Министерство просвещения Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ульяновский государственный педагогический университет
имени И.Н. Ульянова»
(ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет физико-математического и технологического образования
Кафедра высшей математики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебно-методической работе
_____ С.Н. Титов
«_25_» __июня___ 2021 г.

ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Программа учебной дисциплины модуля
Специальные разделы предметной области

основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки),

направленность (профиль) образовательной программы
Физика. Математика

(очная форма обучения)

Составитель: Макеева О.В.,
доцент кафедры высшей математики

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-математического и технологического образования, протокол от 21 июня 2021г. №_7_

Ульяновск, 2021

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0233C9D60038B01A9E48C1A3FBB4A9D9F6
Владелец: Титов Сергей Николаевич
Действителен: с 07.07.2023 до 28.04.2038

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Динамические системы» входит в модуль «Специальные разделы предметной области» части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули) учебного плана основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы «Физика. Математика», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на результаты обучения, сформированные в рамках дисциплин «Математический анализ», «Введение в аналитическую геометрию», «Основы математической обработки информации».

Результаты изучения дисциплины являются необходимыми для изучения дисциплин: «Общая и экспериментальная физика», «Теория и методика обучения физике», «Теория и методика обучения математике» и прохождения практик: Производственная (педагогическая) Преподавательская по математике и Преподавательская по физике.

1. Перечень планируемых результатов обучения (образовательных результатов) по дисциплине

Целью освоения дисциплины «Динамические системы» является подготовка бакалавра к работе учителем физики и математики в общеобразовательной школе. Дисциплина предназначена дать будущим учителям профессиональную (теоретическую и практическую) подготовку в области теории и методики обучения математике и физике на различных ступенях общеобразовательной школы.

Задачей освоения дисциплины является формирование системы знаний, включающих методы построения и исследования учебных математических моделей детерминированных динамических систем процессов и явлений с помощью дифференциальных уравнений; формирование системы знаний о методах анализа и решения основных типов обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка и уравнений высших порядков, допускающих понижение порядка, систем дифференциальных уравнений; формирование и развитие компетенций будущего учителя математики и физики в теории и практике решения основных типов дифференциальных уравнений, возникающих в различных областях естествознания.

В результате освоения программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине «Динамические системы» (в таблице представлено соотнесение образовательных результатов обучения по дисциплине с индикаторами достижения компетенций):

Компетенция и индикаторы ее достижения в дисциплине	Образовательные результаты дисциплины (этапы формирования дисциплины)		
	знает	умеет	владеет
ПК-12 Способен выделять структурные элементы, входящие в систему познания предметной области (в соответствии с профилем и уровнем	ОР-1. Знает основные понятия теории дифференциальных уравнений ОР-3. Знает базовые типы	ОР-2. Умеет решать дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными ОР-4. Умеет классифицировать и	

обучения), анализировать их в единстве содержания, формы и выполняемых функций. ПК-12.1. Знает формулировки определений, содержательное значение терминов и понятий предметной области, правила и алгоритмы оперирования с объектами предметной области, понимает взаимосвязь между структурными элементами; имеет представление о функциях и практическом применении изучаемых объектов. ПК-12.2. Умеет выделять и анализировать структурные элементы, входящие в систему познания предметной области; определять логическую взаимосвязь между компонентами предметной области; строить логически верные и обоснованные рассуждения; решать задачи предметной области.	дифференциальных уравнений первого порядка и методы их решения ОР-5. Знает приемы решения уравнений высших порядков, допускающих понижение порядка ОР-7. Знает приемы решения линейных дифференциальных уравнений высших порядков ОР-9. Знает методы решения систем дифференциальных уравнений	решать дифференциальные уравнения первого порядка ОР-6. Умеет классифицировать и решать уравнения высших порядков, допускающих понижение порядка ОР-8. Умеет классифицировать и решать линейные дифференциальные уравнения высших порядков ОР-10. Умеет классифицировать и решать простейшие системы дифференциальных уравнений	

ПК-14 Способен устанавливать содержательные, методологические и мировоззренческие связи предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения) со смежными научными областями. ПК-14.1. Знает роль и возможности применения аппарата предметной области в смежных научных областях, их методологическое и мировоззренческое значение; имеет представление о междисциплинарных связях, научных методах смежных областей ПК-14.2. Умеет определять роль полученных знаний для смежных областей и для школьного курса, применять полученные знания в решении прикладных задач.	ОР-11 Имеет представления о дифференциальных уравнениях как моделях динамических систем	ОР-12. Умеет составлять и исследовать простейшие математические модели динамических систем на основе дифференциальных уравнений	

2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Номер семестра	Учебные занятия						Форма промежуточной аттестации
	Всего		Лекции, час	Практические занятия, час	Лабораторные занятия, час	Самостоят. работа, час	
	Трудоемк.						
	Зач. ед.	Часы					

4	3	108	18	30	-	33	экзамен (27)
Итого:	3	108	18	30	-	33	

3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

3.1.Указание тем (разделов) и отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ п/п	Наименование раздела и тем	Количество часов по формам организации обучения			
		Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятель-ная работа
4 семестр					
1.	Основные понятия теории ОДУ	2	4	–	4
2.	Дифференциальные уравнения первого порядка как модели динамических систем	6	10	–	8
3.	Дифференциальные уравнения высших порядков, допускающие понижение порядка	2	4	–	5
4.	Линейные дифференциальные уравнения высших порядков с постоянными коэффициентами как модели динамических систем	4	8	–	8
5.	Системы дифференциальных уравнений как модели динамических систем	4	4		8
	Итого	**18**	**30**	**–**	**33**

3.2.Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины

Раздел 1. Основные понятия

Дифференциальное уравнение, обыкновенное дифференциальное уравнение, уравнение в частных производных. Порядок уравнения. Общее и частное решение обыкновенного дифференциального уравнения. Дифференциальные уравнения первого порядка, разрешенные относительно производной. Задача Коши для уравнения 1-го порядка, разрешенного относительно производной. Теорема существования и единственности решения задачи Коши (без доказательства). Особые решения. Дифференциальные уравнения первого порядка в симметричной форме. Геометрическая

интерпретация основных понятий: поле направлений, интегральные кривые, огибающая семейства кривых.

Раздел 2. Дифференциальные уравнения первого порядка как модели динамических систем

Понятие динамической системы. Динамические системы в различных областях естествознания.

Моделирование динамических систем с помощью дифференциальных уравнений. Уравнения с разделяющимися переменными. Однородные уравнения. Уравнения в полных дифференциалах. Линейные дифференциальные уравнения первого порядка. Уравнения Бернулли.

Раздел 3. Дифференциальные уравнения высших порядков, допускающие понижение порядка

Дифференциальные уравнения высших порядков, разрешенные относительно старшей производной. Задача Коши для уравнения, разрешенного относительно старшей производной. Теоремы существования и единственности решения задачи Коши (без доказательства). Уравнения вида $y^{(n)} = f(x)$. Уравнения вида $F(x, y', y'', \ldots, y^{(n)}) = 0$. Уравнения вида $F(y, y', y'', \ldots, y^{(n)}) = 0$. Уравнения вида $F(x, y^{(k)}, \ldots, y^{(n)}) = 0$.

Раздел 4. Линейные дифференциальные уравнения высших порядков с постоянными коэффициентами как модели динамических систем

Линейное дифференциальное уравнение. Однородные линейные уравнения. Неоднородные линейные уравнения. Свойства решений линейных уравнений. Фундаментальная система решений линейного однородного уравнения. Определитель Вронского. Теорема о структуре общего решения однородного и неоднородного уравнения. Решение неоднородного уравнения методом неопределенных коэффициентов и методом вариации произвольных постоянных. Линейные однородные дифференциальные уравнения с постоянными коэффициентами. Характеристический многочлен. Действительные корни (простые, кратные). Комплексные корни (простые, кратные). Линейные неоднородные уравнения с постоянными коэффициентами.

Моделирование динамических систем с помощью дифференциальных уравнений: применение линейных дифференциальных уравнений к изучению свободных и вынужденных колебаний**.**

Раздел 5. Системы дифференциальных уравнений как модели динамических систем

Системы дифференциальных уравнений. Нормальная форма системы дифференциальных уравнений. Задача Коши для нормальной системы уравнений. Теоремы существования и единственности решения задачи Коши (без доказательства). Решение систем методом исключения и методом интегрируемых комбинаций.

Моделирование динамических систем с помощью систем дифференциальных уравнений. Кинематическая интерпретация дифференциальных уравнений: понятие о фазовых портретах динамических систем.

4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Самостоятельная работа студентов является особой формой организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательно, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную на достижение конкретного результата, осуществляемую без прямой помощи преподавателя.

Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям и экзамену. Она предусматривает, как правило, разработку рефератов, написание докладов, выполнение творческих, индивидуальных заданий в соответствии с учебной программой (тематическим планом изучения дисциплины). Тема для такого выступления может быть предложена преподавателем или избрана самим студентом, но материал выступления не должен дублировать лекционный материал. Реферативный материал служит дополнительной информацией для работы на практических занятиях. Основная цель данного вида работы состоит в обучении студентов методам самостоятельной работы с учебным материалом. Для полноты усвоения тем, вынесенных в практические занятия, требуется работа с первоисточниками. Курс предусматривает самостоятельную работу студентов со специальной литературой. Следует отметить, что самостоятельная работа студентов результативна лишь тогда, когда она выполняется систематически, планомерно и целенаправленно.

Задания для самостоятельной работы предусматривают использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Общий объем самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме выполнения письменных проверочных работ по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена базой тестовых материалов по разделам дисциплины.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме подготовки к устным выступлениям (докладам по теме реферата).

Примерное содержание итоговой контрольной работы

Часть 1

1. Докажите, что функция $y = f(x)$ удовлетворяет дифференциальному уравнению $F(x, y, y') = 0$.
2. Определите тип дифференциального уравнения первого порядка и решите его (уравнение с разделяющимися переменными, однородное дифференциальное уравнение, уравнение в полных дифференциалах; линейное уравнение, уравнение Бернулли).
3. Найдите общий интеграл уравнения. Постройте интегральные кривые. Найдите частный интеграл по заданному начальному условию.
4. По данным условия задачи составьте дифференциальное уравнение и решите его. Сделайте рисунок.
5. Найдите общее решение дифференциального уравнения, допускающего понижение порядка. Найдите решение задачи Коши по заданным начальным условиям.
6. Исследуйте, являются ли функции линейно зависимыми на области определения.

Часть 2

7. Найдите общее решение линейного однородного дифференциального уравнения второго порядка по заданному его частному решению $y_1(x)$.
8. Составьте линейное однородное дифференциальное уравнение (возможно меньшего порядка) для которого данные функции являются частными решениями.

9. Найдите общее решение линейного неоднородного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами по заданному частному решению $y_1(x)$ соответствующего однородного уравнения.
10. Найдите общее решение линейного однородного / неоднородного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами.
11. Найдите решение задачи Коши для линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами.
12. Найдите общее / частное решение системы дифференциальных уравнений.

Примерный перечень тем рефератов

1. Семья Бернулли и дифференциальные уравнения.
2. Решение дифференциальных уравнений при помощи рядов.
3. Кривые, связанные с движением точки или тела на плоскости/в пространстве (экспоненциальная кривая, парабола Нейля, цепная линия, трактриса).
4. Приближенные методы решения дифференциальных уравнений.
5. Применение теоремы Банаха о сжимающем отображении к решению дифференциальных уравнений и их систем.
6. Дифференциальные уравнения как средство изучения колебательных явлений.
7. Приложения дифференциальных уравнений в задачах естествознания (задача о кривой наискорейшего спуска, задача о провисании цепной линии, модель Вольтерра «хищник-жертва»).
8. Линейные дифференциальные операторы и их приложения.
9. Дискретные и непрерывные динамические модели.
10. Автоколебания.
11. Регулярные аттракторы.
12. Устойчивые и неустойчивые динамические системы.
13. Нелинейные динамической системы.
14. Детерминированный хаос.
15. Вероятностные свойства динамической системы.
16. Странные аттракторы.
17. Бифуркации динамических систем.
18. «Жесткие» и «мягкие» бифуркации. Катастрофы.

Для самостоятельной подготовки к занятиям по дисциплине рекомендуется использовать учебно-методические материалы:

5. Примерные оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Организация и проведение аттестации студента

ФГОС ВО в соответствии с принципами Болонского процесса ориентированы преимущественно не на сообщение обучающемуся комплекса теоретических знаний, но на выработку у бакалавра компетенций – динамического набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволят выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда и успешно профессионально реализовываться.

В процессе оценки бакалавров необходимо используются как традиционные, так и инновационные типы, виды и формы контроля. При этом постепенно традиционные средства совершенствуются в русле компетентностного подхода, а инновационные средства адаптированы для повсеместного применения в российской вузовской практике.

Цель проведения аттестации – проверка освоения образовательной программы дисциплины-практикума через сформированность образовательных результатов.

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины; помогает оценить крупные совокупности знаний и умений, формирование определенных компетенций.

Оценочными средствами текущего оценивания являются: материалы самостоятельных работ, итоговой контрольной работы / реферата. Контроль усвоения материала ведется регулярно в течение всего семестра на практических занятиях.

№ п/п	**СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ,** используемые для текущего оценивания показателя формирования компетенции	Образовательные результаты дисциплины
1.	**Оценочные средства для текущей аттестации** ОС-1 Самостоятельная работа ОС-2 Самостоятельная работа ОС-3 Самостоятельная работа ОС-4 Самостоятельная работа ОС-5 Самостоятельная работа ОС-6 Самостоятельная работа ОС-7 Итоговая контрольная работа / реферат	ОР-1. Знает основные понятия теории дифференциальных уравнений ОР-2. Умеет решать дифференциальные уравнения с разделяющимися переменными ОР-3. Знает базовые типы дифференциальных уравнений первого порядка и методы их решения ОР-4. Умеет классифицировать и решать дифференциальные уравнения первого порядка ОР-5. Знает приемы решения уравнений высших порядков, допускающих понижение порядка ОР-6. Умеет классифицировать и решать уравнения высших порядков, допускающих понижение порядка ОР-7. Знает приемы решения линейных дифференциальных уравнений высших порядков ОР-8. Умеет решать линейные дифференциальные уравнения высших порядков ОР-9. Знает методы решения систем дифференциальных уравнений ОР-10. Умеет классифицировать и решать простейшие системы дифференциальных уравнений ОР-11 Имеет представления о дифференциальных уравнениях как моделях динамических систем ОР-12. Умеет составлять и исследовать простейшие математические модели динамических систем на основе дифференциальных уравнений
2.	**Оценочные средства для промежуточной аттестации** ОС-8 Экзамен в форме устного собеседования	

Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а так же процедуры и критерии оценивания индикаторов достижения компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения образовательной программы представлены в Фонде оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине «Динамические системы».

Материалы, используемые для промежуточного контроля успеваемости обучающихся по дисциплине

ОС-8 Экзамен в форме устного собеседования

Программа экзамена

Раздел 1. Основные понятия

1 Основные понятия теории дифференциальных уравнений (дифференциальное уравнение, обыкновенное дифференциальное уравнение, уравнение в частных производных; порядок дифференциального уравнения; решение дифференциального уравнения, общее и частное решение дифференциального уравнения, особое решение дифференциального уравнения; общий и частный интеграл дифференциального уравнения; интегральная кривая, поле направлений).

2 Начальное условие дифференциального уравнения. Задача Коши. Теорема о существовании и единственности решения дифференциального уравнения $y' = f(x, y)$, удовлетворяющего заданному начальному условию.

Раздел 2. Дифференциальные уравнения первого порядка

3 Понятие динамической системы. Классификация динамических систем.

4 Этапы построения математической модели динамической системы на основе дифференциального уравнения.

5 Уравнения с разделенными переменными.

6 Уравнения с разделяющимися переменными.

7 Однородные функции и однородные уравнения.

8 Уравнения в полных дифференциалах.

9 Линейные уравнения. Метод вариации произвольной постоянной.

10 Линейные уравнения. Метод Бернулли.

11 Уравнения Бернулли.

Раздел 3. Дифференциальные уравнения высших порядков

12 Общий вид дифференциального уравнения n-го порядка. Общее и частное решение дифференциального уравнения n-го порядка.

13 Теорема о существовании и единственности решения дифференциального уравнения $y^{(n)} = f\left(x, y, y', \ldots, y^{(n-1)}\right)$, удовлетворяющего заданным начальным условиям.

14 Дифференциальные уравнения, допускающие понижение порядка: $y^{(n)} = f(x)$.

15 Дифференциальные уравнения, допускающие понижение порядка: $F\left(y^{(n-1)}, y^{(n)}\right) = 0$.

16 Дифференциальные уравнения, допускающие понижение порядка: $F\left(y^{(n-2)}, y^{(n)}\right) = 0$.

17 Дифференциальные уравнения, допускающие понижение порядка: $F\left(x, y^{(k)}, y^{(k+1)}, \ldots, y^{(n)}\right) = 0$.

18 Дифференциальные уравнения, допускающие понижение порядка: $F\left(x, y', y'', \ldots, y^{(n)}\right) = 0$.

Раздел 4. Линейные дифференциальные уравнения

19 Линейные дифференциальные уравнения n-го порядка. Теорема о существовании и единственности решения линейного дифференциального уравнения n-го порядка.
20 Линейные однородные дифференциальные уравнения 2-го порядка. Свойства решений. Линейная независимость решений. Фундаментальная система решений. Структура общего решения.
21 Линейные однородные дифференциальные уравнения n-го порядка. Свойства решений. Линейная независимость решений. Фундаментальная система решений. Структура общего решения.
22 Линейные неоднородные дифференциальные уравнения n-го порядка. Структура общего решения. Метод вариации произвольных постоянных.
23 Линейные однородные дифференциальные уравнения 2-го порядка с постоянными коэффициентами. Характеристическое уравнение. Структура общего решения.
24 Линейные однородные дифференциальные уравнения n-го порядка с постоянными коэффициентами. Характеристическое уравнение. Структура общего решения.
25 Линейные неоднородные дифференциальные уравнения n-го порядка с постоянными коэффициентами. Метод подбора частного решения.
26 Моделирование свободных колебаний с помощью дифференциальных уравнений.
27 Моделирование вынужденных колебаний с помощью дифференциальных уравнений.
28 Резонанс.

Раздел 5. Системы дифференциальных уравнений
29 Системы дифференциальных уравнений. Нормальная форма системы.
30 Системы линейных уравнений.
31 Метод исключения неизвестных.
32 Метод интегрируемых комбинаций.
33 Кинематическая интерпретация дифференциальных уравнений.
34 Понятие о фазовых портретах динамических систем.

В конце изучения дисциплины подводятся итоги работы студентов на лекционных и практических занятиях путем суммирования баллов, набранных в течение семестра.

Критерии оценивания знаний обучающихся по дисциплине

Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся

		Посещение лекции	Посещение практического занятия	Работа на практическом занятии	Контрольная работа	Экзамен
4 семестр	Максимальное количество баллов (за 1 занятие)	1	1	12	32	64
	Количество занятий	9	15	15	1	1
	Максимальная сумма баллов	9	15	180	32	64
	Итоговая сумма баллов	300				

Критерии оценивания работы обучающегося по итогам семестра

Результат	Баллы (3 ЗЕ)
«отлично»	271-300 баллов
«хорошо»	211-270 баллов
«удовлетворительно»	151-210 баллов
«неудовлетворительно»	0-150 баллов

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение курса требует от обучающихся посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Запись **лекции** – одна из форм активной самостоятельной работы обучающихся, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы обучающиеся имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендуя ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Подготовка к практическим занятиям.

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале практического занятия преподаватель знакомит студентов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задания. В течение отведенного времени на выполнение работы студент может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится прием выполненных заданий, собеседование со студентом.

Результаты выполнения практических зданий оцениваются в баллах, в соответствии с балльно-рейтинговой системой университета.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, Интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

Основная литература

1. Альсевич, Л. А. Дифференциальные уравнения. Практикум [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Л.А. Альсевич [и др.]. - Минск: Выш. шк., 2012. – 382 с.
   URL: http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=508479
2. Асташова, И.В. Практикум по курсу «Дифференциальные уравнения» [Электронный ресурс]: учебное пособие / И.В. Асташова, В.А. Никишкин. - М. : Евразийский открытый институт, 2011. - 96 с.
   URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=90289

3. Виленкин, Н. Я. Дифференциальные уравнения: [Текст] / Н.Я. Виленкин, М.А. Доброхотов, А.Н. Сафонов. – Москва: Просвещение, 1984. -175 с.
4. Тихонов А.Н. Дифференциальные уравнения: [Текст] / А.Н. Тихонов, А.Б. Васильева. - 4-е изд., стер. - Москва: Физматлит, 2002. - 253 с.
5. Эльсгольц, Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление: [Текст]: / Л.Э. Эльсгольц. - Москва: ЭДИТОРИАЛ УРСС, 2002. - 319 с. (Библиотека УлГПУ, в том числе предшествующие издания).
То же [Электронный ресурс]:
URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=455165

Дополнительная литература

1. Вержбицкий, В. М. Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения: [Текст]: / В.М. Вержбицкий. - Москва: Высшая школа, 2001. – 381 с.
2. Демидович, Б. П. Дифференциальные уравнения: [Текст]: / Б.П. Демидович, В.П. Моденов. - Санкт-Петербург: Лань, 2006. – 275 с.
3. Зализняк, В. Е. Теория и практика по вычислительной математике: учеб. пособие / В. Е. Зализняк, Г. И. Щепановская. – Красноярск : Сибирский федеральный университет 2012. – 174 с.
URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229271
4. Ибрагимов Ильдар Маратович. Основы компьютерного моделирования наносистем: учебное пособие[Текст]/ И. М. Ибрагимов, Ковшов А. Н.; А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. – 376 с.- (Учебники для вузов. Специальная литература). (Библиотека УлГПУ)
5. Математические методы в биологии. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012. – 196 с.
URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232506.
6. Пантелеев, А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие с мультимедиа сопровождением / А. В. Пантелеев, А. С. Якимова, К. А. Рыбаков. – М.: Логос, 2010. - 384 с.
URL: http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=469288
7. Рыбаков, К.А. Обыкновенные дифференциальные уравнения: Практический курс; учебное пособие / К. А. Рыбаков, А. С. Якимова, А. В. Пантелеев– Москва: Логос, 2010. – 384 с. (Новая университетская библиотека) URL:http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=84753
8. Тихонов А.Н. Дифференциальные уравнения: [Текст] / А.Н. Тихонов, А.Б. Васильева. – 4-е изд., стер. – Москва: Физматлит, 2002. – 253 с.
9. Амелькин, В. В. Дифференциальные уравнения в приложениях: [Текст] / В.В. Амелькин. – Москва: Наука, 1987. – 157 с.
10. Анищенко В.С. Детерминированный хаос // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №6. – С. 70-76.
URL: http://www.nehudlit.ru/journals/detail8505.html
11. Анищенко В.С. Динамические системы // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – №11. – С. 77-84.
URL: http://www.nehudlit.ru/journals/detail8505.html
12. Анищенко В.С. Устойчивость, бифуркации, катастрофы // Соросовский образовательный журнал. – 2000. – №6. – С. 105-109.
URL: http://www.nehudlit.ru/journals/detail8541.html
13. Аносов Д. В. Дифференциальные уравнения: то решаем, то рисуем. – М.: МЦНМО, 2008. – 200 с.

URL: http://www.mcnmo.ru/free-books/dubna/anosov.pdf
14. Арнольд В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели. – М.: МЦНМО, 2004. – 32 с.
URL: http://www.mcnmo.ru/edu/?ikey=viarn-models
15. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000. – 368 с.
URL: http://www.mcnmo.ru/arnold/books/odu-12.pdf
16. Барашков, В. А. Методы математической физики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Барашков. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 152 с.
URL: http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=492290
17. Брур Х.Р., Дюмортье Ф., ванн Стрин С., Такенс Ф. Структуры в динамике. Конечномерные детерминированные системы [Текст]. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 336 с.
18. Дорошин А.В. Математическое моделирование в нелинейной динамике: учебное пособие / А.В. Дорошин. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 100 с.
19. Игнатьев Ю.Г., Агафонов А.А. Математические основы физики: Математические модели теоретической физики с примерами решения в СКМ Maple. – Казань: Казанский университет, 2016. – 250 с.
20. Кириллов А.А. Повесть о двух фракталах [Текст]. – М.: МЦНМО, 2010. - 180 с.
То же [электронный ресурс]. - URL: http://www.mcnmo.ru/free-books/dubna/kirillov.pdf
21. Кузнецов С.П. Динамический хаос. – М.: Физматлит, 2006. – 356 с.
22. Мир математики: в 45 т. Т. 32: Карлос Мадрид. Бабочка и ураган. Теория хаоса и глобальное потепление. / Пер. с исп. – М.: Де Агостини, 2014. – 144 с.
23. Мир математики: в 45 т. Т. 42: Эдуардо Арройо. Путешествие от частицы до вселенной. Математика газовой динамики. / Пер. с исп. – М.: Де Агостини, 2014. – 144 с.
24. Пантаев, М. Ю. Матанализ с человеческим лицом, или Как выжить после предельного перехода. Полный курс математического анализа: [Текст]. Том 2 / М.Ю. Пантаев. - Москва: КноРус, 2012. - 415 с.
25. Пантелеев, А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Практический курс [Электронный ресурс] : учеб. пособие с мультимедиа сопровождением. – М.: Логос, 2010. - 384 с.
URL: http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=469288
26. Пантелеев, А. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения в примерах и задачах: [Текст]: / А.В. Пантелеев, А.С. Якимова. - Москва: Высшая школа, 2001. - 376 с.
27. Понтрягин, Л. С. Знакомство с высшей математикой: [Текст]: Дифференциальные уравнения и их приложения. / Л.С. Понтрягин. - Москва: Наука, 1988. – 206 с.
28. Хаос. Математическое приключение (научно - популярное видео в 9 главах).
URL: http://www.chaos-math.org/ru
29. Чулаевский В.А. Преобразование пекаря // Квант. – 1989. - №4. – С.19-23.
URL: http://kvant.mccme.ru/1989/04/preobrazovanie_pekarya.htm