


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**УТВЕРЖДЕНО**  
 решением Ученого совета факультета  
 математики, информационных и авиационных технологий  
 от 20.09 2022 г., протокол № 7/22  
 Председатель М.А. Волков /Волков М.А.  
 (подпись, расшифровка подписи)  
20.09 2022 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

|                      |  |
|----------------------|--|
| Дисциплина           | Математическое моделирование сложных систем с управлением и фильтрацией (дисциплина по теме диссертации) |
| Наименование кафедры | Информационные технологии (ИТ)   |

Научная специальность 2 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки)  
*(шифр и название специальности)*


Дата введения в учебный процесс УлГУ: 15 октября 2022 г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2023 г.  
 Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2024 г.  
 Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2025 г.

Сведения о разработчиках:

| ФИО                        | Аббревиатура кафедры | Ученая степень, звание |
|----------------------------|----------------------|------------------------|
| Цыганова Юлия Владимировна | ИТ                   | д.ф.-м.н., доцент      |

|  |
|--|
| <b>СОГЛАСОВАНО</b>   |
| Заведующий кафедрой  |
| <u>М.А. Волков</u> /Волков М.А. /<br>(Подпись) (ФИО)<br><u>16.09</u> 2022 г. |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Математическое моделирование сложных систем с управлением и фильтрацией» знакомит аспирантов с основополагающими фактами стохастической теории систем управления.

Предметом дисциплины являются основные методы построения и анализа математических моделей систем обработки информации и управления, методы оценивания состояния объектов и управления ими в условиях случайных воздействий и случайных помех наблюдения.

**Целью дисциплины** «Математическое моделирование сложных систем с управлением и фильтрацией» является формирование профессиональных компетенций, необходимых для реализации информационно-аналитической и научно-исследовательской деятельности, а именно:

- 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 начальные навыки и способность разбираться в приложениях теории к задачам оценивания состояния и управления объектов.

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 написании кандидатской диссертации.

**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 ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина 2.1.3.3 “Математическое моделирование сложных систем с управлением и фильтрацией” (Дисциплина по теме диссертации) входит в Блок 2. Образовательный компонент и является одной из обязательных дисциплин блока 2.1 Дисциплины (модули). Преподается на 2 курсе, в 1 семестре. Знания, полученные аспирантами в результате освоения данной дисциплины, являются базовыми для подготовки диссертации по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (физико-математические науки).

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

Знать:

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |


- содержание основных задач дисциплины и типовых методов их решения с опорой на широкий математический аппарат сопряженных дисциплин своей специализации;
- методы математического моделирования, технологии программирования на языке высокого уровня и информационные технологии;
- основные методы проведения научных исследований в области математического моделирования сложных систем;
- современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования.

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;
- переводить на математический язык (т.е. представлять в форме дифференциальных уравнений) те физические законы или гипотезы, которым подчиняется изменение состояния изучаемых объектов;
- проводить научные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности;
- 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 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;
- 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;
- методикой разработки компьютерных программ высокого уровня сложности, эффективно реализующих компьютерные алгоритмы оценивания состояния и управления по неполным и зашумленным наблюдениям с учетом требований быстродействия, точности и экономии памяти;
- навыками применения современных методов разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ


4.1. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

4.2. По видам учебной работы (в часах)


| Вид учебной работы   | Количество часов (форма обучения - очная) |                         |
|--|---|-------------------------|
|  | Всего по плану                            | В т.ч. по семестрам     |
|  |   | 3                       |
| 1  | 2   | 3                       |
| Лекции   | 16  | 16                      |
| Практические и семинарские занятия                                     | 16  | 16                      |
| Самостоятельная работа   | 76  | 76                      |
| Текущий контроль (количество и вид: конт. работа, коллоквиум, реферат) | Опрос, домашнее задание                   | Опрос, домашнее задание |
| Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)                         | зачет                                     | зачет                   |
| Всего часов по дисциплине  | 108                                       | 108                     |

4.3. Содержание дисциплины (модуля.) Распределение часов по темам и видам учебной работы:


| Название разделов и тем   | Всего | Виды учебных занятий |                                |                                 |                               |                        | Форма текущего контроля знаний          |
|---|-------|----------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------|---|
|   |       | Аудиторные занятия   |                                |                                 | Занятия в интерактивной форме | Самостоятельная работа |   |
|   |       | Лекции               | Практические занятия, семинары | Лабораторные работы, практикумы |                               |                        |   |
| 1   | 2     | 3                    | 4                              | 5                               | 6                             | 7                      | 8                                       |
| <b>Раздел 1. Обзор содержания и оценивание курса</b>  |       |                      |                                |                                 |                               |                        |   |
| 1.1. Обзор курса. Система текущего контроля надлежащей успеваемости и финальное оценивание. | 2,2   | 0,2                  | -                              | -                               | -                             | 2                      |   |
| 1.2 Система ТКНУ и финальное оценивание.  | 4,3   | 0,3                  | -                              | -                               | -                             | 4                      | Устный опрос                            |
| <b>Раздел 2. Дифференциальные уравнения физических систем</b>                               |       |                      |                                |                                 |                               |                        |   |
| 2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем.                                  | 4,5   | 0,5                  | -                              | -                               | -                             | 4                      | Решение задач в рабочей тетради для се- |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|  |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|
|  |   |   |   |   |   |   | минаров (РТ-1).   |
| 2.2. Дифференциальные уравнения физических систем  | 8 | 1 | 1 | - | - | 6 | Этап I задания в РТ-2 для контрольных раб. (В <sub>кр-1</sub> ).              |
| 2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ).  | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Решение задач в РТ-1 для семинаров.   |
| 2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем. Модели линейных систем в виде сигнальных графов.     | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Решение задач в РТ-1 для семинаров.   |
| 2.5. Компьютерный анализ систем управления.  | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Устный опрос.   |
| <b>Раздел 3. Детерминистские модели состояния систем</b>   |   |   |   |   |   |   |   |
| Тема 3.1. Динамические модели с непрерывным временем. Решение уравнений состояния линейных систем.           | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Решение задач в РТ-1 для семинаров.   |
| Тема 3.2. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая. Управляемость и наблюдаемость систем. | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Устный опрос  |
| Тема 3.3. Устойчивость систем.   | 6 | 1 | 1 | - | - | 4 | Решение задачи в РТ-2 для контрольных раб. (оценка В <sub>кр-2</sub> баллов). |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|   |     |     |    |   |   |    |                             |
|---|-----|-----|----|---|---|----|-----------------------------|
| <b>Раздел 4. Стохастические процессы и линейные динамические системы</b>                                |     |     |    |   |   |    |                             |
| 4.1. Стохастические процессы. Стационарные стохастические процессы.                                     | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| 4.2. Моделирование стохастических систем. Моделирование случайных процессов.                            | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| <b>Раздел 5. Оценивание состояния линейных моделей систем</b>   |     |     |    |   |   |    |                             |
| 5.1. Задача оптимального оценивания.  | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | КРЗ= (2час) = $V_{кр-3}$ .  |
| 5.2. Дискретный фильтр Калмана.   | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| 5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра.  | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| <b>Раздел 6. Задача стохастического оптимального управления с линейными дискретными моделями систем</b> |     |     |    |   |   |    |                             |
| 6.1. Динамическое программирование и задача управления  | 5,5 | 0,5 | 1  | - | - | 4  | Устный опрос                |
| 6.2. Оптимальное управление с точным знанием состояния.   | 5   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос                |
| 6.3. Оптимальное управление с неполными зашумленными измерениями состояния.                             | 6   | 1   | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| 6.4. Синтез LQG-оптимального управления.  | 5,5 | 0,5 | 1  | - | - | 4  | Устный опрос, решение задач |
| Итого   | 108 | 16  | 16 | - | - | 76 |                             |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

### Раздел 1. Обзор содержания и оценивание курса

**Тема 1.1.** *Обзор курса. Система текущего контроля надлежащей успеваемости и финальное оценивание.*

**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.

### Раздел 2. Дифференциальные уравнения физических систем

**Тема 2.1.** *Сквозные и относительные переменные элементов систем:* Дифференциальные уравнения идеальных элементов (законы Ома для двухполюсников различного типа с точки зрения энергии).

**Тема 2.2.** *Дифференциальные уравнения физических систем:* Модель физического маятника. Параллельная  $RLC$  электрическая цепь под воздействием тока.

**Тема 2.3.** *Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ):* Преимущества применения преобразования Лапласа для нахождения решения дифференциального уравнения

**Тема 2.4.** *Передачные функции линейных стационарных систем:* Структурные схемы систем. Решение линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами посредством ПЛ.

*Модели линейных систем в виде сигнальных графов.* Формула Мейсона для нахождения передаточных функций сложной системы.

**Тема 2.5.** *Компьютерный анализ систем управления:* Преимущества компьютерного моделирования в процессах анализа и синтеза систем. Примеры на синтез систем управления. Моделирование систем управления с помощью MATLAB.

Этот раздел предусматривает выполнение Контрольной работы №1. Все задания – индивидуальные.

### Раздел 3. Детерминистские модели состояния систем

**Тема 3.1.** *Динамические модели с непрерывным временем:* Характеристики динамических систем. Модели в пространстве состояний.

*Решение уравнений состояния линейных систем:* Общее решение линейного дифференциального уравнения состояния – неинвариантного во времени. Свойства переходной матрицы состояния. Переход к модели в дискретном времени.

**Тема 3.2.** *Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая:* Определения моделей. Построение моделей СУМ, СНМ и КМ по передаточной функции.


*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.

**Тема 3.3.** *Устойчивость систем:* Критерий Рауса-Гурвица. Определения устойчивости систем. Табличная форма критерия Рауса-Гурвица. Четыре различных случая для таблицы Рауса.

Этот раздел предусматривает выполнение Контрольной работы №2. Все задания – индивидуальные.

### Раздел 4. Стохастические процессы и линейные динамические системы

**Тема 4.1.** *Стохастические процессы:* Процессы с дискретным и непрерывным време-

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

нем. Числовые характеристики: функция средних значений и ковариационная матрица, корреляционная матрица, взаимные характеристики. Многомерный гауссовский процесс.

*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.

**Тема 4.2. 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). *Моделирование случайных процессов:* Формирующие фильтры и расширение вектора состояния. Практическое построение моделей систем и процессов по эмпирическим данным.

#### Раздел 5. Оценивание состояния линейных моделей систем

**Тема 5.1. Задача оптимального оценивания:** Постановка задачи. Оценки на основе байесовского критерия. Основные факты теории оптимального оценивания. Теорема Шермана.

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

**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.

Этот раздел предусматривает выполнение Контрольной работы №3. Все задания – индивидуальные.

#### Раздел 6. Задача стохастического оптимального управления с линейными дискретными моделями систем

**Тема 6.1. Динамическое программирование и общая задача управления:** Вводные концепции и варианты постановок задачи. Обратное уравнение Колмогорова.

**Тема 6.2. LQG-задача оптимального управления:** Формулировка задачи. Физически осуществимое управление.

**Тема 6.3. Детерминистская LQ-задача оптимального управления:** Метод множителей Лагранжа. Метод динамического программирования.

**Тема 6.4. Синтез LQG-оптимального управления:** Решение задачи по методу стохастического динамического программирования.


### 6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия (семинары) занимают 16 академических часов. Они предусматривают решение задач по тематике Разделов 1 – 6 и обсуждение найденных решений.

**Тема 1.2. Система текущего контроля надлежащей успеваемости (ТКНУ) и финальное оценивание.**

**Тема 2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем.**



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**Тема 2.2.** Дифференциальные уравнения физических систем.

**Тема 2.3.** Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ).

**Тема 2.4.** Передаточные функции линейных стационарных систем. Модели линейных систем в виде сигнальных графов.

**Тема 2.5.** Компьютерный анализ систем управления.

**Тема 3.1.** Динамические модели с непрерывным временем. Решение уравнений состояния линейных систем.

**Тема 3.2.** Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая. Управляемость и наблюдаемость систем.

**Тема 3.3.** Устойчивость систем.

**Тема 4.1.** Стохастические процессы. Стационарные стохастические процессы.

**Тема 4.2.** Моделирование стохастических систем. Моделирование случайных процессов.

**Тема 5.1.** Задача оптимального оценивания.

**Тема 5.2.** Дискретный фильтр Калмана.

**Тема 5.3.** Статистические свойства процессов внутри фильтра.

**Тема 6.1.** Динамическое программирование и общая задача управления: Вводные концепции и варианты постановок задачи. Обратное уравнение Колмогорова.

**Тема 6.2.** LQG-задача оптимального управления.

**Тема 6.3.** Детерминистская LQ-задача оптимального управления.

**Тема 6.4.** Синтез LQG-оптимального управления.

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)

Не предусмотрены учебным планом.

## 8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

Курсовые работы и рефераты не предусмотрены учебным планом.

**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

$PT-2 \in \{ \langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle, \langle d \rangle, \langle e \rangle, \langle f \rangle \} =$  контрольная работа 1 (оценка  $B_{KP-1}$ ) =  $\{ \langle \text{Этап 1} \rangle$  вашего лабораторного задания  $\} + \{ \langle KP-2 \rangle \} =$  контрольная работа 2 (оценка  $B_{KP-2}$ ) +  $\{ \langle q \rangle, \langle r \rangle, \langle s \rangle, \langle t \rangle, \langle u \rangle, \langle v \rangle, \langle w \rangle, \langle x \rangle \} =$  контрольная работа 3 (оценка  $B_{KP-3}$ ).

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


1  $KP-1 =$  Одна задача из  $\{ \langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle, \langle d \rangle, \langle e \rangle, \langle f \rangle \}$

2  $KP-2 =$  Одна задача из  $\{ \langle KP-2 \rangle \}$

3  $KP-3 =$  Одна задача из  $\{ \langle q \rangle, \langle r \rangle, \langle s \rangle, \langle t \rangle, \langle u \rangle, \langle v \rangle, \langle w \rangle, \langle x \rangle \}$

**Контрольная работа №1:** Построение математической модели заданной физической системы. Пример из классической механики (задача 9) показан выше. В рамках кон-



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>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 вырождена.

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).

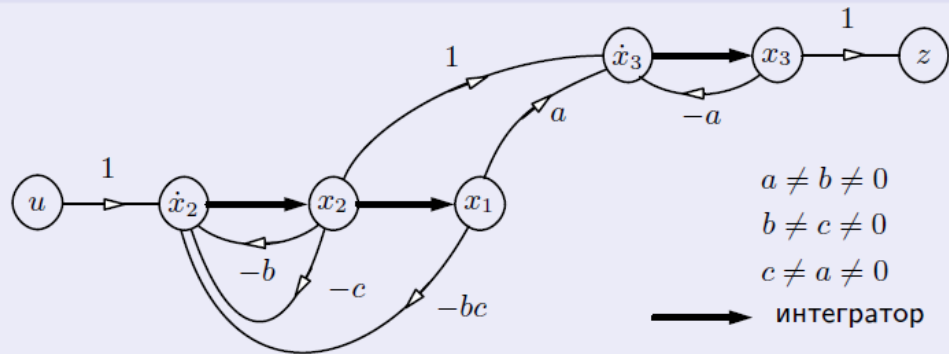
|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

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.

### 9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ

1. Применение преобразования Лапласа к решению линейных дифференциальных уравнений.
2. Понятия: передаточной функции, импульсной переходной характеристики, переходной характеристики.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |


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.
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.
19. Стохастические процессы (СП): основные определения. Характеризация СП. Независимость, некоррелированность и стационарность для СП.
20. Построение дискретных моделей непрерывных систем. Вывод в пространстве переменных состояния.
21. Построение дискретных моделей непрерывных систем. Вывод в частотной области (z-преобразование).
22. Построение формирующих фильтров для моделирования стационарных в широком смысле случайных процессов.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

23. Преобразование стационарных в широком смысле случайных процессов в линейных динамических системах.
24. Построение компьютерной модели случайного процесса с заданной корреляционной функцией.
25. Дискретное преобразование Лапласа, z-преобразование и дискретная передаточная функция.
26. Процесс броуновского движения, его характеристики и свойства траекторий..
27. Процесс гауссового белого шума, его формальное определение и свойства.
28. Стохастические интегралы. Стохастические дифференциалы.
29. Линейные стохастические дифференциальные уравнения, их формальное решение.
30. Построение алгоритма калмановской фильтрации в дискретном времени – экстраполяция по времени оценок и ковариаций.
31. Построение алгоритма калмановской фильтрации в дискретном времени – обновление оценок и ковариаций по измерениям.
32. Виды устойчивости (при нулевом входе): в малом, в большом, асимптотическая, экспоненциальная, BIBO-устойчивость (при ограниченном входе).
33. Устойчивость линейных систем – критерий Рауса-Гурвица в классической форме определителя и в виде таблиц с определителями не выше второго порядка.
34. Определения понятий сигнального графа: детерминант, петля, путь, кофактор. Вывод правила Мейсона на примере системы линейных алгебраических уравнений второго порядка.
35. Определения (разновидности) апостериорных оценок состояния. Критерии качества оценивания. Фундаментальные результаты теории оценивания (теорема Шермана).
36. Двухстадийный алгоритм оптимального оценивания состояния с линейными дискретными моделями систем. Стадия 1: экстраполяция оценок на шаг вперед (одношаговое предсказание – обновление оценок по времени).
37. Двухстадийный алгоритм оптимального оценивания состояния с линейными дискретными моделями систем. Стадия 2: обновление оценок по измерениям.
38. Оптимальное оценивание состояния линейной дискретной модели, матричное описание которой известно. Уравнения (итерации) Риккати.
39. Методы параметрической идентификации линейных стохастических систем. Точные модели и приближенные модели. Метод минимума ошибки предсказания выхода системы (Minimum Output Prediction Error method, Льюнг).
40. Метод минимума ошибки предсказания состояния системы (Minimum State Prediction Error method, Семушин).
41. Критерии оптимальности управления в детерминистском и стохастическом вариантах задачи. Решение этих задач: метод множителей Лагранжа – в детерминистском варианте задачи.
42. Метод динамического программирования Беллмана – в стохастическом варианте задачи управления.
43. Основные формулировки из теории стохастического оптимального управления систем. Принцип стохастической эквивалентности. Теорема разделения для оптимального стохастического *LQG*-управления.


## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ

Самостоятельная работа аспирантов осуществляется в форме домашнего выполнения заданий по трем основным темам, по которым они выполняют контрольные работы 1, 2 и 3

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

(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. Система текущего контроля надлежащей успеваемости и финальное оценивание.              | Проработка лекционного материала                     | 2             |                                |
| 1.2 Система ТКНУ и финальное оценивание.   | Проработка лекционного материала                     | 4             | Устный опрос                   |
| 2.1. Сквозные и относительные переменные элементов систем.   | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4             | Проверка решения задач.        |
| 2.2. Дифференциальные уравнения физических систем  | Контрольная работа №1. Домашнее задание к КР №1.     | 6             | КР1 = ( $\mathbf{V}_{кр-1}$ ). |
| 2.3. Аппарат преобразования Лапласа (ПЛ).  | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4             | Проверка решения задач.        |
| 2.4. Передаточные функции линейных стационарных систем. Модели линейных систем в виде сигнальных графов. | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4             | Проверка решения задач.        |
| 2.5. Компьютерный анализ систем управления.  | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4             | Устный опрос.                  |
| 3.1. Динамические модели с непрерывным временем. Решение уравнений состояния линейных систем.            | Решение задач.                                       | 4             | Проверка решения задач.        |
| 3.2. Стандартные модели: управляемая, наблюдаемая и каноническая. Управляемость и наблюдаемость систем.  | Домашнее задание к КР №2.                            | 4             | Проверка решения задач.        |
| 3.3. Устойчивость систем.  | Контрольная работа №2. Домашнее задание к КР №2.     | 4             | КР2 = $\mathbf{V}_{кр-2}$ .    |
| 4.1. Стохастические процессы. Стационарные стохастические процессы.                                      | Проработка теоретического материала                  | 4             | Устный опрос, решение задач    |
| 4.2. Моделирование стохастических систем. Моделирование случайных процессов.                             | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4             | Устный опрос, решение задач    |
| 5.1. Задача оптимального оценивания.   | Контрольная работа №3. Домашнее задание              | 4             | КР3 = $\mathbf{V}_{кр-3}$ .    |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|   |  |   |                             |
|---|--|---|-----------------------------|
|   | ние к КР №3.   |   |                             |
| 5.2. Дискретный фильтр Калмана.   | Домашнее задание к КР №3.                            | 4 | Устный опрос, решение задач |
| 5.3. Статистические свойства процессов внутри фильтра.                      | Контрольная работа №3.                               | 4 | Устный опрос.               |
| 6.1. Динамическое программирование и задача управления.                     | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4 | Устный опрос                |
| 6.2. Оптимальное управление с точным знанием состояния.                     | Проработка теоретического материала и решение задач. | 4 | Устный опрос                |
| 6.3. Оптимальное управление с неполными зашумленными измерениями состояния. | Решение задач.                                       | 4 | Устный опрос, решение задач |
| 6.4. Синтез LQG-оптимального управления.                                    | Решение задач.                                       | 4 | Устный опрос, решение задач |

## 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. 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:

3. 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. -



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

Электрон. текстовые дан. (1 файл : 295 КБ). - Текст : электронный.  
<http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/990>


Согласовано:

ДИРЕКТОР НБ  
Должность сотрудника НБ
БУРХАНОВА М.М.  
ФИО
  
Подпись
15.09.2022  
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.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## 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. 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.

1.4. 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.

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

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

1.7. 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.

1.8. 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].

### 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>

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

[1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741](http://1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741). – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

#### 6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

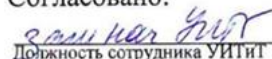
6.1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам : федеральный портал . – URL: <http://window.edu.ru/> . – Текст : электронный.

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 Mega-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

  
Должность сотрудника УИГиТ

  
ФИО

 19.04.22  
подпись дата

## 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

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

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 каф. ИТ /Цыганова Ю.В./

подпись

должность

ФИО