

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного  
университета



А.Д.Король

23 декабря 2024 г.

Регистрационный № 1883/б.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В SIMULINK

Учебная программа учреждения образования  
по учебной дисциплине для специальности:

**6-05-0533-08 Компьютерная математика и системный  
анализ**

2024 г.

Учебная программа составлена ОСВО 6-05-0533-08-2023, учебных планов БГУ № 6-5.4-56/01 от 15.05.2023, № 6-5.4-56/11 ин. от 31.05.2023.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

**Л.Л. Голубева**, заведующая кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

**А.Э. Малевич**, доцент кафедры дифференциальных уравнений и системного анализа механико-математического факультета Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

**В.В. Сорокина**, математик-программист ООО "Селектио", кандидат технических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа БГУ (протокол № 5 от 28.11.2024)

Научно-методическим советом БГУ (протокол № 5 от 19.12.2024)

Зав. кафедрой дифференциальных уравнений и системного анализа,  
к.ф.-м.н., доцент



Л. Л. Голубева

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Цели и задачи учебной дисциплины

**Цель** учебной дисциплины «Имитационное моделирование в Simulink» – повышение уровня профессиональной компетентности студентов путем обучения навыкам и умениям компьютерного имитационного моделирования и проведения исследований для решения проблем классического и современного естествознания.

**Образовательная цель:** обучение студентов методам и приемам компьютерного имитационного моделирования в современной компьютерной математической среде MATLAB-Simulink, эффективному исследованию посредством компьютера широкого круга проблем математического содержания.

**Развивающая цель:** формирование у студентов практических навыков построения и анализа математических и компьютерных имитационных моделей динамических систем.

### Задачи учебной дисциплины:

1. исследование и разработка моделей, алгоритмов, методов, программных решений, инструментальных средств по тематике выполняемых учебных и научно-исследовательских проектов;
2. разработка и исследование математических и имитационных моделей в определенной предметной области;
3. составление и подготовка к публикации научных обзоров, рефератов, библиографий, научно-технических отчетов по тематике выполняемых проектов.

**Место учебной дисциплины.** В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина «Имитационное моделирование в Simulink» относится к модулю «Компьютерное моделирование» компонента учреждения образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

При изучении дисциплины применяются знания из курсов «Дифференциальные уравнения» и «Компьютерная математика».

### Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Имитационное моделирование в Simulink» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

#### *специализированная* компетенция:

Осуществлять математическое и компьютерное моделирование для прикладных исследований.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

– идеологию среды Simulink для динамического междисциплинарного моделирования сложных технических систем среды MATLAB и принципы работы в ней; инструментальные средства для модельно-ориентированного

проектирования, элементы управления, интерфейс; структуры данных; особенности построения имитационных моделей и проведения экспериментов; возможности визуализации исследований и оформления результатов исследований в виде публикаций;

- графический язык Stateflow для создания комбинаторной логики и логики принятия решений.

**уметь:**

- осуществлять математическое и компьютерное моделирование для прикладных исследований в среде Simulink и Stateflow пакета MATLAB;

- применять современный математический аппарат в эффективной интеграции с инструментальными компьютерными математическими средствами;

- создавать и исследовать математические, компьютерные имитационные модели различных уровней абстракции, проводить анализ результатов исследований;

- готовить материалы к публикации, в том числе в электронных изданиях, по тематике и результатам проводимых исследований;

**иметь навык:**

- построения моделей реальных систем

- интерпретации результатов симуляции моделей на основе ДУ.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 4-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Имитационное моделирование в Simulink» отведено:

- для очной формы получения высшего образования: 90 часов, в том числе 34 аудиторных часа, из них: лекции – 16 часов (в том числе – 4 ч/ДОТ), лабораторные занятия – 14 часов (в том числе – 4 ч/ДОТ), управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### **Раздел 1. Simulink как инструмент модельно-ориентированного проектирования сложных технических систем**

#### **Тема 1.1. Компьютерное моделирование и Simulink**

Компьютерное моделирование и компьютерная модель. Математическое моделирование, математическая модель. Имитационное моделирование. Simulink как программа имитационного моделирования динамических и событийно-управляемых систем. Графический интерфейс пользователя системы Simulink. Основные составляющие модели Simulink. Библиотека блочных компонентов. Графический редактор для построения и управления блочными диаграммами. Блоки-генераторы сигналов, блоки-приемники сигналов, блоки-преобразователи сигналов. Основные этапы построения компьютерной имитационной модели: постановка задачи, предметная область, вербальная модель, научная модель, математическая модель, компьютерная модель.

#### **Тема 1.2. Динамические системы**

Понятие динамической системы. Нормальные системы ОДУ 1-го порядка. Нормальные автономные системы ОДУ 1-го порядка. Интегральная кривая. Состояние, начальное состояние, пространство состояний. Фазовая траектория, фазовое пространство, фазовая диаграмма. Математическая модель в пространстве состояний для тела, подброшенного вертикально вверх.

#### **Тема 1.3. Решатели (Solver) и интеграторы (Integrator)**

Аналитическое и численное моделирование. Параметры конфигурации Simulink-модели Configuration Parameters. Дискретные и непрерывные системы. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Решатели ОДУ с фиксированным шагом и с переменным шагом. Блок Integrator. Определение «перехода через ноль». Понятие «алгебраической петли». Имитационная компьютерная модель на примере тела, подброшенного вертикально вверх.

#### **Тема 1.4. Взаимодействие и обмен данными между MATLAB и Simulink**

Уровни обмена данными между MATLAB и Simulink. Использование переменных Workspace для задания параметров блоков. Установка параметров обмена с рабочей областью Workspace. Блоки передачи информации (сигналов) в модель Simulink из рабочего пространства и из MAT-файла. Блоки для передачи результатов выполнения расчетов из модели Simulink в рабочее пространство и сохранения в MAT-файле. Ручной вызов m-файлов из Simulink-модели. Автоматическое выполнение команд m-файлов до и после выполнения модели. Вызов и выполнение расчетов Simulink-модели из m-файла.

#### **Тема 1.5. S-функции**

Назначение S-функций, цель их использования. Определение S-функций. Языки написания S-функций. Блок S-Function, его параметры. Математическое описание S-функции. Этапы Simulink-моделирования. Создание S-функций на

языке MATLAB. Определение блока характеристик S-функции. Callback-методы S-функции. Применение S-функции для создания анимации.

### **Тема 1.6. Управляемые подсистемы**

Виртуальные и монолитные подсистемы. Управляемые и неуправляемые подсистемы. Типы управляемых подсистем. Связь подсистемы с моделью. Способы создания подсистем. Создание и конфигурирование подсистем. Уровни подсистем в иерархии модели.

## **Раздел 2. Stateflow как инструмент моделирования конечных автоматов и разработки управляющей логики**

### **Тема 2.1. Системы, управляемые событиями. Stateflow-диаграммы**

Сложные системы. Гибридные системы. Трансформационные системы. Реактивные системы. Основные компоненты диаграммы состояний. Концепция конечного автомата.

Назначение пакета событийного моделирования Stateflow. Графический редактор Stateflow. Связь Stateflow с Simulink и MATLAB. Что такое Stateflow-диаграмма. Технология совместного использования Simulink и Stateflow.

### **Тема 2.2. Диаграммы переходов состояний**

Диаграммы переходов состояний StateChart. Подключение блока Chart к Simulink-модели. Иерархия Stateflow-объектов. Графические и неграфические объекты. События, состояния, действия, переходы. Состояния, их характеристики. Типы действий, связанные с состояниями. Нотации меток состояний. Переходы. Действия, связанные с переходами. Условия, связанные с переходами. Нотации меток переходов. Безусловный переход. Соединительные переходы. Хронологические соединения. Псевдосостояния. Обмен данными между Simulink-моделью и блоком Chart. Генерация событий.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ)

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
	<b>Имитационное моделирование в Simulink</b>	<b>16</b>			<b>14</b>		<b>4</b>	
1.	<b>Simulink как инструмент модельно-ориентированного проектирования сложных технических систем</b>	<b>12</b>			<b>10</b>		<b>4</b>	
1.1	Компьютерное моделирование и Simulink.	2			2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой
1.2	Динамические системы.	2			2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой
1.3	Решатели (Solver) и интеграторы (Integrator).	2			2		2	Отчет по лабораторной работе с устной защитой Контрольная работа
1.4	Взаимодействие и обмен данными между MATLAB и Simulink.	2 ДО Т			2 ДОТ			Отчет по лабораторной работе с устной защитой

1.5	S-функции.	2					2	Отчет по лабораторной работе с устной защитой. Контрольная работа.
1.6	Управляемые подсистемы.	2			2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой.
2	<b>Stateflow как инструмент моделирования конечных автоматов и разработки управляющей логики</b>	<b>4</b>			<b>4</b>			
2.1	Системы, управляемые событиями. Stateflow-диаграммы.	2 ДО Т			2 ДОТ			Отчет по лабораторной работе с устной защитой.
2.2	Диаграммы переходов состояний.	2			2			Отчет по лабораторной работе с устной защитой.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Кудинов, Ю. И. Теория автоматического управления (с использованием MATLAB — SIMULINK) : учебное пособие для студентов вузов / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пащенко. - Изд. 4-е, испр. и доп. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021. - 304 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/176901#2>.
2. Стефанова, И. А. Обработка данных и компьютерное моделирование: учебное пособие / И. А. Стефанова. Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2020. - 109 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/126939>.
3. Ростовцев, В. С. Искусственные нейронные сети : учебник / В. С. Ростовцев. - Изд. 2-е, стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2021. - 213 с. - URL: <https://reader.lanbook.com/book/310184#1>.

### Дополнительная литература

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. <http://elib.bsu.by/handle/123456789/4171>
3. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Числовой пакет MATLAB: курс лекций / Л. Л. Голубева, А. Э. Малевич, Н. Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2007. 164 с.
4. Голубева, Л. Л. Компьютерная математика. Числовой пакет MATLAB: лабораторный практикум / Л. Л. Голубева, А. Э. Малевич, Н. Л. Щеглова. Минск: БГУ, 2008. 171 с.
5. Дьяконов, В. П. MATLAB. Полный самоучитель / В. П. Дьяконов. М.: ДМК Пресс, 2012. 768 с.: ил.
6. Черных, И. В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. М.: Диалог-МИФИ, 2003. 496 с.
7. Angermann, A. MATLAB – Simulink – Stateflow. Grundlagen, Toolboxes, Beispiele / A. Angermann, M. Beuschel, M. Rau, U. Wohlfarth. Oldenburg Verlag München Wien, 2007. 495 p.
8. Eshkabilov, S. Beginning MATLAB and Simulink: From Novice to Professional / S. Eshkabilov. Apress, 2019. 544 p.
9. MATLAB Documentation [Электронный ресурс]. – The MathWorks, Inc, 2024. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/matlab/> – Дата доступа: 07.04.2024.
10. Simulink documentation. [Электронный ресурс]. – The MathWorks, Inc, 2024. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/simulink/> – Дата доступа: 07.04.2024.

11. Stateflow documentation. [Электронный ресурс]. – The MathWorks, Inc, 2024. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/stateflow/> – Дата доступа: 07.04.2024.
12. MATLAB документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/matlab/index.html/>. – Дата доступа: 07.04.2024.
13. Simulink документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/simulink/index.html/>. – Дата доступа: 07.04.2024.
14. Stateflow документация. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.exponenta.ru/stateflow/index.html/>. – Дата доступа: 07.04.2024.
15. *Овинников, А. А.* Основы работы в средах MATLAB и Simulink: учебное пособие. / А. А. Овинников. - Москва: КУРС, 2022. - 132 с. (Учебники и учебные пособия для высшей школы).

### **Рекомендуемое учебно-лабораторное оборудование**

Для проведения занятий требуются следующее программное обеспечение: операционная система MS Windows, MS Office, пакет MATLAB, Simulink, Stateflow.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины «Имитационное моделирование в Simulink». Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущей аттестации (текущего контроля знаний) и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций по дисциплине «Имитационное моделирование в Simulink» используются следующие формы **текущего контроля** (текущей аттестации): отчет по лабораторной работе с устной защитой, контрольная работа.

Задания к лабораторным, контрольным работам и УСР составляются согласно содержанию учебного материала. Во время самостоятельной работы студент выполняет задания, полученные на лабораторных занятиях, а также изучает рекомендуемую литературу. При защите лабораторных работ оценивается полнота ответа, аргументация выбранных решений, последовательность и оригинальность изложения материала, оригинальность кода, корректность оформления, самостоятельность выполнения заданий. Также ценится знание студентом теоретических сведений, полученных на лекциях, поэтому студенту при выполнении лабораторных заданий необходимо знание лекционных материалов.

Формой **промежуточной аттестации** по дисциплине «Имитационное моделирование в Simulink» учебным планом предусмотрен **зачет**.

Зачет по дисциплине проходит в форме контрольного опроса в устной или письменной форме, выполнения заданий на компьютере. Явка студента на зачет является обязательной

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

#### **Тема 1.3. Решатели (Solver) и интеграторы (Integrator) (2 часа)**

Цель: построение модели маятника, движение которого ограничено вертикальной стенкой.

Задание 1. Модель колебаний маятника с односторонним ограничением движения без учета сопротивления среды и абсолютно упругим ударом.

Задание 2. Модель колебаний маятника с односторонним ограничением движения, не абсолютно упругим ударом без учета сопротивления среды

Задание 3. Модель затухающих колебаний маятника

Задание 4. Модель колебаний маятника с двусторонним ограничением движения.

При выполнении заданий студент должен выработать навыки самостоятельного применения знаний и результатов, полученных при выполнении предыдущих лабораторных работ: «Движение тела, подброшенного вертикально вверх» и «Модель маятника без ограничения движения».

Задания выполняются на основе методических указаний к лабораторной работе.

Форма контроля – контрольная работа.

#### **Тема 1.5. S-функции (2 часа)**

Задание 1. Создать модель, блок пользователя и S-функцию, выполняющую умножение входного сигнала на коэффициент на заданный коэффициент  $k$ .

Задание 2. Создать блок пользователя и S-функцию для выполнения анимации маятника с ограничением движения.

Задание 3. Создать модель, блок пользователя и S-функцию, выполняющую анимацию «плывущего» графика.

Задания выполняются на основе методических указаний к лабораторной работе.

Форма контроля – контрольная работа.

### **Примерная тематика лабораторных занятий**

Занятие № 1. Знакомство с работой в Simulink. Простейшие модели.

Занятие № 2. Модель мячика, подброшенного вертикально вверх.

Занятие № 3. Модель маятника на жестком стержне.

Занятие № 4. Модель маятника на жестком стержне с вертикальным ограничением движения.

Занятие № 5. Модель пружинно-амортизирующей системы автомобиля.

Занятие № 6. S-функции, разработка собственных блоков, анимация.

Занятие № 7. Работа с подсистемами.

Занятие № 8. Системы, управляемые событиями. Диаграммы переходов и состояний.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем, индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

При организации образовательного процесса используется *практико-ориентированный подход*, который предполагает освоение содержания через решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности.

При организации образовательного процесса *используются методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

На лекциях и лабораторных занятиях используются следующие методы обучения: проблемного изложения, поисковый, репродуктивный, исследовательский. При проведении занятий также планируется использовать наглядные методы, такие как иллюстрация, демонстрация, визуализация.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендовано разместить на образовательном портале или сайте кафедры учебно-методические материалы: курсы лекций и лабораторные практикумы, методические указания к лабораторным занятиям, вопросы для подготовки к зачету, перечень рекомендуемой литературы, информационные ресурсы.

Самостоятельная работа студента включает в себя работу с учебной литературой по заданным разделам дисциплины, поиск новейшей учебной и научной информации в указанных областях знаний и знакомство с ней, а также выполнение поставленных заданий

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Модель. Моделирование. Виды моделирования. Компьютерное моделирование и компьютерная модель. Математическое моделирование, математическая модель.
2. Имитационное моделирование. Этапы построения компьютерной модели.

3. Динамическая система. Система ОДУ 1-го порядка. Нормальная система. Автономная нормальная система. Решение системы ОДУ 1-го порядка. Состояние. Скорость изменения состояния. Интегральная кривая. Фазовая траектория. Фазовое пространство. Фазовая диаграмма.
4. Компьютерный пакет для моделирования динамических систем Simulink. Операционная среда и интерфейс пользователя Simulink.
5. Библиотека блоков Simulink. Основные составляющие Simulink-модели. Блок. Категории данных в Simulink-модели.
6. Непрерывные и дискретные динамические системы. Параметры конфигурации Simulink-модели. Численные методы решения дифференциальных уравнений.
7. Блок Integrator, назначение, параметры, входные и выходные порты, формула расчета. Алгебраические циклы (петля).
8. Способы взаимодействия между MATLAB и Simulink. Обмен данными между MATLAB и Simulink.
9. Параметры конфигурации модели для обмена данными с рабочей областью Workspace.
10. Блоки для обмена данными между MATLAB и Simulink. Ручной и автоматический вызов m-файлов из Simulink-модели. Запуск Simulink-модели из m-файла.
11. Назначение S-функций, цель их использования. Структура S-функции, входные и выходные параметры. Языки написания S-функций.
12. Блок S-Function, его параметры. Математическое описание блока Simulink. Этапы выполнения расчетов Simulink-модели.
13. Назначение подсистем. Типы подсистем. Связь подсистемы с моделью. Способы создания подсистем.
14. Типы управляемых подсистем, их характеристика. Управляющий сигнал и управляющий вход. Управляющие блоки.
15. Гибридные системы. Трансформационные системы. Реактивные системы. Абстрактный автомат. Конечный автомат.
16. Пакет Stateflow. Блок Chart. Графический редактор Stateflow.
17. Диаграмма состояний. Основные графические и неграфические компоненты диаграммы состояний.
18. Конечный автомат как ориентированный граф. Управление конечным автоматом из Simulink-модели.
19. Обмен данными между конечным автоматом и Simulink-моделью.
20. Состояния, нотации меток состояний.
21. Переходы, нотации меток переходов.
22. События. Триггерные и нетриггерные переходы. Сторожевые условия.
23. Действия, связанные с состояниями и переходами. Виды соединений.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Дифференциальные уравнения.	Кафедра дифференциальных уравнений и системного анализа	Изменений не требуется	Протокол № 5 от 28.11.2024

Зав. кафедрой дифференциальных уравнений  
и системного анализа  
Л. Л. Голубева



28.11.2024

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание)

\_\_\_\_\_  
(И.О.Фамилия)