный и количественный анализ систем на основе имитационных моделей;

владеть:

– методами построения причинно-следственных диаграмм и потоковых диаграмм на основе системно-динамического подхода;

– методами визуального проектирования агентных моделей в среде AnyLogic.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 3 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Системная динамика и агентное моделирование» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 116 часов, в том числе 32 аудиторных часа, из них: лекции – 16 часов, лабораторные занятия – 16 часов;

– для заочной формы получения высшего образования – всего 116 часов, в том числе 10 аудиторных часов, из них лекции – 5 часов, лабораторные занятия – 5 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации по учебной дисциплине – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Имитационное моделирование. Среда имитационного моделирования AnyLogic.

Определение имитационного моделирования, его целесообразность и эффективность. Основные парадигмы. Этапы итерационного процесса моделирования. Визуальное проектирование в AnyLogic. Понятие валидации и верификации. Внешняя адекватность имитационной модели.

Тема 2. Системная динамика. Связь системных структур и поведения.

Главный постулат системной динамики. Высокий уровень абстракции исследуемых объектов. Моделирование «сверху вниз». Усиливающие и балансирующие петли обратных связей. Системные архетипы.

Тема 3. Системная динамика. Причинно-следственная диаграмма. Качественный анализ систем.

Причинно-следственная диаграмма (causal loop diagram) как графическая нотация системной динамики для представления причинно-следственных связей системы. Усиливающие и балансирующие петли обратных связей. Принципы построения причинно-следственных диаграмм. Точки воздействия для изменения поведения системы. Преодоление системных ловушек.

Тема 4. Системная динамика. Поточковая диаграмма. Количественный анализ систем.

Концепция потоков и накопителей. Структурные элементы потоковых диаграмм (stock&flow diagram). Принципы построения потоковых диаграмм. Непрерывные и дискретные модели.

Тема 5. Агентное моделирование. Архитектура агентных моделей. Описание агентных моделей с помощью ODD-протокола.

Мотивация и целесообразность агентного моделирования. Низкий уровень абстракции исследуемых объектов. Моделирование «снизу вверх». Понятия агент, отношения, среда. Конфигурация агентной модели. Топология связей между агентами. ODD(Overview, Design and Details)-протокол как один из стандартов описания агентных моделей.

Тема 6. Агентное моделирование. Разработка агентных моделей. Карта состояний.

Графическое проектирование агентных моделей. Способы задания поведения агента. Карта состояний (стандарт UML).

Тема 7. Планирование имитационных экспериментов, подготовка данных и анализ выходных данных.

Валидация результатов. Метод коррелированной проверки. Метод доверительного интервала. Методы временного ряда. Анализ выходных данных

для автономной системы. Анализ чувствительности. Методы оптимизации моделирования.

Тема 8. Модель распространения нового продукта или инновации. Системно-динамическая и агентная реализации.

Описание исследуемой системы. Аспекты реализации системно-динамической и агентной моделей в AnyLogic. Интерпретация выходных данных. Усовершенствования модели (изучение распространения нескольких продуктов, моделирование передвижения людей).

Тема 9. Логистическая модель цепочки поставок. Комбинированное моделирование.

Описание исследуемой системы. Аспекты реализации имитационной модели в AnyLogic на основе агентного подхода с применение причинно-следственной диаграммы и дискретно-событийного описания процессов.

Тема 10. Имитационное моделирование потоков (поведение толпы, транспортный трафик).

Демонстрационные примеры социальных процессов: модель сегрегации Шеллинга, Prisoner's Dilemma. Имитационное моделирование поведения толпы. Имитационное моделирование транспортного трафика.

Тема 11. Имитационное моделирование распространения эпидемий. Имитационное моделирование распространения эпидемий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Системная динамика и агентное моделирование	16			16			
1.	Имитационное моделирование. Среда имитационного моделирования AnyLogic	1			2			Устный опрос, собеседование
2.	Системная динамика. Связь системных структур и поведения	1						Собеседование
3.	Системная динамика. Причинно-следственная диаграмма. Качественный анализ систем	2			2			Собеседование
4.	Системная динамика. Поточковая диаграмма. Количественный анализ систем	2			2			Устный опрос, отчет по лабораторной работе с устной защитой
5.	Агентное моделирование. Архитектура агентных моделей. Описание агентных моделей с помощью ODD-протокола	2			2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой
6.	Агентное моделирование. Разработка	2						Собеседование

	агентных моделей. Карта состояний						
7.	Планирование имитационных экспериментов, подготовка данных и анализ выходных данных	2					Собеседование
8.	Модель распространения нового продукта или инновации. Системно-динамическая и агентная реализации	1			4		Отчет по лабораторной работе с устной защитой
9.	Логистическая модель цепочки поставок. Комбинированное моделирование	1			4		Отчет по лабораторной работе с устной защитой
10.	Имитационное моделирование потоков (поведение толпы, транспортный трафик)	1					Устный опрос
11.	Имитационное моделирование распространения эпидемий	1					Устный опрос

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Заочная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Системная динамика и агентное моделирование	5			5			
1.	Имитационное моделирование. Среда имитационного моделирования AnyLogic	1						Собеседование
2-4.	Системная динамика. Связь системных структур и поведения. Качественный и количественный анализ систем	1						Собеседование
5-6.	Агентное моделирование. Архитектура агентных моделей. Разработка агентных моделей	1						Собеседование
8.	Модель распространения нового продукта или инновации. Системно-динамическая и агентная реализации				3			Отчет по лабораторной работе с устной защитой
9.	Логистическая модель цепочки поставок. Комбинированное моделирование				2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой
10.	Имитационное моделирование потоков	1						Устный опрос

	(поведение толпы, транспортный трафик)							
11.	Имитационное моделирование распространения эпидемий	1						Устный опрос

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Шеннон, Р. Имитационное моделирование /пер. с англ. М.: Мир, 1978.
2. Кельтон, В., Лоу А. Имитационное моделирование /пер. с англ. 3-е изд. СПб.: Питер, 2004.
3. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Каталевский. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с.
4. Гараедаги, Д. Системное мышление. Как управлять хаосом и сложными процессами / Д. Гараедаги. — Мн.: Гревцов Букс, 2010.
5. Медоуз, Д. Х. Азбука системного мышления / пер. с англ.; под ред. Н. П. Тарасовой. М.: БИНОМ, 2010.
6. Сенге, П. Пятая дисциплина. Искусство и практика обучающейся организации /пер. с англ. Б. Пинскера, И. Татариновой. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2009.
7. Stroh, D. P. Systems Thinking For Social Change: A Practical Guide to Solving Complex Problems, Avoiding Unintended Consequences, and Achieving Lasting Results, Chelsea Green, 2015.

Перечень дополнительной литературы

1. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Пакет имитационного моделирования Simulink: лабораторный практикум / Л. Л. Голубева, А. Э. Малевич, Н. Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2010. 151 с.
2. AnyLogic. <http://www.anylogic.com>
3. Михайлов, В.Н. Имитационное моделирование: учебно-методическое пособие. / В.Н. Михайлов. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с.
4. Григорьев, И. AnyLogic за три дня. Практическое пособие по имитационному моделированию. / И. Григорьев. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2016. — 496 с.
5. Киселева, М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учебно-методическое пособие / М.В. Киселева. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2009. — 496 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Контроль работы магистранта на лекции проходит в форме собеседования. На лабораторных занятиях магистранты выполняют лабораторные работы, защита которых проходит в форме отчетов по лабораторным работам с устной защитой. Задания к лабораторным работам составляются согласно содержанию учебного материала.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Системная динамика и агентное моделирование» учебным планом предусмотрен экзамен.

Экзамен по дисциплине проходит в устной форме.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- ответы на лекциях – 20 %;
- отчеты по лабораторным работам – 80 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент текущей успеваемости – 0.4, весовой коэффициент экзаменационной оценки – 0.6.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проектный, практико-ориентированный)

При организации образовательного процесса используется **эвристический подход**, который предполагает:

осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира;

демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;

творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;

индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

освоение содержание образования через решения практических задач;
приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;

ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;

использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса *используется метод проектного обучения*, который предполагает:

способ организации учебной деятельности студентов, развивающий актуальные для учебной и профессиональной деятельности навыки планирования, самоорганизации, сотрудничества и предполагающий создание собственного продукта;

приобретение навыков для решения исследовательских, творческих, социальных, предпринимательских и коммуникационных задач.

Примерные темы лабораторных занятий

1. Среда имитационного моделирования AnyLogic.
2. Системные архетипы.
3. ODD-протокол для описания агентных моделей.
4. Использование карт состояний (стандарт UML) в имитационных моделях.
5. Анализ выходных данных. Метод коррелированной проверки.
6. Анализ выходных данных. Метод доверительного интервала.
7. Анализ выходных данных. Методы временного ряда.
8. Методы оптимизации моделирования.
9. Модель дорожного движения.
10. Модели логистических процессов на предприятии.
11. Имитационное моделирование потоков людей.
12. Имитационное моделирование распространения эпидемий.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- выполнение домашнего задания;
- работы, предусматривающие решение задач и выполнение упражнений, выдаваемых на лабораторных занятиях;
- подготовка отчета по лабораторной работе.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы УВО по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (название кафедры) (протокол № ____ от _____ 201_ г.)

Заведующий кафедрой

(ученая степень, ученое звание)_____
(подпись)_____
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(ученая степень, ученое звание)_____
(подпись)_____
(И.О.Фамилия)