

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Теория обратной связи по выходу
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	кафедра механики и процессов управления
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Е. Голубев, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры механики и процессов управления 05.04.2024

## Аннотация

Целью изучения курса "Теория обратной связи по выходу" является формирование у студента знаний основных идей и методов теории обратной связи по выходу, играющих важнейшую роль при синтезе алгоритмов автоматического управления и разработке методов оценки состояния для технических объектов, а также для различных явлений и процессов окружающего мира.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- освоение студентами основных идей и методов математической теории управления, изучение способов применения результатов теории в практической работе по синтезу алгоритмов автоматического управления техническими объектами.

#### Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области таких разделов математической теории управления, как синтез стабилизирующих обратных связей по выходу с учетом структурных свойств моделей, построение наблюдателей состояния нелинейных динамических систем, синтез законов управления при неполном измерении состояния;
- обучение студентов возможностям применения методов математической теории управления для решения задач синтеза алгоритмов автоматического управления техническими объектами;
- формирование более общих и рациональных подходов к выполнению студентами исследований в области анализа и управления движениями космических объектов в рамках выпускных работ на степень магистра.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы математической теории управления;
- методический аппарат математической теории управления и способы его приложения к реальным объектам;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

владеть:

- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

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

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Задача наблюдения динамической системы	2	2		2
2	Неразличимость состояний. Наблюдаемость динамических систем	2	2		2
3	Равномерная наблюдаемость динамических систем	2	2		2
4	Дектируемость динамических систем	2	2		2
5	Методы синтеза наблюдателей состояния динамических систем	12	12		12
6	Подходы к синтезу динамических обратных связей по выходу	10	10		10
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

###### 1. Задача наблюдения динамической системы

Задача наблюдения динамической системы. Понятие асимптотического наблюдателя динамической системы. Построение наблюдателя как стабилизация динамики ошибки оценки состояния системы.

## 2. Неразличимость состояний. Наблюдаемость динамических систем

Неразличимость состояний. Наблюдаемость, слабая наблюдаемость и локальная слабая наблюдаемость динамических систем. Ранговый критерий наблюдаемости линейной автономной системы.

## 3. Равномерная наблюдаемость динамических систем

Понятие универсальной и сингулярной входной функции. Равномерная наблюдаемость. Примеры равномерно наблюдаемых систем. Критерий равномерной наблюдаемости динамической системы.

## 4. Детектируемость динамических систем

Детектируемость. Необходимые условия существования решения задачи наблюдения.

## 5. Методы синтеза наблюдателей состояния динамических систем

Наблюдатель с линейной динамикой ошибки оценки состояния. Построение наблюдателя как пассивация динамики ошибки оценки состояния. Наблюдатель с высокими коэффициентами усиления. Наблюдатель систем с секторными функциями.

## 6. Подходы к синтезу динамических обратных связей по выходу

Необходимые условия стабилизируемости динамической обратной связью по выходу. Нелинейный принцип разделения. Метод бэкстеппинга с использованием наблюдателя состояния.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, маркерная доска, связь с Интернетом).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

Литература из фонда базовой кафедры:

1. Isidori A. Nonlinear Control Systems. 3rd ed. London: Springer-Verlag, 1995. - 549 p.
2. Голубев А.Е., Ткачев С.Б. Наблюдатели с высокими коэффициентами усиления. Электронное учебное издание. Учебное пособие по дисциплине «Математические методы в теории управления» / Под ред. А.П. Крищенко. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. - 32 с.
3. Халил Х. К. Нелинейные системы / Халил Х. К. ; пер. с англ. Макаров И. А. ; ред. пер. с англ. Фрадков А. Л. - 3-е изд. - М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований : Регулярная и хаотическая динамика, 2009. - XVIII, 812 с. - (Бестселлеры нелинейной науки). - Библиогр.: с. 778-789, с. 796-802. - ISBN 978-5-93972-724-2.

### Дополнительная литература

1. Krstić M., Kanellakopoulos I., Kokotović P.V. Nonlinear and adaptive control design. New York: John Wiley and Sons, 1995.- 563 p.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://www.sciencedirect.com/journal/ifac-papersonline>

<http://ieeexplore.ieee.org>

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Необходимое программное обеспечение: программный пакет MATLAB®

Обеспечение самостоятельной работы: электронные ресурсы, в том числе веб-сайт Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (<http://ipmnet.ru>), базы журналов издательств Springer, Elsevier, IEEE

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Космические технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра механики и процессов управления  
**курс:** 2  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** А.Е. Голубев, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория обратной связи по выходу» обучающийся должен:

### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы математической теории управления;
- методический аппарат математической теории управления и способы его приложения к реальным объектам;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

### владеть:

- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

#### 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Сформулируйте постановку задачи наблюдения динамической системы. Сформулируйте понятие асимптотического наблюдателя динамической системы. Опишите задачу построения наблюдателя состояния как задачу стабилизации динамики ошибки оценки состояния системы.
2. Сформулируйте понятия универсальной и сингулярной входной функции. Дайте определение равномерной наблюдаемости. Приведите примеры равномерно наблюдаемых систем.
3. Сформулируйте и докажите критерий равномерной наблюдаемости динамической системы.
4. Опишите методику построения наблюдателя с линейной динамикой ошибки оценки состояния. Покажите что задача построения наблюдателя состояния может быть рассмотрена как задача пассивации динамики ошибки оценки состояния.
5. Опишите методику построения наблюдателя с высокими коэффициентами усиления.
6. Опишите методику построения наблюдателя состояния систем с секторными функциями.
7. Докажите справедливость принципа разделения для линейных динамических систем.
8. Сформулируйте принцип разделения для нелинейных динамических систем.
9. Обоснуйте метод бэкстеппинга с использованием наблюдателя состояния на примере системы второго порядка.

Примерный перечень билетов:

Билет №1.

1. Докажите справедливость принципа разделения для линейных динамических систем.
2. Приведите решение задачи оценки состояния гибкого однозвенного робота-манипулятора в случае измерения угловой координаты звена манипулятора.

Билет №2.

1. Сформулируйте и докажите критерий равномерной наблюдаемости динамической системы.
2. Приведите решение задачи оценки состояния гибкого однозвенного робота-манипулятора в случае измерения угловой координаты вала двигателя.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.



Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.