

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
_____ системного анализа и управления
наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины
 _____ **Задорожний В.Г.**
подпись, расшифровка подписи
29.05.2023г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.09 Слабоуправляемые системы

_____ *Код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом*

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

01.03.02 Прикладная математика и информатика

2. Профиль подготовки/специализация: *Динамические системы и управление*

3. Квалификация выпускника: *бакалавр* _____

4. Форма обучения: *очная* _____

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: _____

системного анализа и управления

6. Составители программы: *Белоусова Е.П., к.ф.-м.н., доцент* _____

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

7. Рекомендована: *Научно-методическим советом факультета прикладной математики, информатики и механики (протокол №07 от 26.05.2023)*

_____ *(наименование рекомендующей структуры, дата, номер протокола,*

_____ *отметки о продлении вносятся вручную)*

8. Учебный год: *2026/2027* _____

Семестр(ы): *8* _____

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- обучение методам исследования управляемых систем для формирования умений и навыков использования современных математических и компьютерных методов в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.

Задачи учебной дисциплины:

- овладение методами исследования управляемости систем, в частности принципу максимума Понтрягина;

- обучение исследованию классической (сверхжесткой) автоколебательной системы (осциллятор Ван дер Поля);

- обучение навыкам исследования поведения фазовых траекторий;

- формирование практических навыков использования современных технологий и пакетов прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления;

- формирование навыков и умений осуществления правильного выбора алгоритма и средств его реализации при решении задач управления и оптимизации.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативному блоку. Для её успешного освоения требуется знание основных разделов курса математического анализа, дифференциальных уравнений.

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)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-4	Способен использовать современные математические и компьютерные методы в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления	ПК-4.1	Использует современные технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.	Знать: современные технологии и пакеты прикладных программ. Уметь: использовать современные технологии и пакеты прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления. Владеть: современными технологиями и пакетами прикладных программ для решения задач анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления.
		ПК-4.3	Правильно выбирает алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации.	Знать: задачи управления и оптимизации. Уметь: выбирать алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации. Владеть: правилами выбора алгоритм и средства его реализации при решении задач управления и оптимизации.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час.(в соответствии с учебным планом) — 72 / 2.

Форма промежуточной аттестации(зачет/экзамен) зачет

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			8 семестра	
Аудиторные занятия		32	32	
в том числе:	лекции	16	16	
	практические			
	лабораторные	16	16	
Самостоятельная работа		40	40	
в том числе: курсовая работа (проект)				
Форма промежуточной аттестации (экзамен – __ час.)				
Итого:		72	72	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Основные сведения теории управляемых систем.	Оптимальное управление - один из важных разделов прикладной математики.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
1.2	Принцип максимума Понтрягина.	Формулировка принципа максимума Понтрягина. Применение его к исследованию слабоуправляемых систем.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
1.3	Фазовый портрет, особые точки.	Фазовый портрет. Метод фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости. Индекс Пуанкаре особой точки.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
1.4	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Явление скачка. Вопросы устойчивости.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
3. Лабораторные занятия			
3.1	Основные сведения теории управляемых систем.	Оптимальное управление - один из важных разделов прикладной математики.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
3.2	Принцип максимума Понтрягина.	Формулировка принципа максимума Понтрягина. Применение его к исследованию слабоуправляемых систем.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
3.3	Фазовый портрет, особые точки.	Фазовый портрет. Метод фазовой плоскости. Особые точки на фазовой плоскости. Индекс Пуанкаре особой точки.	Слабоуправляемые системы 01.03.02
3.4	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	Вынужденные колебания систем с нелинейной восстанавливающей силой. Уравнение Дуффинга. Явление скачка. Вопросы устойчивости.	Слабоуправляемые системы 01.03.02

* заполняется, если отдельные разделы дисциплины изучаются с помощью онлайн-курса. В колонке Примечание необходимо указать название онлайн-курса или ЭУМК. В других случаях в ячейки ставятся прочерки.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Основные сведения теории управляемых систем.	4		4	10	18
2.	Принцип максимума Понтрягина.	4		4	10	18
3.	Фазовый портрет, особые точки.	4		4	10	18
4.	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	4		4	10	18
	Итого:	16		16	40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Курс предполагает отведение большого числа разделов на самостоятельную работу студентов. Приведенные источники позволяют в полной мере самостоятельно изучить студентами данные разделы.

Материал по каждой теме излагается последовательно с использованием ранее введенных определений, обозначений и доказательств. Необходима постоянная самостоятельная проработка и усвоение изложенного на занятиях материала.

Желателен просмотр материала по данной учебной дисциплине с опережением лекций с использованием рекомендуемой в данной учебной программе литературы.

Приветствуются вопросы студентов по теме учебной дисциплины и смежным вопросам в ходе аудиторных занятий.

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.	<i>Методы вычислительной математики [Электронный ресурс] / Марчук Г. И. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 608 с. — Книга из коллекции Лань - Математика. — ISBN 978-5-8114-0892-4. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=255>.</i>
2.	<i>Скубов, Д. Ю. Основы теории нелинейных колебаний [Электронный ресурс] / Скубов Д. Ю. — 1-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 320 с. — Книга из коллекции Лань - Физика. — ISBN 978-5-8114-1470-3. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=30203>.</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	<i>Охорзин, В. А. Прикладная математика в системе MATHCAD [Электронный ресурс] / Охорзин В. А. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2009. — 352 с. — Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированного специалиста 160400 — «Системы управления движением и навигации» и специальности 160403 — «Системы управления летательными аппаратами». — Книга из коллекции Лань - Математика. — ISBN 978-5-8114-0814-6. — <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=294>.</i>
2.	<i>Копченова, Н. В. Вычислительная математика в примерах и задачах [Электронный ресурс] / Копченова Н. В., Марон И. А. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 368 с. — Рек. НМС по математике Министерства образования и науки РФ в качестве уч. пособия для студентов вузов, обуч. по направлениям 510000 - "Естественные науки и математика", 550000 - "Технические науки", 540000 - "Педагогические науки". — Книга из коллекции Лань - Математика. — ISBN 978-5-8114-0801-6. — <URL: https://e.lanbook.com/book/96854>.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
-------	--------

1.	Электронная библиотека рабочих учебных программ дисциплин. Режим доступа: http://smwww.main.vsu.ru
2.	Электронный каталог Научной библиотеки Воронежского государственного университета. – Режим доступа: https://lib.vsu.ru
3.	Слабоуправляемые системы 01.03.02 / Е.П. Белоусова — Образовательный портал «Электронный университет ВГУ». — Режим доступа: https://edu.moodle.ru .

* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

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

№ п/п	Источник
1.	Гелиг, Аркадий Хаимович. Устойчивость и стабилизация нелинейных систем / А. Х. Гелиг, И. Е. Зубер, А. Н. Чурилов ; С.-Петербург. гос. ун-т .— СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006 .— 269 с. — Предм. указ.: с. 266-267 .— Библиогр.: с. 244-265 .— ISBN 5-288-04098-2, 300 экз.
2.	Анищенко, Вадим Семенович. Знакомство с нелинейной динамикой : Лекции соросовского профессора / В. С. Анищенко .— М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2002 .— 143 с. : ил. — Библиогр.: с. 174-175 .— ISBN 5-93972-116-8

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

Дисциплина реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. Для организации занятий рекомендован онлайн-курс «Слабоуправляемые системы 01.03.02», размещенный на платформе Электронного университета ВГУ (LMS moodle), а также Интернет-ресурсы, приведенные в п.15в.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, персональные компьютеры для индивидуальной работы с возможностью подключения к сети «Интернет» ОС Windows 8 (10), интернет-браузер (Chrome, Яндекс.Браузер, Mozilla Firefox), ПО Intellij IDEA Community Edition, Anaconda, Maxima, пакет прикладных программ Matlab

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основные сведения теории управляемых систем.	ПК-4	ПК-4.1	Зачет, контрольная работа
2.	Принцип максимума Понтрягина.	ПК-4	ПК-4.1	Зачет, контрольная работа
3.	Фазовый портрет, особые точки.	ПК-4	ПК-4.3	Зачет, контрольная работа
4.	Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.	ПК-4	ПК-4.3	Зачет, контрольная работа
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				КИМ см. ниже

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Задания для контрольной работы.

Решить задачи оптимального управления, используя теорему о необходимых и достаточных условиях оптимальности:

$$1. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 + t^2 u) dt \rightarrow \inf, \quad B \leq u \leq A.$$

$$2. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 - P(t)u) dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq A.$$

$$3. \int_0^T (u_1^2 + p(t)u_2 + u_1) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq u_1 + u_2 \leq 2.$$

$$4. \int_0^1 (u^2 - t^3 u) dt \rightarrow \inf, \quad 0 \leq t \leq 1.$$

$$5. \int_0^{2\pi} (u^2 + \cos t u) dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq \frac{1}{2}.$$

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень вопросов к зачету:

1. Основные сведения теории управляемых систем.
2. Принцип максимума Понтрягина.
3. Фазовый портрет, особые точки.
4. Вынужденные колебания, вопрос устойчивости.

Перечень практических заданий

Контрольно-измерительные материалы

$$1. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 + t^2 u) dt \rightarrow \inf, \quad B \leq u \leq A.$$

$$2. \int_{t_0}^{t_1} (u^2 - P(t)u) dt \rightarrow \inf, \quad |u| \leq A.$$

$$3. \int_0^T (u_1^2 + p(t)u_2 + u_1) dt \rightarrow \inf, \\ 0 \leq u_1 + u_2 \leq 2.$$

$$4. \int_0^1 (u^2 - t^3 u) dt \rightarrow \inf, \\ 0 \leq t \leq 1.$$

$$5. \int_0^{2\pi} (u^2 + \cos tu) \cdot dt \rightarrow \inf, \\ |u| \leq \frac{1}{2}.$$

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Для оценивания результатов обучения на зачете используется шкала: «зачет», «незачет».

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), применять теоретические знания для решения практических задач в области.</i>	<i>Повышенный уровень</i>	<i>Зачет</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует одному (двум) из перечисленных показателей, но обучающийся дает правильные ответы на дополнительные вопросы.</i>	<i>Базовый уровень</i>	<i>Зачет</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым двум(трем) из перечисленных показателей, обучающийся дает неполные ответы на дополнительные вопросы. Демонстрирует частичные знания.</i>	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачет</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует любым трем(четырем) из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.....</i>	–	<i>Незачет</i>

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

ПК-4 Способен использовать современные математические и компьютерные методы в задачах анализа динамических систем, оптимизации и оптимального управления

Вопросы с вариантами ответов

Для решения задачи

$$I(u) = \int_{t_0}^{t_1} f(t, x, u) dt \rightarrow \inf, \quad \dot{x} = \varphi(t, x, u), x(t_0) = x_0 \in R^n$$

применяется метод:

- а) сжимающих отображений
- б) обратной связи
- в) принцип максимума Понтрягина

Ответ: в).

2. Решить задачу $I(u) = \int_0^T (u^2 + tu) dt \rightarrow \inf, |u(t)| \leq 1, t \in [0, T], T > 2$.

а) $T - \frac{T^2}{2} - \frac{2}{3}$

б) $T^2 + 4T + 1$

в) $16T$

Ответ: а).

3. Решить задачу $I(u) = \int_0^T (4u_1 + 3u_2) dt \rightarrow \inf, u_1^2 + u_2^2 \leq 1, t \in [0, T]$.

а) $-5T$

б) $-5T + 1$

в) $-T + 4$

Ответ: а).

4. Решить задачу $I(u) = \int_0^1 (u_1^2 + u_2^2) dt \rightarrow \inf, u_1 \geq 1, \forall t \in [0, 1], u_2 \in R$

а) 1

б) 0

в) 15

Ответ: а).

5. Решить задачу

$$I(u) = \int_0^3 -x dt \rightarrow \inf, \dot{x} = u, x(0) = 1, x(3) = 1, x \geq 0, |u| \leq 1.$$

а) 3.5

б) -1

в) 4/3

Ответ: б).

6. Решить задачу

$$I(u) = \int_0^3 e^{-rt} u dt \rightarrow \inf, \dot{x} = u, x(0) = 0, 0 \leq u \leq 3, x - 1 + (t - 2) \geq 0.$$

а) $2e^{-r}$

б) $e^{-r} + 1$

в) e^{-2r}

Ответ: а).

7. Решить задачу

$$\int_0^3 (x_1 + x_2 + 2u) dt - x_2(3) \rightarrow \inf, \dot{x}_1 = x_2 - u, \dot{x}_2 = x_1 + u, x_1(0) = 2, x_2(0) = 0, |u| \leq 2.$$

а) $2e^3 - 14$

б) $e^2 + 1$

в) $e^2 + 2e - 1$

Ответ: а).

Вопросы с кратким текстовым ответом

1. Задача о распределении ресурсов вида

$$I(u) = \sum_{i=1}^N \ln u_i \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^N u_i \leq a, a > 0$$

является непрерывной задачей оптимального управления.

Ответ: нет.

2. Дискретную задачу оптимального управления можно решать методом градиентного спуска с дроблением шага спуска.

Ответ: да.

3. Задачу об оптимальном экономическом росте можно считать задачей оптимального управления.

Ответ: да.

Описание технологии проведения:

Текущая аттестация проводится на занятии одновременно во всей учебной группе в виде теста в электронной образовательной среде «Электронный университет ВГУ». Большая часть вопросов проверяется автоматически, проверки преподавателем с ручным оцениванием требуют только отдельные вопросы, представленные в форме эссе. Ограничение по времени на каждую попытку — 50 минут

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые с вариантами ответов, средний уровень сложности) :

1 балл – указан верный ответ;

0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые с кратким текстовым ответом, повышенный уровень

2 балла – указан верный ответ;

0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).