

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Тверской государственный технический университет»**  
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Э.Ю. Майкова  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины части, формируемой участниками образовательных отношений,  
Блока 1 «Дисциплины (модули)»  
**«Методы оптимального управления»**

Направление подготовки бакалавров 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность (профиль) – Промышленная информатика

Типы задач профессиональной деятельности – производственно-технологический, научно-исследовательский, проектно-конструкторский

Форма обучения – очная

Факультет информационных технологий  
Кафедра «Автоматизация технологических процессов»

Тверь 2023

Рабочая программа дисциплины соответствует ОХОП подготовки бакалавров в части требований к результатам обучения по дисциплине и учебному плану.

Разработчик программы: доцент кафедры АТП

П.К. Кузин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АТП

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г., протокол № \_\_\_\_\_.

Заведующий кафедрой АТП

Б.И. Марголис

Согласовано:

Начальник учебно-методического  
отдела УМУ

Е.Э. Наумова

Начальник отдела  
комплектования  
зональной научной библиотеки

О.Ф. Жмыхова

## 1. Цель и задачи дисциплины

**Целью** изучения дисциплины «Методы оптимального управления» является подготовка студентов к профессиональной деятельности в области исследования, расчета, анализа и моделирования оптимальных систем управления.

**Задачами** дисциплины являются:

- приобретение теоретических знаний по методам построения моделей оптимальных систем управления;
- приобретение теоретических знаний по методам исследования оптимальных систем управления;
- овладение методами компьютерного моделирования оптимальных систем управления.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к формируемой участниками образовательных отношений части Блока 1 ОП ВО. Для изучения курса требуются знания, полученные студентами при изучении дисциплин: «Математика», «Теория автоматического управления», «Моделирование промышленных систем».

Приобретенные знания в рамках данной дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

### 3.1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенции, закрепленные за дисциплиной в ОХОП:

**УК-2.** Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений

**Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:**

**ИУК-2.1.** Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность задач, обеспечивающих ее достижение.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

З1. Основные методы, используемые при исследовании автоматических систем управления.

**Уметь:**

У1. Формально описывать объекты управления.

У2. Формально описывать постановку задачи оптимизации управления.

У3. Синтезировать оптимальные системы управления.

**ИУК-2.2.** Выбирает оптимальный способ решения задач, учитывая действующие правовые нормы и имеющиеся условия, ресурсы и ограничения.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

З1. Методы решения задач оптимизации с использованием компьютерных технологий.

**Уметь:**

У1. Решать задачи нахождения оптимального управления в системах с программным управлением.

**ПК-9.** Способен выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств.

ИПК-9.2. Применяет современные информационные технологии и технические средства при обработке результатов экспериментов.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

З1. Основы вариационного исчисления.

**Уметь:**

У1. Синтезировать оптимальный регулятор в системах с полной обратной связью с использованием компьютерных технологий.

**Иметь опыт практической подготовки**

ПП1. Решать задачи описания экспериментальных данных с помощью моделей и методов оптимального управления.

ИПК-9.3. Проводит вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления.

**Показатели оценивания индикаторов достижения компетенций**

**Знать:**

З1. Алгоритмы решения задач оптимального управления.

**Уметь:**

У1. Выбирать метод решения задачи оптимизации в зависимости от имеющихся ограничений.

**Иметь опыт практической подготовки:**

ПП1. Решать задачи оптимального управления с использованием компьютерных технологий.

**3.2. Технологии, обеспечивающие формирование компетенций**

Проведение лекционных, практических и лабораторных занятий, самостоятельная работа под руководством преподавателя.

**4. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы**

Таблица 1. Распределение трудоемкости дисциплины по видам учебной работы

Вид учебной работы	Зачетных единиц	Академических часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>2</b>	<b>72</b>
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>		<b>45</b>
В том числе:		
Лекции		15
Практические занятия (ПЗ)		15
Лабораторные работы (ЛР)		15
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>		<b>27</b>
В том числе:		
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен
Расчетно-графические работы		не предусмотрены
Реферат		не предусмотрен

Другие виды самостоятельной работы: - изучение теоретической части дисциплины - подготовка к практическим занятиям - подготовка к защите лабораторных работ		9 9 9
Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация (зачет)		
<b>Практическая подготовка при реализации дисциплины (всего)</b>		<b>30</b>
Практические занятия (ПЗ)		15
Лабораторные работы (ЛР)		15
Курсовая работа		не предусмотрена
Курсовой проект		не предусмотрен

## 5. Структура и содержание дисциплины

### 5.1. Структура дисциплины

Таблица 2. Модули дисциплины, трудоемкость в часах и виды учебной работы

№	Наименование модуля	Труд-ть, часы	Лекции	Практич. занятия	Лаборат. работы	Самостоят. работа
1	Постановка задачи оптимального управления	6	2	2		2
2	Основы вариационного исчисления	15	3	3	4	5
3	Оптимальное программное управление	15	3	3	3	6
4	Оптимальное управление с полной обратной связью	19	3	3	5	8
5	Оптимальное по быстродействию управление	14	3	3	3	5
6	Параметрическая оптимизация регулятора	3	1	1		1
Всего на дисциплину		<b>72</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>27</b>

### 5.2. Содержание дисциплины

#### Модуль 1 «Постановка задачи оптимального управления»

Задача оптимального управления. Формализация задачи оптимального управления. Математическая модель объекта управления. Краевые условия. Критерий оптимальности. Интегральные критерии оптимальности. Терминальные функционалы.

#### Модуль 2 «Основы вариационного исчисления»

Задачи, приводящие к решению экстремальных проблем. Основные определения. Вариации функционала. Необходимое условие экстремума функционала. Уравнение Эйлера. Простейшие случаи интегрируемости уравнения Эйлера. Алгоритм применения необходимых условий экстремума в задачах с фиксированными границами. Задачи с подвижными границами. Алгоритм решения задачи с подвижными концами.

### **Модуль 3 «Оптимальное программное управление»**

Формальная постановка задачи нахождения оптимального управления. Классификация задач оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина. Алгоритм применения принципа максимума Понтрягина.

### **Модуль 4«Оптимальное управление с полной обратной связью»**

Постановка задачи. Достаточные условия оптимальности. Уравнение Беллмана. Алгоритм поиска оптимального управления с полной обратной связью. Оптимальное управление линейными системами в пространстве состояний.

### **Модуль 5«Оптимальное по быстродействию управление»**

Оптимальное по быстродействию программное управление. Оптимальное по быстродействию программное управление для линейных систем. Синтез оптимального по быстродействию линейного регулятора с полной обратной связью.

### **Модуль 6«Параметрическая оптимизация регулятора»**

Постановка задачи параметрической оптимизации регулятора. Численные методы поиска минимума функции нескольких переменных. Задача локализации минимумов и методы ее решения. Решение задачи поиска минимума функции нескольких переменных в Octave. Параметрическая оптимизация ПИД – регулятора.

## **5.3. Лабораторные работы**

Таблица 3. Лабораторные работы и их трудоемкость

<b>Порядковый номер модуля. Цели лабораторных работ</b>	<b>Наименование лабораторных работ</b>	<b>Трудоем- кость в часах</b>
<b>Модуль 2</b> <b>Цель:</b> приобретение навыков поиска экстремумов функционалов	Нахождение экстремума функционала с фиксированными границами. Нахождение экстремума функционала с подвижными границами	4
<b>Модуль 3</b> <b>Цель:</b> приобретение навыков применения принципа максимума Понтрягина для нахождения оптимального программного управления	Разработка программы для нахождения оптимального программного управления в среде Octave	3
<b>Модуль 4</b> <b>Цель:</b> приобретение навыков использования компьютерных технологий для решения задач нахождения оптимального управления	Нахождение оптимального управления с полной обратной связью в среде Octave. Нахождение оптимального управления системой в пространстве состояний в среде Octave.	5
<b>Модуль 5</b> <b>Цель:</b> приобретение навыков применения метода фазовой плоскости для нахождения моментов переключения в задаче поиска оптимального по быстродействию управления	Построение фазового портрета системы в Excel.	3

## 5.4. Практические занятия

Таблица 4. Тематика, форма практических занятий (ПЗ) и их трудоемкость

Порядковый номер модуля. Цели практических занятий	Тематика практических занятий	Трудоемкость в часах
<b>Модуль 1</b> Цель: приобретение практических навыков вычисления функционалов и норм функций в банаховом пространстве	Вычисление функционалов и норм	2
<b>Модуль 2</b> Цель: приобретение практических навыков решения задач поиска экстремумов функционала	Вычисление первых вариаций функционала. Решение задач поиска условного экстремума функционала	3
<b>Модуль 3</b> Цель: формирование практических навыков решения задач оптимизации управления по алгоритму применения принципа максимума Понтрягина	Нахождение оптимального программного управления	3
<b>Модуль 4</b> Цель: формирование практических навыков решения задач поиска оптимального управления в системах с полной обратной связью	Нахождение оптимального управления в системах с полной обратной связью	2
<b>Модуль 5</b> Цель: формирование практических навыков решения задач поиска оптимального по быстродействию управления	Нахождение оптимального по быстродействию программного управления	3
<b>Модуль 6</b> Цель: формирование навыков и умения оптимизировать настройки ПИД – регулятора	Параметрическая оптимизация ПИД – регулятора	1

## 6. Самостоятельная работа обучающихся и текущий контроль успеваемости

### 6.1. Цели самостоятельной работы

Формирование способностей к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, способности применять современные методы разработки алгоритмического обеспечения систем управления, готовности к применению основных методов синтеза оптимальных систем управления при разработке и проектирования средств управления объектами.

### 6.2. Организация и содержание самостоятельной работы

Самостоятельная работа заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к практическим и лабораторным занятиям, защите отчетов по лабораторным работам, подготовке к текущему контролю успеваемости, зачету.

Выполнение всех практических и лабораторных работ обязательно.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература по дисциплине**

1. Марголис, Б.И. Методы оптимального управления: учебное пособие / Б.И. Марголис, П.К. Кузин; Тверской государственный технический университет. - Тверь: ТвГТУ, 2022. - 84 с. - Текст: непосредственный. - ISBN 978-5-7995-1211-8: 426 р. 50 к. - (ID=148225-42).

2. Марголис, Б.И. Методы оптимального управления: учебное пособие / Б.И. Марголис, П.К. Кузин; Тверской государственный технический университет. - Тверь: ТвГТУ, 2022. - 84 с. - Сервер. - Текст: электронный. - ISBN 978-5-7995-1211-8: 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/148030>. - (ID=148030-1)

3. Толпегин, О.А. Математическое программирование. Вариационное исчисление: учебное пособие для вузов / О.А. Толпегин. - 2-е изд.; испр. и доп. - Москва: Юрайт, 2022. - (Высшее образование). - Образовательная платформа Юрайт. - Текст: электронный. - Режим доступа: по подписке. - Дата обращения: 07.07.2022. - ISBN 978-5-534-11755-4. - URL: <https://urait.ru/book/matematicheskoe-programmirovanie-variacionnoe-ischislenie-471171>. - (ID=135651-0)

4. Пантелеев, А.В. Вариационное исчисление в примерах и задачах: учебное пособие для втузов: в составе учебно-методического комплекса / А.В. Пантелеев. - Москва: Высшая школа, 2006. - 272 с. - (Прикладная математика для ВТУЗов) (УМК-У). - Текст: непосредственный. - ISBN 5-06-005327-X: 189 р. 20 к. - (ID=64683-15)

5. Толпегин, О. А. Методы оптимального управления: учебник и практикум для вузов / О. А. Толпегин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2022. - 234 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-13534-3. - Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. - URL: <https://urait.ru/bcode/491259> (дата обращения: 27.09.2022)

### **7.2. Дополнительная литература по дисциплине**

1. Комиссарчик, В.Ф. Методы оптимизации и оптимального управления: учебное пособие: в составе учебно-методического комплекса / В.Ф. Комиссарчик; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь:ТвГТУ, 2002. - 178 с.: ил. - (УМК-У). - Библиогр.: с. 176. - Текст: непосредственный. - 31 р. 90 к. - (ID=10632-3)

2. Комиссарчик, В.Ф. Методы оптимизации и оптимального управления: учеб. пособие / В.Ф. Комиссарчик; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь :ТвГТУ, 2000. - 178 с.: ил. - Библиогр.: с. 176. - 50 р. - (ID=10059-7)

3. Комиссарчик, В.Ф. Примеры и задачи по курсу "Методы оптимизации и оптимального управления": в составе учебно-методического комплекса / В.Ф. Комиссарчик; Тверской гос. техн. ун-т. - Тверь: ТвГТУ, 2003. - 167 с. - (УМК-У). - Библиогр.: с. 163 - 164. - Текст: непосредственный. - 50 р. - (ID=12234-11)

4. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации в теории управления: учеб. пособие для студентов вузов / И.Г. Черноруцкий. - СПб. [и др.]: Питер, 2004. - 255 с.: ил. - (Учебное пособие). - Библиогр.: с. 253 - 255. - Текст: непосредственный. - ISBN 5-94723-514-5: 114 р. - (ID=21038-3)



5. Рачков, М. Ю. Оптимальное управление в технических системах: учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 120 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-09144-1. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/491649> (дата обращения: 27.09.2022)

### **7.3. Методические материалы**

1. Учебно-методический комплекс дисциплины части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 "Дисциплины (модули)" "Методы оптимального управления". Направление подготовки бакалавров 09.03.01 Информатика и вычислительная техника. Направленность (профиль) – Промышленная информатика / сост.: П.К. Кузин; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. АТП. - Тверь, 2012. - (УМК). - Текст: электронный. - 0-00. - URL: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/MegaPro/104350>. - (ID=104350-1)

2. Фонд оценочных средств дисциплины "Методы оптимального управления" направления подготовки 27.03.04 Управление в технических системах. Профиль: Управление и информатика в технических системах: в составе учебно-методического комплекса / Каф. Автоматизация технологических процессов; сост. П.К. Кузин. - 2017. - (УМК-В). - Текст: электронный. - Режим доступа: с разрешения преподавателя. - (ID=132200-0)

### **7.4. Программное обеспечение по дисциплине**

Операционная система Microsoft Windows: лицензии № ICM-176609 и № ICM-176613 (Azure Dev Tools for Teaching).

Microsoft Office 2007 Russian Academic: OPEN No Level: лицензия № 41902814.

Пакет прикладных программ GNUOctave.Octave-свободное программное обеспечение, лицензированное по лицензии GNUGeneralPublicLicense (GPL).

### **7.5. Специализированные базы данных, справочные системы, электронно-библиотечные системы, профессиональные порталы в Интернет**

ЭБС и лицензионные ресурсы ТвГТУ размещены:

1. Ресурсы: <https://lib.tstu.tver.ru/header/obr-res>
2. ЭК ТвГТУ: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/Web>
3. ЭБС "Лань": <https://e.lanbook.com/>
4. ЭБС "Университетская библиотека онлайн": <https://www.biblioclub.ru/>
5. ЭБС «IPRBooks»: <https://www.iprbookshop.ru/>
6. Электронная образовательная платформа "Юрайт" (ЭБС «Юрайт»): <https://urait.ru/>
7. Научная электронная библиотека eLIBRARY: <https://elibrary.ru/>
8. Информационная система "ТЕХНОРМАТИВ". Конфигурация "МАКСИМУМ": сетевая версия (годовое обновление): [нормативно-технические, нормативно-правовые и руководящие документы (ГОСТы, РД, СНиПы и др.]. Диск 1, 2, 3, 4. - М.:Технорматив, 2014. - (Документация для профессионалов). - CD. - Текст: электронный. - 119600 p. – (105501-1)

9. База данных учебно-методических комплексов: <https://lib.tstu.tver.ru/header/umk.html>

УМК размещен: <https://elib.tstu.tver.ru/MegaPro/GetDoc/Megapro/104350>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

При изучении дисциплины «Методы оптимального управления» используется демонстрация справочного и методического материала с помощью проектора.

Лабораторные и практические занятия проводятся в компьютерных классах ХТ-201, где каждый студент может работать на отдельной ЭВМ.

## **9. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

### **9.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме экзамена**

Учебным планом экзамен по дисциплине не предусмотрен.

### **9.2. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме зачета**

1. Вид промежуточной аттестации в форме зачета.

Вид промежуточной аттестации устанавливается преподавателем:

по результатам текущего контроля знаний и умений обучающегося без дополнительных контрольных испытаний;

по результатам выполнения дополнительного итогового контрольного испытания при наличии у студентов задолженностей по текущему контролю.

2. При промежуточной аттестации без выполнения дополнительного итогового контрольного испытания студенту в обязательном порядке описываются критерии проставления зачёта:

«зачтено» - выставляется обучающемуся при условии выполнения им всех контрольных мероприятий, выполнения и защиты всех практических и лабораторных работ.

При промежуточной аттестации с выполнением заданий дополнительного итогового контрольного испытания студенту выдается билет с вопросами и задачами.

Число заданий для дополнительного итогового контрольного испытания - 14.

Число вопросов – 3 (2 вопроса для категории «знать» и 1 вопрос для категории «уметь»).

Продолжительность – 60 минут.

3. Шкала оценивания промежуточной аттестации – «зачтено», «не зачтено».

4. Критерии выполнения контрольного испытания и условия проставления зачёта:

для категории «знать» (бинарный критерий):

ниже базового - 0 балл;

базовый уровень – 1 балла;

критерии оценки и ее значение для категории «уметь» (бинарный критерий):

отсутствие умения – 0 балл;

наличие умения – 1 балла.

Критерии итоговой оценки за зачет:

«зачтено» - при сумме баллов 2 или 3;

«не зачтено» - при сумме баллов 0 или 1.

5. Для дополнительного итогового контрольного испытания студенту в обязательном порядке предоставляется:

база заданий, предназначенных для предъявления обучающемуся на дополнительном итоговом контрольном испытании (типовой образец задания приведен в Приложении);

методические материалы, определяющие процедуру проведения дополнительного итогового испытания и проставления зачёта.

6. Перечень вопросов дополнительного итогового контрольного испытания:

1. Постановка задачи оптимального управления.
2. Интегральные критерии оптимальности.
3. Понятие функционала. Область определения и область значения функционала.
4. Определение нормы. Евклидово пространство. Банахово пространство. Расстояние между функциями в банаховом пространстве.
5. Линейный функционал. Непрерывный функционал.
6. Вариация функции. Приращение функции.
7. Определения первой вариации функционала.
8. Сильный и слабый локальный минимум (максимум). Необходимое условие экстремума функционала.
9. Постановка задачи поиска экстремума с фиксированными граничными условиями.
10. Необходимое условие экстремума в задаче с фиксированными границами. Уравнение Эйлера.
11. Простейшие случаи интегрируемости уравнения Эйлера.
12. Постановка задачи с подвижными границами. Частные случаи постановки задачи с подвижными границами.
13. Алгоритм решения задачи с подвижными границами.
14. Постановка задачи поиска условного экстремума с конечными связями.
15. Необходимое условие условного экстремума.
16. Алгоритм применения необходимого условия экстремума в задаче поиска условного экстремума.
17. Формальная постановка задачи оптимального управления с неполной обратной связью.
18. Классификация задач оптимального управления.
19. Принцип максимума Понтрягина.
20. Постановка задачи нахождения оптимального управления с полной обратной связью.

21. Достаточные условия оптимальности управления с полной обратной связью. Алгоритм нахождения оптимального управления с полной обратной связью.
22. Постановка задачи оптимального программного управления линейными системами.
23. Алгоритм применения принципа максимума Понтрягина для линейных систем в пространстве состояний.

### **9.3. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации в форме курсового проекта или курсовой работы**

Учебным планом курсовая работа (проект) по дисциплине не предусмотрены.

### **10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины**

Студенты перед началом изучения дисциплины ознакомлены с системами кредитных единиц и балльно-рейтинговой оценки, которые опубликованы и размещены на сайте вуза или кафедры.

Студенты, изучающие дисциплину, обеспечиваются электронными изданиями или доступом к ним, учебно-методическим комплексом по дисциплине, включая методические указания к выполнению практических работ и всех видов самостоятельной работы.

### **11. Внесение изменений и дополнений в рабочую программу дисциплины**

Содержание рабочих программ дисциплин ежегодно обновляется протоколами заседаний кафедры по утвержденной «Положением о структуре, содержании и оформлении рабочих программ дисциплин по образовательным программам, соответствующим ФГОС ВО с учетом профессиональных стандартов» форме.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный технический университет»

Направление подготовки бакалавров – 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность (профиль) – Промышленная информатика

Кафедра «Автоматизация технологических процессов»

Дисциплина «Методы оптимального управления»

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ИТОВОГО КОНТРОЛЬНОГО  
ИСПЫТАНИЯ № 1**

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 балл:  
Постановка задачи оптимального управления.

2. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 балл:

Найти экстремаль функционала  $I[x(t)] = \int_0^{\frac{\pi}{4}} [\frac{1}{2} x'^2(t) - 2x^2(t)] dt$ , удовлетворяющую граничным условиям  $x(0) = 1$ ,  $x(\frac{\pi}{4}) = 0$ .

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 1 балл:  
Запишите уравнения состояния – выхода системы, описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\dot{x}_1 = x_1 - 2x_2 - u_1 - 4u_3$$

$$\dot{x}_2 = x_1 + 3x_2 + 4u_2 + u_3$$

$$y_1 = x_1 - 4x_2$$

$$y_2 = x_1 + 3x_2$$

$$y_3 = 2x_2$$

**Критерии итоговой оценки за зачет:**

«зачтено» - при сумме баллов 2 или 3;

«не зачтено» - при сумме баллов 0 или 1.

Составитель: доцент кафедры АТП \_\_\_\_\_ П.К. Кузин

Заведующий кафедрой: \_\_\_\_\_ Б.И. Марголис