


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета факультета математики,
информационных и авиационных технологий
от «17» мая 2022 г., протокол № 4/22

Председатель / М.А. Волков
«17» мая 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина	Математическое моделирование сложных систем
Факультет	Математики, информационных и авиационных технологий
Кафедра	Информационных технологий
Курс	1

Направление (специальность): 02.04.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем

Направленность (профиль/специализация): Технология программирования

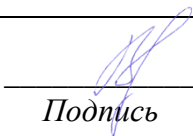
Форма обучения: очная


Дата введения в учебный процесс УлГУ: 1 сентября 2022 г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № 1 от 31 августа 2023 г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Кафедра	Должность, ученая степень, звание
Цыганова Юлия Владимировна	Информационных технологий	профессор, д.ф.-м.н., доцент

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой информационных технологий, реализующей дисциплину/ Заведующий выпускающей кафедрой
 / Волков М.А. / Подпись / ФИО
17 мая 2022 г.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Математическое моделирование сложных систем» знакомит студентов с основополагающими фактами и задачами стохастической теории систем, теории оценивания и управления, включая условия параметрической неопределенности.

Предметом дисциплины являются основные методы построения и анализа математических моделей систем обработки информации о состоянии динамических систем, методы оценивания состояния объектов и обнаружения нарушений моделей в условиях случайных воздействий и случайных помех наблюдения.

Цели дисциплины «Математическое моделирование сложных систем» –

- заложить базовые знания и умения в области построения математических моделей детерминистских и стохастических объектов для систем обработки информации и управления;
- обеспечить понимание фундаментальных концепций анализа и применения таких моделей;
- привить навыки и способность разбираться в применении теории к задачам оценивания состояния и управления из реального мира приложений.

Названная дисциплина будет использована при изучении отдельных дисциплин профессионального цикла, а также к применению этих знаний и умений в дальнейшей учебе и практической деятельности и при выполнении курсовых и дипломных работ.

Задачи дисциплины – охватить изучением пять базовых разделов, а именно:


- (1) операционное исчисление (обзор результатов и методика их использования),
- (2) детерминистские модели линейных систем (управляемость, наблюдаемость, устойчивость),
- (3) стохастические модели линейных систем (моментные и спектральные характеристики и формирующие фильтры),
- (4) оптимальное оценивание (фильтр Калмана) с линейными дискретными моделями систем (*LQG*-оценивание),
- (5) оптимальное стохастическое *LQG*-управление (вводные, базовые концепции).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование сложных систем» запланирована как обязательная дисциплина вариативной части базового цикла Б1 (Б1.О.11) основной профессиональной образовательной программы. Она читается в 1-м и 2-м семестрах студентам направления магистратуры 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» очной формы обучения.

Данная дисциплина базируется на входных знаниях, умениях, навыках и компетенциях студента, полученных им при изучении предшествующих учебных дисциплин, указанных в Приложении к данной рабочей программе (в фондах оценочных средств – далее ФОС, пункт 1).


Результаты освоения дисциплины будут необходимы для дальнейшего процесса обучения в рамках поэтапного формирования компетенций при изучении последующих дисциплин (указаны в ФОС, пункт 1), а также для прохождения всех видов практик и государственной итоговой аттестации.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Процесс изучения дисциплины «Математическое моделирование сложных систем» направлен на формирование следующих компетенций.

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций.
ОПК-1 – способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы фундаментальной и прикладной информатики и информационных технологий	<ul style="list-style-type: none"> • знать: содержание основных задач дисциплины и типовых методов их решения с опорой на широкий математический аппарат сопряженных дисциплин своей специализации; • уметь: применять методы стохастического моделирования сложных систем к экспериментальным или натурным данным и как с их помощью решать задачи оценивания состояния по неполным и зашумленным наблюдениям; • владеть: навыками изучения предмета самостоятельно; нахождения и проработывания релевантных литературных источников; использования готовых пакетов имитационного моделирования данных; эффективного конспектирования нового материала; расширения своих предыдущих знаний; навыками системной организации своего рабочего времени.
ПК-1 – способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий	<ul style="list-style-type: none"> • знать: методы математического моделирования, технологии программирования на языке высокого уровня и информационные технологии; • уметь: переводить на математический язык (т.е. представлять в форме дифференциальных уравнений) те физические законы или гипотезы, которым подчиняется изменение состояния изучаемых объектов; • владеть: методами анализа структуры возмущений, сопровождающих наблюдение за состоянием динамического объекта в стохастической среде, и на этом основании конструировать стохастические модели (формирующие фильтры) для этих возмущений.
ПК-2 – способен проводить научные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности	<ul style="list-style-type: none"> • знать: основные методы проведения научных исследований в области математического моделирования сложных систем • уметь: проводить научные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности; • владеть: методикой разработки компьютерных программ высокого

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

	уровня сложности, эффективно реализующих компьютерные алгоритмы оценивания состояния и управления по неполным и зашумленным наблюдениям с учетом требований быстродействия, точности и экономии памяти.
ПК-8 – способен использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования	<ul style="list-style-type: none"> • знать: современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования; • уметь: доводить сложные математические алгоритмы оценивания до их реализации в виде программ высокого уровня для пакетов прикладных программ типа МАТЛАБ, строить планы вычислительных экспериментов, их реализовать, анализировать получаемые результаты и формулировать практически значимые выводы из полученных результатов; • владеть: навыками применения современных методов разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования.

4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

Форма обучения – очная (дневная).

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 ЗЕТ = 3 ЗЕТ (семестр 1) + 5 ЗЕТ (семестр 2).

Дисциплина реализуется в 1 и 2 семестрах; в конце 1 семестра предусмотрена **промежуточная аттестация** в форме **зачета**; в конце 2 семестра предусмотрена **промежуточная аттестация** в форме **экзамена**.


Текущий контроль успеваемости реализуется посредством трех контрольных работ в классе в каждом из двух семестров (их содержательная тематика приведена в Фонде оценочных средств в качестве приложения к этой рабочей программе).

СЕМЕСТРЫ 1 + 2

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего): 8.

4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы:

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – дневная)			
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам		
		1	2	
Контактная работа обучающихся с преподавателем	108	54/54*	54/54*	
Аудиторные занятия:	108	54/54*	54/54*	

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

• Лекции	36	18/18*	18/18*	
• Практические и семинарские занятия	36	18/18*	18/18*	
• Лабораторные работы (лабораторный практикум)	36	18/18*	18/18*	
Самостоятельная работа	144	54	90	
Контроль (экзамен)	36	-	36	
Всего часов по дисциплине	288	108	180	
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы	Учет посещаемости, проверка выполнения 4-х домашних заданий на рефераты и шести контрольных работ в классе	Учет посещаемости, проверка выполнения двух домашних заданий на рефераты и трех контрольных работ в классе	Учет посещаемости, проверка выполнения двух домашних заданий на рефераты и трех контрольных работ в классе	
Виды промежуточной аттестации.	зачет + экзамен + курсовая работа	зачет	Экзамен + курсовая работа	
Общая трудоемкость в зач. ед.	8	3	5	


*Количество часов работы ППС с обучающимися в дистанционном формате с применением электронного обучения

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения.


4.3. Содержание дисциплины

Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и достигнутого уровня знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
Семестр 1							

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Раздел 1. Обзор содержания и оценивание курса (1/1/0/1/1)							
1.1. Обзор курса	2	1	1	0	0	0,5	Опрос
1.2. Система ТКНУ и финальное оценивание.	1	0	0	0	1	0,5	Опрос
ИТОГО	3	1	1	0	1	1	Опрос
1	2	3	4	5	6	7	8
Раздел 2. Дифференциальные уравнения физических систем (8/8/9/4/26)							
2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем.	7	1	1	1	0	4	Решение задач в рабочей тетради для семинаров (РТ-1).
2.2. Дифференциальные уравнения физических систем	10	2	2	2	КР1= (2час) = В _{кр-1} = Этап I (лаб.раб)	4	Этап I лаб. задания в РТ-2 для контрольных раб. (В _{кр-1}).
2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ).	7	1	1	1	0	4	Решение задач в РТ-1 для семинаров.
2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем.	7	1	1	1	0	4	Решение задач в РТ-1 для семинаров.
2.5. Модели линейных систем в виде сигнальных графов.	7	1	1	1	0	4	Решение задач в РТ-1 для семинаров.
2.6. Компьютерный анализ систем управления.	13	2	2	3	Этап II лаб. раб. (2 час) = Н ₁	6	Этап II лаб. задания в РТ-3 для лабораторных работ (Н ₁).
ИТОГО	51	8	8	9	4 = КР-1 + Этап II лаб. раб. = Н₁	26	КР-1 = В_{кр-1} + Н₁ (Этап II лаб. раб).
1	2	3	4	5	6	7	8
Раздел 3. Детерминистские модели состояния систем (9/9/9/8/27)							
3.1. Динамические модели с непрерывным временем.	11	2	2	2	0	5	Решение задач в РТ-1 для семинаров.
3.2. Решение уравнений состояния линейных систем.	11	2	2	2	Этап III лаб. раб. = (2час) = Н ₂	5	Этап III лаб. задания в РТ-3 для лабораторных работ (Н ₂).
3.3. Стандартные модели: управляемая, наблюдае-	13	2	2	2	КР2= (2час) = В _{кр-2}	7	Решение задачи в РТ-2 для контрольных

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

мая и каноническая.							раб. (оценка $V_{кр-2}$ баллов).
3.4. Управляемость и наблюдаемость систем.	11	2	2	2	КР3 = (2час) = $V_{кр-3}$	5	Решение задачи в РТ-2 для контрольных раб. (оценка $V_{кр-3}$ баллов).
3.5. Устойчивость систем.	8	1	1	1	Н ₃ Отчет лаб. раб. = (2час)	5	Прием итогового отчета по лаб. работе (Н ₃).
ИТОГО	54	9	9	9	8 = КР2 + КР3 + Этап III лаб. раб + отчет	27	КР-2 = $V_{кр-2}$ + КР-3 = $V_{кр-3}$ + Н₂ + Н₃ (Этап 3 + отчет по лаб. работе).

Правило выставления оценки за Семестр 1:

Итоговый балл $FG = 0,05 \cdot A + 0,30 \cdot H + 0,65 \cdot E$.

Посещаемость $A = 100 - P$, где P = штраф за N неуважительных пропусков: $P = 0$ при $N = 0$; $P = 10$ при $N = 1$; $P = 50 + 50 \cdot (N - 2)$ при $2 \leq N \leq 7$; $P = 300 + 200 \cdot (N - 7)$, при $7 < N$.

Домашняя активность (домашняя проработка лабораторных заданий): $H = (H_1 + H_2 + H_3) / 3$, где H_i – процент выполнения i -й домашней самостоятельной работы.


Экзаменационный уровень: $E = [(V_{кр-1}) + (V_{кр-2}) + (V_{кр-3}) + (V_{уов})] / 4$, где $(V_{кр-i})$ – процент выполнения i -й КР, $(V_{уов})$ – уровень ответа на вопросы зачета во время зачетной сессии.

Отображение FG на стандартную шкалу оценок: $FG = \{56 : 100\} \Rightarrow$ «зачтено»; $FG = \{0 : 55\} \Rightarrow$ «незачтено». (Шаг по 15 баллов на каждую из трех положительных оценок: $FG = \{86 : 100\} \Rightarrow$ «отлично»; $FG = \{71 : 85\} \Rightarrow$ «хорошо»; $FG = \{56 : 70\} \Rightarrow$ «удовлетворительно»).


(Это правило показывает общий принцип, доказавший свою работоспособность за многие годы применения. Его отдельные параметры могут быть незначительно скорректированы в каждом текущем году.)

Семестр 1: Итоговое распределение часов по темам и видам учебной работы

Название разделов и тем	Всего (час)	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и достигнутого уровня знаний
		Аудиторные занятия (час)			Занятия в интерактивной форме (час)	Самостоятельная работа (час)	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
Всего разделов 3 и тем 13	108	18	18	18	14	54	<i>Посещаемость: назначение штрафа за неуважительные пропуски. Процент выполненного объема заданий по КР №№1, 2-и 3; Про-</i>

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

							цент выполненного объема домашних заданий по ЛР; Уровень ответа на вопросы зачета во время зачетной сессии.
Семестр 2							
1	2	3	4	5	6	7	8
Раздел 4. Стохастические процессы и линейные динамические системы (4/4/4/0/30)							
4.1. Стохастические процессы.	2	1	1	1	0	6	Решение задач в классе.
4.2. Стационарные стохастические процессы.	4	1	1	1	0	8	Решение задач в классе.
4.3. Моделирование стохастических систем.	4	1	1	1	0	8	Решение задач в классе.
4.4. Моделирование случайных процессов.	4	1	1	1		8	Решение задач в классе.
ИТОГО	42	4	4	4	0	30	Решение задач в рабочей тетради.
1	2	3	4	5	6	7	8
Раздел 5. Оценивание состояния линейных моделей систем (10/10/10/6/30)							
5.1. Задача оптимального оценивания.	4	4	4	4	КР1= (4час) = $V_{кр-1}$	10	КР1= (2час) = $V_{кр-1}$.
5.2. Дискретный фильтр Калмана.	5	4	4	4	Отчет лабраб.1 = H_1 (4час)	10	Отчет лаб.раб.1 = H_1 (2час)
5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра.	4	2	2	2	КР2= (4час) = $V_{кр-2}$	10	КР2= (2час) = $V_{кр-2}$.
ИТОГО	60	10	10	10	12	30	Контрольные и лабораторная работы
Раздел 6. Задача стохастического оптимального управления с линейными дискретными моделями систем (4/4/4/0/30)							
6.1. Динамическое программирование и задача управления	2	1	1	1	Отчет лабраб.2 = H_2 (2час)	6	Отчет лаб.раб.2 = H_2 (2час)
6.2. Оптимальное управление с точным знани-	4	1	1	1	КР3= (4час) = $V_{кр-3}$	8	КР3= (2час) = $V_{кр-3}$.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ем состояния.							
6.3. Оптимальное управление с неполными зашумленными измерения состояния.	3	1	1	1	Отчет лабраб.3 = Нз (4час)	8	Отчет лаб.раб.3 = Нз (2час)
6.4. Синтез LQG-оптимального управления.	4	1	1	1	0	8	Обсуждение теоретического материала в классе.
ИТОГО	42	4	4	4	10	30	Контрольная и лабораторные работы
Экзамен	36	6	6	6	22	6	ТКНУ= Посещаемость + (КР №1-2-3) + (ЛР №1-2-3) + Ответ на экзамене.

Правило выставления оценки за Семестр 2 (одновременно, за весь годичный курс):

Итоговый балл $FG = 0,05 \cdot A + 0,30 \cdot H + 0,65 \cdot E$.

Посещаемость $A = 100 - P$, где P = штраф за N неуважительных пропусков: $P = 0$ при $N = 0$; $P = 10$ при $N = 1$; $P = 50 + 50 \cdot (N - 2)$ при $2 \leq N \leq 7$; $P = 300 + 200 \cdot (N - 7)$, при $7 \leq N$.

Домашняя активность (домашняя проработка лабораторных заданий): $H = (H_1 + H_2 + H_3)/3$, где H_i – процент выполнения i -й домашней самостоятельной работы.


Экзаменационный уровень: $E = [(V_{кр-1}) + (V_{кр-2}) + (V_{кр-3}) + (V_{уов})]/4$, где $(V_{кр-i})$ – процент выполнения i -й КР, $(V_{уов})$ – уровень ответа на вопросы экзамена во время сессии.

Отображение FG на стандартную шкалу оценок: $FG = \{56 : 100\} \Rightarrow$ «зачтено»; $FG = \{0 : 55\} \Rightarrow$ «незачтено». (Шаг по 15 баллов на каждую из трех положительных оценок: $FG = \{86 : 100\} \Rightarrow$ «отлично»; $FG = \{71 : 85\} \Rightarrow$ «хорошо»; $FG = \{56 : 70\} \Rightarrow$ «удовлетворительно»).

(Это правило показывает общий принцип, доказавший свою работоспособность за многие годы применения. Его отдельные параметры могут быть незначительно скорректированы в каждом текущем году.)

Семестр 2: Итоговое распределение часов по темам и видам учебной работы

Название разделов и тем	Всего (час)	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и достигнутого уровня знаний
		Аудиторные занятия (час)			Занятия в интерактивной форме (час)	Самостоятельная работа (час)	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
Всего разделов 3 и тем 11 +	144 + 36 =	18	18	18	22	90	Посещаемость: назначение

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

контроль (экзамен)	180						штрафа за неуважительные пропуски; Процент выполненного объема заданий по КР №1-2-3; Уровень (в %) выполнения лабораторных работ №1-2-3; Уровень ответа на вопросы экзамена во время сессии.
--------------------	-----	--	--	--	--	--	--

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Обзор содержания и оценивание курса (1/1/0/1/1)

Тема 1.1. Обзор курса «Математическое моделирование сложных систем»: Выдача студентам руководящего документа (1 стр. текста) «Обзор курса» – для использования. (1/0/0)
Тема 1.2. Система текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и финальное оценивание: Информирование обучающихся о применяемой в этом курсе системе ТКНУ и о правиле учета результатов ТКНУ для финального оценивания достигнутого уровня знаний (ДУЗ) студента в период зачетной (экзаменационной) сессии. (0/1/0)


Раздел 2. Дифференциальные уравнения физических систем (8/8/9/4/26)

Тема 2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем: Дифференциальные уравнения идеальных элементов (законы Ома для двухполюсников различного типа с точки зрения энергии). (1/1/1)
Тема 2.2. Дифференциальные уравнения физических систем: Модель физического маятника. Параллельная RLC электрическая цепь под воздействием тока. (2/2/2)
Тема 2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ): Преимущества применения преобразования Лапласа для нахождения решения дифференциального уравнения (1/1/1)
Тема 2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем: Структурные схемы систем. Решение линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами посредством ПЛ (1/1/1)
Тема 2.5. Модели линейных систем в виде сигнальных графов. Формула Мейсона для нахождения передаточных функций сложной системы. (1/1/1)
Тема 2.6. Компьютерный анализ систем управления: Преимущества компьютерного моделирования в процессах анализа и синтеза систем. Примеры на синтез систем управления. Моделирование систем управления с помощью MATLAB. (2/2/3)

Этот раздел предусматривает выполнение студентом Контрольной работы №1 (в классе) и Лабораторной работы №1. Все задания – индивидуальные.

Раздел 3. Детерминистские модели состояния систем (9/9/9/8/27)

Тема 3.1. Динамические модели с непрерывным временем: Характеристики динамических систем. Модели в пространстве состояний. (2/2/2)
Тема 3.2. Решение уравнений состояния линейных систем: Общее решение линейного дифференциального уравнения состояния – неинвариантного во времени. Свойства переходной матрицы состояния. Переход к модели в дискретном времени. (2/2/2)

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Тема 3.3. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая: Определения моделей. Построение моделей СУМ, СНМ и КМ по передаточной функции. (2/2/2)

Тема 3.4. Управляемость и наблюдаемость систем: Теоремы о критериях полной управляемости и полной наблюдаемости. Обобщенный анализ свойств управляемости и наблюдаемости. декомпозиция системы на 4 части, полностью характеризующие эти свойства. Вырожденные системы. (2/2/2)

Тема 3.5. Устойчивость систем: Критерий Рауса-Гурвица. Определения устойчивости систем. Табличная форма критерия Рауса-Гурвица. Четыре различных случая для таблицы Рауса. (1/1/1)

Этот раздел предусматривает выполнение студентом Контрольной работы №2 (в классе) и Лабораторной работы №2. Все задания – индивидуальные.

Раздел 4. Стохастические процессы и линейные динамические системы (4/4/4/0/30)

Тема 4.1. Стохастические процессы: Процессы с дискретным и непрерывным временем. Числовые характеристики: функция средних значений и ковариационная матрица, корреляционная матрица, взаимные характеристики. Многомерный гауссовский процесс. (1/1/1)

Тема 4.2. Стационарные стохастические процессы: Спектральная плотность мощности. Строго стационарные и стационарные в широком смысле процессы. Энергетический спектр стационарного в широком смысле процесса. Эргодические процессы. Широкополосный и узкополосный процессы. Понятие белого шума. Процессы с дискретным спектром. Спектральные представления стационарного процесса. Преобразование спектральной плотности мощности случайного процесса в линейной системе. Формирующий фильтр. (1/1/1)

Тема 4.3. Моделирование стохастических систем: Цели и задачи. Классификация моделей. Белый гауссовский шум и броуновское движение. Три концепции сходимости: в среднеквадратическом, по вероятности и почти наверное. Стохастические интегралы. Стохастические дифференциалы. Линейные стохастические разностные уравнения. Полная модель системы (с формирующим фильтром и уравнением наблюдений). (1/1/1)

Тема 4.4. Моделирование случайных процессов: Формирующие фильтры и расширение вектора состояния. Практическое построение моделей систем и процессов по эмпирическим данным. (1/1/1)

Раздел 5. Оценивание состояния линейных моделей систем (10/10/10/6/30)

Тема 5.1. Задача оптимального оценивания: Постановка задачи. Оценки на основе байесовского критерия. Основные факты теории оптимального оценивания. Теорема Шермана. (4/4/4)


Тема 5.2. Дискретный фильтр Калмана: Вывод этапа экстраполяции оценок по времени (между измерениями). Вывод этапа обновления оценок по измерениям. (4/4/4)

Тема 5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра: Свойства процесса ошибок и обновляющего процесса. Использование свойств обновляющего процесса для проверки гипотез о возможных нарушениях модели. (2/2/2)

Этот раздел предусматривает выполнение студентом Контрольной работы №3 (в классе) и Лабораторной работы №3. Все задания – индивидуальные.

Раздел 6. Задача стохастического оптимального управления с линейными дискретными моделями систем (4/4/4/0/30)

Тема 6.1. Динамическое программирование и общая задача управления: Вводные кон-

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		


цепции и варианты постановок задачи. Обратное уравнение Колмогорова.	(1/1/1)
Тема 6.2. LQG-задача оптимального управления: Формулировка задачи. Физически осуществимое управление.	(1/1/1)
Тема 6.3. Детерминистская LQ-задача оптимального управления: Метод множителей Лагранжа. Метод динамического программирования.	(1/1/1)
Тема 6.4. Синтез LQG-оптимального управления: Решение задачи по методу стохастического динамического программирования.	(1/1/1)

6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия (семинары) в двух семестрах (поровну) занимают всего 18 учебных занятий (по 2 академических часа каждое). Они предусматривают решение задач по тематике Разделов 1 – 6 и обсуждение найденных решений. *Сертификат о надлежащей успеваемости* (СНУ) студент зарабатывает удовлетворительным посещением семинарских занятий и выполнением учебной работы в классе в те сроки, которые указаны в тематическом перечне семинарских занятий. В получении СНУ студенту может быть отказано, если им не удовлетворены следующие **условия**: (i) все части семинарских заданий студент выполнял на уровне принятых стандартов и представил для оценивания к заданному сроку; (ii) студент проявил удовлетворительную посещаемость аудиторных занятий и удовлетворительное участие во всех разделах курса в следующем перечне тем.

Семестр 1

- Тема 1.2. Система текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и финальное оценивание.** (1 час)
Тема 2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем. (1 час)
- Тема 2.2. Дифференциальные уравнения физических систем – I:** Модель физического маятника. (1 час). **Тема 2.2. Дифференциальные уравнения физических систем – II:** Параллельная RLC электрическая цепь под воздействием тока. (1 час)
- Тема 2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ):** Преимущества применения преобразования Лапласа для нахождения решения дифференциального уравнения. (1 час)
Тема 2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем: Структурные схемы систем. Решение линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами посредством ПЛ. (1 час)
- Тема 2.5. Модели линейных систем в виде сигнальных графов.** Формула Мейсона для нахождения передаточных функций сложной системы. (1 час)
Тема 2.6. Компьютерный анализ систем управления – I: Преимущества компьютерного моделирования в процессах анализа и синтеза систем. (1 час)
- Тема 2.6. Компьютерный анализ систем управления – II:** Примеры на синтез систем управления. Моделирование систем управления с помощью MATLAB. (1 час)
Тема 3.1. Динамические модели с непрерывным временем – I: Характеристики динамических систем. (1 час)
- Тема 3.1. Динамические модели с непрерывным временем – II:** Модели в пространстве состояний. (1 час)
Тема 3.2. Решение уравнений состояния линейных систем – I: Общее решение линейного дифференциального уравнения состояния – неинвариантного во времени. (1 час)
- Тема 3.2. Решение уравнений состояния линейных систем – II:** Свойства переход-

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ной матрицы состояния. Переход к модели в дискретном времени. (1 часа)

Тема 3.3. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая – I: Определения моделей. (1 час)

8. **Тема 3.3. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая – II:** Построение моделей СУМ, СНМ и КМ по передаточной функции. (1 час)

Тема 3.4. Управляемость и наблюдаемость систем – I: Теоремы о критериях полной управляемости и полной наблюдаемости. (1 час)

9. **Тема 3.4. Управляемость и наблюдаемость систем – II:** Обобщенный анализ свойств управляемости и наблюдаемости. декомпозиция системы на 4 части, полностью характеризующие эти свойства. Вырожденные системы. (1 час)

Тема 3.5. Устойчивость систем: Критерий Рауса-Гурвица. Определения устойчивости систем. Табличная форма критерия Рауса-Гурвица. Четыре различных случая для таблицы Рауса. (1 час)

Семестр 2

10. **Тема 4.1. Стохастические процессы:** Процессы с дискретным и непрерывным временем. Числовые характеристики: функция средних значений и ковариационная матрица, корреляционная матрица, взаимные характеристики. Многомерный гауссовский процесс. (1 час)

Тема 4.2. Стационарные стохастические процессы: Спектральная плоскость мощности. Строго стационарные и стационарные в широком смысле процессы. Энергетический спектр стационарного в широком смысле процесса. Эргодические процессы. Широкополосный и узкополосный процессы. Понятие белого шума. Процессы с дискретным спектром. Спектральные представления стационарного процесса. Преобразование спектральной плотности мощности случайного процесса в линейной системе. Формирующий фильтр. (1 час)

11. **Тема 4.3. Моделирование стохастических систем:** Цели и задачи. Классификация моделей. Белый гауссовский шум и броуновское движение. Три концепции сходимости: в среднеквадратическом, по вероятности и почти наверное. Стохастические интегралы. Стохастические дифференциалы. Линейные стохастические разностные уравнения. Полная модель системы (с формирующим фильтром и уравнением наблюдений). (1 час)

Тема 4.4. Моделирование случайных процессов: Формирующие фильтры и расширение вектора состояния. Практическое построение моделей систем и процессов по эмпирическим данным. (1 час)

12. **Тема 5.1. Задача оптимального оценивания – I:** Постановка задачи. Оценки на основе байесовского критерия. (2 часа)


13. **Тема 5.1. Задача оптимального оценивания – II:** Основные факты теории оптимального оценивания. Теорема Шермана. (2 часа)

14. **Тема 5.2. Дискретный фильтр Калмана – I:** Вывод этапа экстраполяции оценок по времени (между измерениями). (2 часа)

15. **Тема 5.2. Дискретный фильтр Калмана – II:** Вывод этапа обновления оценок по измерениям. (2 часа)

16. **Тема 5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра:** Свойства процесса ошибок и обновляющего процесса. Использование свойств обновляющего процесса для проверки гипотез о возможных нарушениях модели. (2 часа)

17. **Тема 6.1. Динамическое программирование и общая задача управления:** Вводные концепции и варианты постановок задачи. Обратное уравнение Колмогорова. (1 час)

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Тема 6.2. LQG-задача оптимального управления: Формулировка задачи. Физически осуществимое управление. (1 час)

18. **Тема 6.3. Детерминистская LQ-задача оптимального управления:** Метод множителей Лагранжа. Метод динамического программирования. (1 час)

Тема 6.4. Синтез LQG-оптимального управления: Решение задачи по методу стохастического динамического программирования. (1 час)

7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)

Для выполнения лабораторных работ данная программа предлагает наборы проектных заданий (задач) в каждом семестре первого года обучения. Лабораторные работы снабжены детальными методическими указаниями. Они вместе с полными вариантами заданий для лабораторных работ доступны по ссылкам, которые преподаватель предоставляет студентам на первом занятии.

Семестр 1

Каждое лабораторное задание требует выполнения трех этапов, которые определены в методических указаниях следующим образом.

Этап I. Сформулируйте математическую модель:


1. Какие элементы составляют систему?
2. Какие переменные и какие уравнения характеризуют каждый элемент?
3. Каков тип каждого элемента с точки зрения накопления / рассеяния энергии?
4. Какие предположения являются исходными для описания системы?
5. Как выглядят уравнения взаимодействия элементов, то есть полная математическая модель системы?
6. Какие предположения необходимы для линеаризации модели?
7. Является ли линеаризованная модель инвариантной во времени?

Этап II. Решите уравнения модели и исследуйте решение:

1. Найдите выражения для выходных переменных через входные переменные и начальные условия системы.
2. Найдите выражения для передаточной функции системы.
3. Постройте сигнальный граф системы.
4. Проанализируйте решение по п.1 Этапа II в зависимости от расположения нулей и полюсов передаточной функции.
5. Запишите уравнения модели в терминах пространства состояний системы.
6. Решите уравнения модели по п.5 Этапа II.
7. Сопоставьте решения, полученные по п.1 и п.6 Этапа II.
8. Сделайте выводы относительно свойств данной физической системы: ее устойчивость, управляемость и наблюдаемость.

Этап III. Используйте компьютерную систему MATLAB (или SCILAB):

1. Найдите численное решение уравнений модели (ode45).
2. Найдите аналитическое решение уравнений модели (dsolve).
3. Постройте и проанализируйте графики решения при различных значениях параметров.
4. Постройте и проанализируйте поле направлений для уравнений модели.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Лабораторные задания объемны и трудоемки, поэтому **Этап I** студенты выполняют как контрольную работу №1 в классе ($V_{кр-1}$ баллов), и она предшествует соответствующей лабораторной работе. Выполнение задания на лабораторную работу (ЛР) в дисплейном классе без подготовительной работы дома невозможно. Лабораторная работа рассчитана на весь семестр и включает три части: **Этап II** (H_1 баллов), **Этап III** (H_2 баллов) и написание и защита **Отчета** по форме (H_3 баллов):

1. Введение [Кратко: Зачем и о чем ваша работа?]
2. Построение математических моделей системы
3. Составление уравнений модели:
 - а. Обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ) n-го порядка
 - б. Система ОДУ первого порядка (в матричной форме Коши)
4. Сопоставление решений уравнений модели, полученных в п.3:
 - а. Аналитическое решение в замкнутой форме
 - б. Решение в пакете Scilab / MATLAB (результат вашей лабораторной работы)
5. Заключение [Кратко: Что вы сделали и что узнали в этой работе?]

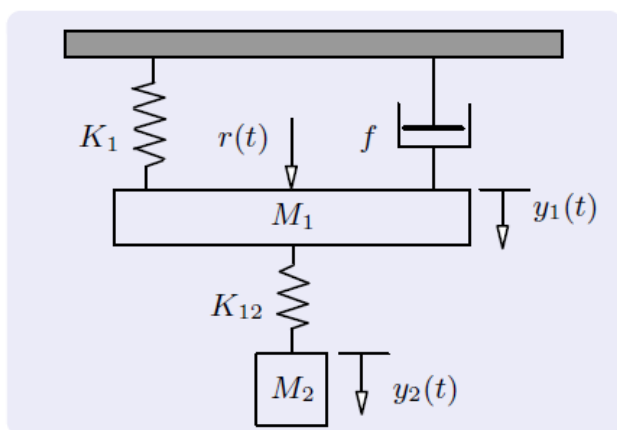
Завершите отчет списком литературы (какой пользовались). Текст компьютерной программы для Scilab/MATLAB и протоколы вычислительного эксперимента \Rightarrow в Приложение.

Результирующий балл по лабораторной работе за Семестр 1 определяется формулой:

$$H = (H_1 + H_2 + H_3) / 3.$$

Пример задачи №9 для лабораторной работы из учебного пособия:

Абсорбер (M_2 и K_{12}) вибраций массы M_1



- $r(t) = R \sin(\omega_r t)$
- наблюдается $z(t) \triangleq y_1(t)$

Введите $[v_1, v_2]$ —скорости,

- вектор состояния
 $x(t)^T = [y_1(t), y_2(t), v_1(t), v_2(t)]$
- и систему уравнений:
 $dx/dt = Fx(t) + Br(t)$
 $z(t) = Hx(t)$.

- Проверьте управляемость и наблюдаемость этой системы.
- Найдите передаточную функцию $G(s) \triangleq Z(s)/R(s)$.
- Нарисуйте эквивалентную электрическую схему.
- Выберите параметры M_2 и K_{12} , чтобы масса M_1 не вибрировала.




Используйте компьютерную систему MATLAB (или SCILAB):

- 1 Найдите численное решение уравнений модели (ode45).
- 2 Найдите аналитическое решение уравнений модели (dsolve).
- 3 Постройте и проанализируйте графики решения при различных значениях параметров.
- 4 Постройте и проанализируйте поле направлений для уравнений модели.

Примечание: Если начальная подготовка студентов окажется не вполне адекватна сложности подобных заданий, преподаватель может допускать выполнение задания паре студентов. Иногда такое выполнение оказывается более полезно, поскольку два студента, работающие совместно, могут обучать друг друга. Как известно, это наиболее эффективная форма освоения сложного материала.

Семестр 2

Задания на лабораторные работы Семестра 2 повторяют методику выполнения заданий Семестра 1. Отличие заключается в том, что теперь каждый студент выполняет три задания ($N = (N_1 + N_2 + N_3)/3$), и каждое задание из трех ориентировано на построение и исследование стохастической, а не детерминистской, модели, что меняет содержание работы принципиально. Организационно, сохранен тот же принцип: **Этап I** каждого задания студент выполняет в классе в виде контрольной работы, а **Этап II**, **Этап III** и написание и защита **Отчета** по заданной форме он выполняет в виде домашней (самостоятельной) ра-

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

боты. Таким образом, трем лабораторным работам предшествуют три контрольные работы, каждая в виде **Этапа I** соответствующего лабораторного задания.

Пример задания №13 из 23-х для одной лабораторной работы из учебного пособия:

что? 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

Модель автопилота в режиме стабилизации высоты

Задание 13. Качество функционирования автопилота в режиме стабилизации высоты характеризуется передаточной функцией

$$\frac{h(s)}{h_c(s)} = \frac{0.3(s + 0.01)}{s^2 + 0.006s + 0.003},$$

где h представляет собой высоту и h_c – заданную высоту. Задатчик высоты h_c моделируется как константа h_{c0} плюс белый гауссов шум $\delta h_c(t)$ в канале задатчика:

$$h_c(t) = h_{c0} + \delta h_c(t).$$

Константа h_{c0} моделируется как нормальная случайная величина со статистиками:

Среднее значение=3000 m, Дисперсия=22500 m².


Шум в канале задатчика имеет следующие статистики:

$$E\{\delta h_c(t)\} = 0; E\{\delta h_c(t)\delta h_c(t + \tau)\} = N_c \delta(\tau); N_c = 36 \text{ m}^2 \text{ sec},$$

и $\delta h_c(t)$ независимо от всех других процессов. Доступны непрерывные измерения высоты для получения оценки высоты с минимальной дисперсией. Измерения высоты содержат белый шум, так что измеренная высота есть

$$h_m(t) = h(t) + \delta_m(t),$$



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

где $\delta_m(t)$ — независимый белый шум с характеристиками:

$$E\{\delta_m(t)\} = 0; E\{\delta_m(t)\delta_m(t + \tau)\} = N_m\delta(\tau); N_m = 81 \text{ м}^2 \text{ сек}.$$

- Определите дифференциальные уравнения, описывающие оптимальную (с минимумом дисперсии ошибки) оценку высоты $h(t)$. Выпишите эти уравнения в скалярной форме. Объясните, как бы вы определили коэффициенты этих уравнений.
- Повторите предыдущий пункт, но используйте дискретные во времени измерения, поступающие раз в секунду с ошибкой в виде гауссова белого шума с нулевым средним и интенсивностью 81 м^2 .
- Для пунктов (а) и (б) проведите сравнительный вычислительный эксперимент. Для моделирования по пункту (а) используйте пакет типа MATLAB/Scilab или составьте свою программу численного моделирования, включающую интегрирование уравнения Риккати для расчета оптимальной оценки. Для моделирования по пункту (б) используйте предлагаемый Программный продукт Win_SMOUv1.1: "Stochastic Models, Estimation, and Control". Дайте объяснения результатам.



8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

8.1 Курсовые работы предусмотрены планом данной дисциплины в **Семестре 2**. Ввиду того, что три лабораторные работы Семестра 2 объемны по своему содержанию, студент выбирает одну из трех предназначенных ему лабораторных работ в качестве его курсовой работы и оформляет ее в полном соответствии с требованиями к работам такого рода. Пример темы и задания на курсовую работу показан на предыдущей странице данной рабочей программы (задание №13). Всего предлагается 23 темы курсовых работ.

8.2 Тематика контрольных работ: Полный перечень вариантов заданий на три контрольные работы приведен в Фонде оценочных средств.

Семестр 1:


Студент выполняет контрольные работы в классе в своей [Рабочей тетради](#)

РТ-2 ∈ { [a](#), [b](#), [c](#), [d](#), [e](#), [f](#) } = контрольная работа 1 (оценка $B_{КР-1}$) = { [Этап 1](#) вашего лабораторного задания } + { [КР-2](#) } = контрольная работа 2 (оценка $B_{КР-2}$) + { [q](#), [r](#), [s](#), [t](#), [u](#), [v](#), [w](#), [x](#) } = контрольная работа 3 (оценка $B_{КР-3}$).

Три контрольные работы: 4-я, 10-я и 16-я недели семестра

- $КР-1$ = Одна задача из { [a](#), [b](#), [c](#), [d](#), [e](#), [f](#) }
- $КР-2$ = Одна задача из { [КР-2](#) }
- $КР-3$ = Одна задача из { [q](#), [r](#), [s](#), [t](#), [u](#), [v](#), [w](#), [x](#) }

Контрольная работа №1: Построение математической модели заданной физиче-

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ской системы. Пример из классической механики (задача 9) показан выше. В рамках контрольной работы №1 требуется выполнить **Этап I** задания, как описано выше в разд. 7:

Этап I. Сформулируйте математическую модель:

1. Какие элементы составляют систему?
2. Какие переменные и какие уравнения характеризуют каждый элемент?
3. Каков тип каждого элемента с точки зрения накопления / рассеяния энергии?
4. Какие предположения являются исходными для описания системы?
5. Как выглядят уравнения взаимодействия элементов, то есть полная математическая модель системы?
6. Какие предположения необходимы для линеаризации модели?
7. Является ли линеаризованная модель инвариантной во времени?

Контрольная работа №2: Декомпозиция системы – выделение полностью управляемой и полностью наблюдаемой части системы. Эквивалентные преобразования базиса при математическом описании системы.

Типовое задание показано ниже. Его выполнение позволяет студенту понять, что свойства полной управляемости и полной наблюдаемости системы не зависят друг от друга и, следовательно, порождают возможность декомпозиции системы в общем случае на четыре части: I – полностью управляемая и полностью наблюдаемая часть; II – полностью управляемая и полностью ненаблюдаемая часть; III – полностью неуправляемая и полностью наблюдаемая часть; IV – полностью неуправляемая и полностью ненаблюдаемая часть. Все задания для большого числа студентов – индивидуальные.



Контрольная работа №2: Задание, варианты, сроки

День проведения КР-2 = 10-я неделя семестра

Студент получает индивидуальный Вариант задания N , где N – случайный номер, данный преподавателем в начале КР-2. В конце КР-2 студент сдает свою работу с решением задачи. Преподаватель проверяет решение **для ТКНУ – текущего контроля надлежащей успеваемости.**

Задание


Дано описание системы в пространстве состояний:

$$\frac{dx(t)}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -N & -(2N+1) & -(N+2) \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} u(t),$$

$$z(t) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} x(t).$$

Требуется:

- Произвести декомпозицию – выделить в эквивалентной модели ту часть, которая обладает свойствами полной управляемости и полной наблюдаемости, и указать свойства полной управляемости и наблюдаемости другой части.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		


Для этого проделайте следующее:

- ❶ Найдите передаточную функцию системы $G(s)$.
- ❷ Постройте каноническую (жорданову) модель системы (в зависимости от N): если N – нечетно, каноническую модель строить по первому входу системы, иначе – по второму.
- ❸ Проиллюстрируйте результаты решения по пп. 1 и 2 блок-схемой или графом модели.
- ❹ Сформулируйте ваши выводы из найденного решения:
 - ❶ Что вы узнали из вашего решения?
 - ❷ Можно ли утверждать, что построенная модель обладает такими же свойствами полной управляемости и наблюдаемости, как и исходная (заданная модель)?
 - ❸ Чем обоснуете ваш ответ?

Контрольная работа №3: Анализ вырожденной модели, заданной сигнальным графом.

В этой контрольной работе студент получает возможность убедиться, что свойства полной управляемости и полной наблюдаемости системы могут кардинально изменяться в зависимости от способа соединения составляющих модулей системы даже если независимо от этого способа передаточная функция системы остается неизменной. Это происходит, когда система оказывается вырожденной.

В работе система третьего порядка задана в восьми возможных вариантах последовательного (каскадного) соединения двух модулей, один из которых – подсистема второго порядка, а другой – подсистема первого порядка. Для подсистемы второго порядка предлагаются различные типы моделей: стандартная управляемая модель (СУМ), стандартная наблюдаемая модель (СНМ) или каноническая (жорданова) модель (КМ).

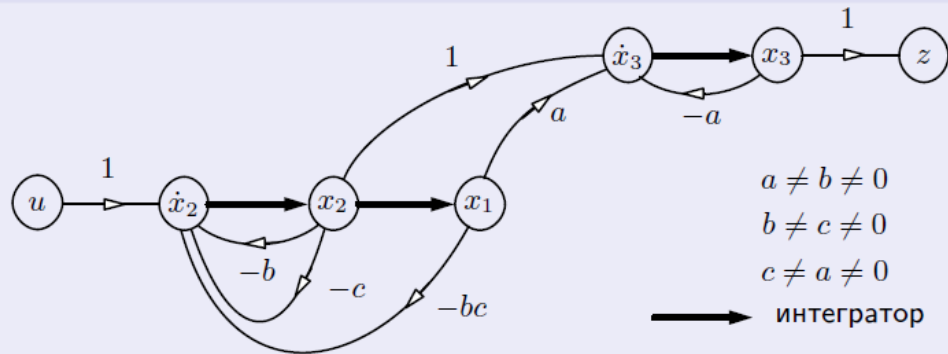
Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ЧТО? 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z КАК? Q&A

Анализ модели, заданной сигнальным графом

Контрольная работа №3: задача из {q, r, s, t, u, v, w, x}

Дан следующий сигнальный граф:



Выполните пункты задания, сформулированные ниже:



ЧТО? 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z КАК? Q&A

Анализ модели, заданной сигнальным графом

Контрольная работа №3: задача из {q, r, s, t, u, v, w, x}


- 1 По правилу Мэйсона определите передаточную функцию $G(s)$.
- 2 Из графа восстановите уравнения модели в векторно-матричной форме Коши и по ним снова найдите $G(s)$. Сравните с п. 1.
- 3 Характеризуйте фундаментальные свойства системы: полная управляемость, полная наблюдаемость, устойчивость. Возможна ли утрата этих свойств? Нет? Да? При каких условиях?
- 4 Выполните декомпозицию модели на отдельные каскадно соединенные подсистемы и найдите их передаточные функции.
- 5 Найдите переходную матрицу $\Phi(t)$ состояния данной модели и импульсную переходную характеристику (ИПХ) $g(t) \doteq G(s)$.
- 6 Раскройте формулу $z(t) = H\Phi(t)x(0) + \int_0^t g(t-\tau)u(\tau) d\tau$ и свяжите ее вид с Вашими ответами по п. 3.

Семестр 2:

Каждую из трех контрольных работ Семестра 2 студент выполняет как **Этап I** каждого из трех заданий на лабораторные работы. Об этой особенности подробно сказано а разд. 7.

8.2.1 Правила выполнения контрольных работ:

Контрольные работы выполняются в классе. Переписывание (повторное выполне-


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ние) контрольных работ запрещено.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ, ЗАЧЕТУ

1 семестр (зачет)


1. Применение преобразования Лапласа к решению линейных дифференциальных уравнений.
2. Понятия: передаточной функции, импульсной переходной характеристики, переходной характеристики.
3. Определения типов моделей систем: динамические / статические, линейные / детерминистские, сосредоточенные / распределенные, конечномерные параметрические / функциональные.
4. Модели в пространстве состояний и в частотной области.
5. Эквивалентные преобразования моделей в пространстве состояний.
6. Построение стандартной управляемой модели по передаточной функции. Определение ее свойств устойчивости, полной управляемости и наблюдаемости.
7. Построение стандартной наблюдаемой модели по передаточной функции. Определение ее свойств устойчивости, полной управляемости и наблюдаемости.
8. Построение канонической модели по передаточной функции в случае простых полюсов. Определение ее свойств устойчивости, полной управляемости и наблюдаемости. Граф или блок-схема. Способы перехода к такой модели от любой другой.
9. Построение канонической модели по передаточной функции в случае кратных полюсов. Определение ее свойств устойчивости, полной управляемости и наблюдаемости. Граф или блок-схема.
10. Построение канонической модели по передаточной функции в случае комплексно-сопряженных полюсов. Определение ее свойств устойчивости, полной управляемости и наблюдаемости. Граф или блок-схема.
11. Модели с многими входами и выходами в пространстве состояний: инвариантные к сдвигу по времени, переменные во времени, нелинейные. Вывод уравнения возмущенного движения. Пример.
12. Решение линейных уравнений состояния с переменными параметрами в непрерывном времени.
13. Решение линейных уравнений состояния с постоянными параметрами в непрерывном и в дискретном времени.
14. Управляемость. Теорема о полной управляемости непрерывных систем. Следствие и критерий полной управляемости систем с постоянными параметрами в непрерывном времени.
15. Управляемость. Теорема о полной управляемости дискретных систем. Следствие и критерий полной управляемости систем с постоянными параметрами в дискретном времени.
16. Наблюдаемость. Теорема о полной наблюдаемости непрерывных систем. Следствие и критерий полной наблюдаемости систем с постоянными параметрами в непрерывном времени.
17. Наблюдаемость. Теорема о полной наблюдаемости дискретных систем. Следствие и критерий полной наблюдаемости систем с постоянными параметрами в дискретном времени.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

18. Обобщенный анализ свойств полной управляемости и наблюдаемости. Декомпозиция системы на четыре части при таком анализе. Сравнение полноты описаний в пространстве состояний и в частотной области.

2 семестр (экзамен)

1. Стохастические процессы (СП): основные определения. Характеризация СП. Независимость, некоррелированность и стационарность для СП.
2. Построение дискретных моделей непрерывных систем. Вывод в пространстве переменных состояния.
3. Построение дискретных моделей непрерывных систем. Вывод в частотной области (z-преобразование).
4. Построение формирующих фильтров для моделирования стационарных в широком смысле случайных процессов.
5. Преобразование стационарных в широком смысле случайных процессов в линейных динамических системах.
6. Построение компьютерной модели случайного процесса с заданной корреляционной функцией.
7. Дискретное преобразование Лапласа, z-преобразование и дискретная передаточная функция.
8. Процесс броуновского движения, его характеристики и свойства траекторий..
9. Процесс гауссового белого шума, его формальное определение и свойства.
10. Стохастические интегралы. Стохастические дифференциалы.
11. Линейные стохастические дифференциальные уравнения, их формальное решение.
12. Построение алгоритма калмановской фильтрации в дискретном времени – экстраполяция по времени оценок и ковариаций.
13. Построение алгоритма калмановской фильтрации в дискретном времени – обновление оценок и ковариаций по измерениям.
14. Виды устойчивости (при нулевом входе): в малом, в большом, асимптотическая, экспоненциальная, BIBO-устойчивость (при ограниченном входе).
15. Устойчивость линейных систем – критерий Рауса-Гурвица в классической форме определителя и в виде таблиц с определителями не выше второго порядка.
16. Определения понятий сигнального графа: детерминант, петля, путь, кофактор. Вывод правила Мейсона на примере системы линейных алгебраических уравнений второго порядка.
17. Определения (разновидности) апостериорных оценок состояния. Критерии качества оценивания. Фундаментальные результаты теории оценивания (теорема Шермана).
18. Двухстадийный алгоритм оптимального оценивания состояния с линейными дискретными моделями систем. Стадия 1: экстраполяция оценок на шаг вперед (одношаговое предсказание – обновление оценок по времени).
19. Двухстадийный алгоритм оптимального оценивания состояния с линейными дискретными моделями систем. Стадия 2: обновление оценок по измерениям.
20. Оптимальное оценивание состояния линейной дискретной модели, матричное описание которой известно. Уравнения (итерации) Риккати.
21. Методы параметрической идентификации линейных стохастических систем. Точные модели и приближенные модели. Метод минимума ошибки предсказания выхода системы (Minimum Output Prediction Error method, Льюнг).


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

22. Метод минимума ошибки предсказания состояния системы (Minimum State Prediction Error method, Семушин).
23. Критерии оптимальности управления в детерминистском и стохастическом вариантах задачи. Решение этих задач: метод множителей Лагранжа – в детерминистском варианте задачи.
24. Метод динамического программирования Беллмана – в стохастическом варианте задачи управления.
25. Основные формулировки из теории стохастического оптимального управления систем. Принцип стохастической эквивалентности. Теорема разделения для оптимального стохастического LQG -управления.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов осуществляется в форме домашнего выполнения заданий по трем основным темам, по которым студенты выполняют контрольные работы 1, 2 и 3 (см. разд. 8) и прорабатывают теоретический материал, при подготовке к текущим занятиям и финальному зачету.

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы	Объем в часах	Форма контроля
1.1. Обзор курса математического моделирования сложных систем.	Проработка лекционного материала (лекция №1)	0,5	Опрос
1.2. Система ТКНУ и финальное оценивание.	Ознакомление с руководящим документом «Обзор курса» (1 стр. текста)	0,5	Опрос
2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем.	Проработка теоретического материала и решение задач.	4	Проверка задач
2.2. Дифференциальные уравнения физических систем	Контрольная работа №1. Домашнее задание к КР №1.	4	КР1 = (2час) = $\mathbf{B}_{кр-1}$.
2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ).	Проработка теоретического материала и решение задач.	4	Проверка задач
2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем.	Проработка теоретического материала и решение задач.	4	Проверка задач
2.5. Модели линейных систем в виде сигнальных графов.	Проработка теоретического материала и решение задач.	4	Проверка задач
2.6. Компьютерный анализ систем управления.	Лабораторная работа №1.	6	Отчет лаб.раб.1 = \mathbf{H}_1 (2час)
3.1. Динамические модели с непрерывным временем.	Решение задач.	5	Зачет, проверка задач
3.2. Решение уравнений состояния линейных систем.	Лабораторная работа №2. Домашнее задание к КР №2.	5	Отчет лаб.раб.2 = \mathbf{H}_2 (2час)

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		


3.3. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая.	Контрольная работа №2. Домашнее задание к КР №2.	7	КР2= (2час) = $\mathbf{B}_{кр-2}$.
3.4. Управляемость и наблюдаемость систем.	Контрольная работа №2. Домашнее задание к КР №2.	5	КР3= (2час) = $\mathbf{B}_{кр-3}$.
3.5. Устойчивость систем.	Лабораторная работа №2.	5	Отчет лаб.раб.3 = \mathbf{H}_3 (2час)
4.1. Стохастические процессы.	Проработка теоретического материала	6	Проверка задач
4.2. Стационарные стохастические процессы.	Проработка теоретического материала и решение задач.	8	Проверка задач
4.3. Моделирование стохастических систем.	Решение задач.	8	Проверка задач
4.4. Моделирование случайных процессов.	Решение задач.	8	Проверка задач
5.1. Задача оптимального оценивания.	Контрольная работа №1. Домашнее задание к КР №1.	10	КР1= (2час) = $\mathbf{B}_{кр-1}$.
5.2. Дискретный фильтр Калмана.	Лабораторная работа №1. Домашнее задание к КР №2.	10	Отчет лаб.раб.1 = \mathbf{H}_1 (2час)
5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра.	Контрольная работа №2.	10	КР2= (2час) = $\mathbf{B}_{кр-2}$.
6.1. Динамическое программирование и задача управления	Решение задач.	6	Проверка задач
6.2. Оптимальное управление с точным знанием состояния.	Контрольная работа №3.	8	КР3= (2час) = $\mathbf{B}_{кр-3}$.
6.3. Оптимальное управление с неполными зашумленными измерениями состояния.	Решение задач.	8	Проверка задач
6.4. Синтез LQG-оптимального управления.	Решение задач.	8	Проверка задач

Примечание 1:

Указанные выше (в разд. 6) условия получения Сертификата о надлежащей успеваемости (СНУ) в течение семестра от преподавателя могут быть выполнены, если и только если студент использует часы, выделенные в плане самостоятельной работы (в сумме 144 час), для проработки теоретического материала, для подготовки к трем контрольным работам и трем лабораторным к каждому семестру. Одна лишь аудиторная работа в объеме 108 час не может обеспечить получение СНУ.

Примечание 2:

Преподаватель фиксирует намерение отказать студенту в получении СНУ проставлением оценки «не аттестован» в журнале аттестации, что служит предупреждением студенту в середине семестра.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы

основная литература:


1. Семушин И.В. Вычислительные методы алгебры и оценивания: учебное пособие” – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 366 с.
2. Адаптивные системы фильтрации, управления и обнаружения : монография / И. В. Семушин, Ю. В. Цыганова, М. В. Куликова, О. А. Фатьянова; под ред. И. В. Семушина. - Ульяновск : УлГУ, 2011. - Имеется печ. аналог; Загл. с экрана. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 3,34 Мб). - Текст : электронный.- <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/185>
3. Данилов, А. М. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем : учебное пособие / А. М. Данилов, И. А. Гарькина, Э. Р. Домке. — Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, ЭБС АСВ, 2011. — 296 с. — ISBN 978-5-9282-0733-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/23100.html>

дополнительная:

1. Семушин И. В. Методы вычислений с использованием МАТЛАБ : учеб.-метод. пособие / И. В. Семушин, Ю. В. Цыганова, А. И. Афанасова; УлГУ, ФМИИТ. - Ульяновск : УлГУ, 2014. - Загл. с экрана; Имеется печ. аналог. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 1,86 Мб). - Текст : электронный. <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/241>
2. Семушин Иннокентий Васильевич. Стохастические модели и оценки : лаборат. практикум по курсу "Теория оптимального управления" / Семушин Иннокентий Васильевич, Ю. В. Цыганова; Ульяновск. гос. техн. ун-т. - Ульяновск : УлГТУ, 2001. - Загл. с экрана. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 295 КБ). - Текст : электронный. <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/990>
3. Семушин Иннокентий Васильевич. Детерминистские модели динамических систем : учеб. пособие / Семушин Иннокентий Васильевич, Ю. В. Цыганова; УлГУ. - Ульяновск : УлГУ, 2006. - 77 с. - Библиогр.: с. 77. - ISBN 5-89146-983-9.

учебно-методическая:

1. Семушин И.В. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Математическое моделирование сложных систем» для магистратуры по направлениям подготовки 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» / И. В. Семушин; УлГУ, ФМИИАТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - Загл. с экрана; Неопубликованный ресурс. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 876 КБ). - Текст : электронный.- <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/8937>
2. Семушин И.В. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Математическое моделирование сложных систем» для магистратуры по направлениям подготовки 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» / И. В. Семушин; УлГУ, ФМИИАТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - Загл. с экрана; Неопубликованный ресурс. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 737 КБ). - Текст : электронный.- <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/8938>
3. Семушин И.В. Методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Математическое моделирование сложных систем» для магистратуры по направлениям подготовки 02.04.03 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем» / И. В. Семушин; УлГУ, ФМИИАТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - Загл. с экрана; Неопубликованный ресурс. - Электрон. текстовые дан. (1 файл : 620 КБ). - Текст : электронный.- <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/8939>

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Согласовано:

ДИРЕКТОР НБ / БУРХАНОВА М.М. / *М.М. Бурханова* / _____
 Должность сотрудника научной библиотеки ФИО подпись дата

б) Программное обеспечение

Для образовательного процесса по данной дисциплине необходим стационарный класс ПК с установленным следующим программным обеспечением:

- операционная среда ОС Windows/Linux;
- системы программирования на языках Си/C++ (Code::Blocks).
- система программирования Scilab.

в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2022]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. – Москва, [2022]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. – Москва, [2022]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2022]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2022]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.


1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. – Санкт-Петербург, [2022]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2022]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. Clinical Collection : научно-информационная база данных EBSCO // EBSCOhost : [портал]. – URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102> . – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

1.9. База данных «Русский как иностранный» : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2022]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2022].

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

3. Базы данных периодических изданий:

3.1. База данных периодических изданий EastView : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2022]. – URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2022]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.3. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД Гребенников. – Москва, [2022]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» : электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2022]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

5. **SMART Imagebase** : научно-информационная база данных EBSCO // EBSCOhost : [портал]. – URL: <https://ebSCO.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

6.1. **Единое окно доступа к образовательным ресурсам** : федеральный портал . – URL: <http://window.edu.ru/> . – Текст : электронный.


6.2. **Российское образование** : федеральный портал / учредитель ФГАУ «ФИЦТО». – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

7. Образовательные ресурсы УлГУ:

7.1. Электронная библиотечная система УлГУ : модуль «Электронная библиотека» АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

Зам. нач. УИТиТ | Клюшова Ю.В. | _____ | _____
 должность сотрудника УИТиТ | ФИО | подпись | дата

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ


Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций. Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе. Перечень оборудования, используемого в учебном процессе, указывается в соответствии со сведениями о материально-техническом обеспечении и оснащённости образовательного процесса, размещёнными на официальном сайте УлГУ в разделе «Сведения об образовательной организации».


13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Обучение по ОПОП ВО обучающихся с ограниченными возможностями здоровья осуществляется с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся. Образование обучающихся с ограниченными возможностями здоровья может быть организовано как совместно с другими обучающимися, так и отдельно. В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:


- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.
- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации».


В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Разработчик _____  _____ профессор / Цыганова Юлия Владимировна /

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Содержание изменения или ссылка на прилагаемый текст изменения	ФИО заведующего кафедрой, реализующей дисциплину/выпускающей кафедрой	Подпись	Дата
1	Внесение изменений в п. 11.в) с оформлением приложения 1	Волков М.А		31.08.23 г.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Приложение 1

в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2023]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство «ЮРАЙТ». – Москва, [2023]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Политехресурс». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО «Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Букап». – Томск, [2023]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС «Лань». – Санкт-Петербург, [2023]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Знаниум». - Москва, [2023]. - URL: <http://znanium.com>. – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система. / ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2023].

3. Базы данных периодических изданий:

3.1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО «Научная Электронная Библиотека». – Москва, [2023]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.2. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД «Гребенников». – Москва, [2023]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» : электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2023]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

5. Российское образование : федеральный портал / учредитель ФГАУ «ФИЦТО». – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

6. Электронная библиотечная система УлГУ : модуль «Электронная библиотека» АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.