

**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>      | Информационно-измерительные системы            |
| <b>по направлению:</b>     | Информатика и вычислительная техника           |
| <b>профиль подготовки:</b> | Программная инженерия                          |
|                            | Физтех-школа авиационных и цифровых технологий |
|                            | кафедра аэрофизического и летного эксперимента |
| <b>курс:</b>               | 1  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр  |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.  
семинары: 0 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.В. Вялков, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизического и летного эксперимента 04.06.2020

## Аннотация

Программа "Информационно-измерительные системы" направлена на знакомство студентов с информационно-измерительными системами, широко применяемыми в аэрофизическом эксперименте, способами достижения заданной точности и быстродействия измерений, методами и приемами решения различных нестандартных измерительных задач аэрофизического эксперимента.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- знакомство студентов с информационно-измерительными системами, широко применяемыми в аэрофизическом эксперименте, способами достижения заданной точности и быстродействия измерений, методами и приемами решения различных нестандартных измерительных задач аэрофизического эксперимента.

#### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области информационно-измерительных систем для аэрофизического эксперимента;
- приобретение теоретических знаний в области обработки и анализа результатов измерений в аэрофизическом эксперименте;
- оказание консультаций и помощи студентам в подготовке и проведении расчетных и экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов;
- приобретение навыков работы на отечественных газодинамических установках и стендах;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области информационно-измерительных систем 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 информатики и вычислительной техники  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности  |
| ОПК-5 готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности (ОПК-5) | ОПК-1.2. умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой |

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия современной теории дискретных сигналов;
- правила корректной дискретизации аналоговых сигналов и основные методы их цифровой обработки, включая цифровую фильтрацию;
- основы теории оценок параметров физических процессов;
- современные разновидности метода наименьших квадратов, в том числе и Калмановскую фильтрацию;
- физические явления, лежащие в основе экспериментальных методов исследования параметров газовых течений;
- особенности проведения экспериментальных исследований при дозвуковых, трансзвуковых и сверхзвуковых скоростях потока.

уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- создать экспериментальную модель исследуемого явления и выбрать методы ее изучения;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- основными методами и средствами измерения параметров силового и теплового взаимодействия потока с моделями;
- навыками теоретического анализа реальных задач цифровой обработки результатов аэрофизического эксперимента.

#### 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  | Измерения как способ получения информации об окружающем мире, метрология, роль Д.И. Менделеева в развитии отечественной метрологии, измеряемые физические величины, эталоны | 2   |          |                 | 3              |
| 2  | Структура измерительного канала, спектральные характеристики полезных сигналов и помех, статические и динамические погрешности измерений, математические модели             | 2   |          |                 | 3              |
| 3  | Основы цифровой обработки сигналов  | 2   |          |                 | 3              |
| 4  | Основы цифровой обработки сигналов  | 2   |          |                 | 3              |
| 5  | Основы цифровой обработки сигналов  | 2   |          |                 | 3              |
| 6  | Основы цифровой обработки сигналов  | 6   |          |                 |                |
| 7  | Основы цифровой обработки сигналов  | 2   |          |                 |                |
| 8  | Основы цифровой обработки сигналов  | 4   |          |                 |                |
| 9  | Основы цифровой обработки сигналов  | 4   |          |                 |                |
| 10 | Основы цифровой обработки сигналов  | 4   |          |                 |                |

|                       |   |                     |  |  |    |
|-----------------------|---|---------------------|--|--|----|
| 11                    | Обработка данных аэрофизического эксперимента   | 4                   |  |  |    |
| 12                    | Обработка данных аэрофизического эксперимента   | 4                   |  |  |    |
| 13                    | Обработка данных аэрофизического эксперимента   | 4                   |  |  |    |
| 14                    | Обработка данных аэрофизического эксперимента   | 6                   |  |  |    |
| 15                    | Обработка данных аэрофизического эксперимента   | 4                   |  |  |    |
| 16                    | Многокомпонентные аэродинамические весы, основные схемы весов, характеристики схем включения тензорезисторов, градуировка 6-ти компонентных тензосов, нахождение прямых и обращенных формул весов | 4                   |  |  | 10 |
| 17                    | Системы для многоточечного измерения распределения давления, кремниевая интегральная технология, многоточечные модули давления, измерение давлений в аэродинамических трубах.                     | 4                   |  |  | 20 |
| Итого часов           |   | 60                  |  |  | 45 |
| Подготовка к экзамену |   | 30 час.             |  |  |    |
| Общая трудоёмкость    |   | 135 час., 3 зач.ед. |  |  |    |

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

1. Измерения как способ получения информации об окружающем мире, метрология, роль Д.И. Менделеева в развитии отечественной метрологии, измеряемые физические величины, эталоны

Измерения как способ получения информации об окружающем мире, метрология, роль Д.И. Менделеева в развитии отечественной метрологии, измеряемые физические величины, эталоны

2. Структура измерительного канала, спектральные характеристики полезных сигналов и помех, статические и динамические погрешности измерений, математические модели

Структура измерительного канала, спектральные характеристики полезных сигналов и помех, статические и динамические погрешности измерений.

3. Основы цифровой обработки сигналов

Дискретные и цифровые сигналы, дискретизация и квантование, теорема В.А. Котельникова, спектры дискретных сигналов

4. Основы цифровой обработки сигналов

Примеры цифровой обработки сигналов, ряд Котельникова как фильтр, окна Хэннига, Хэмминга и Блэкмана, передискретизация с использованием ряда Котельникова, интерполяция произвольным набором функций, интерполяция отрезком ряда Бурмана-Лагранжа, упрощенные способы передискретизации.

## 5. Основы цифровой обработки сигналов

Квантование, аналого-цифровые преобразователи

## 6. Основы цифровой обработки сигналов

Преобразования дискретных сигналов, дискретное преобразование Фурье, быстрое преобразование Фурье, дискретное преобразование Лапласа, z-преобразование

## 7. Основы цифровой обработки сигналов

Разностные уравнения, частотные характеристики цифровых фильтров, формы реализации, дискретные фильтры

## 8. Основы цифровой обработки сигналов

Синтез нерекурсивных цифровых фильтров

## 9. Основы цифровой обработки сигналов

Синтез рекурсивных цифровых фильтров

## 10. Основы цифровой обработки сигналов

Адаптивная цифровая фильтрация

## Семестр: 2 (Весенний)

## 11. Обработка данных аэрофизического эксперимента

Первичная и вторичная обработка данных.

Осреднение, частотные характеристики осреднения, оценка статистических параметров данных, дисперсия (вариация) Аллана

## 12. Обработка данных аэрофизического эксперимента

Реальные физические процессы. Типы случайных процессов. Стационарные случайные процессы

## 13. Обработка данных аэрофизического эксперимента

Основы теории оценок параметров физических процессов

## 14. Обработка данных аэрофизического эксперимента

МНК и примеры его применения

## 15. Обработка данных аэрофизического эксперимента

Фильтры Калмана и их применение при обработке экспериментальных данных

16. Многокомпонентные аэродинамические весы, основные схемы весов, характеристики схем включения тензорезисторов, градуировка 6-ти компонентных тензовесов, нахождение прямых и обращенных формул весов

Многокомпонентные аэродинамические весы, основные схемы весов, характеристики схем включения тензорезисторов, градуировка 6-ти компонентных тензовесов, обработка результатов градуировки с использованием фильтров Калмана

17. Системы для многоточечного измерения распределения давления, кремниевая интегральная технология, многоточечные модули давления, измерение давлений в аэродинамических трубах.

Основные принципы преобразования давлений в электрический сигнал. Кремниевая интегральная технология, характеристики. Многоточечные модули давления. Динамические характеристики акустического тракта

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Цифровая обработка многомерных сигналов [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Д. Даджион, Р. Мерсеро .— М. : Мир, 1988 .— 486 с.
2. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст], Theory and application of digital signal processing, монография/Л. Рабинер, Б. Гоулд , -М, Мир, 1978
3. Аналоговые и цифровые фильтры: Расчет и реализация [Текст]/Г. Лэм , -М., Мир, 1982

### Дополнительная литература

1. Прикладной анализ случайных данных [Текст] = Analysis and measurement procedures, монография/Дж. Бендат, А. Пирсол , -М., Мир, 1989
2. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Р. Э. Блейхут ; пер. с англ. И. И. Грушко .— М. : Мир, 1989 .— 448 с.

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

Не используются

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

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий дисциплину "Информационно-измерительные системы", 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 зачету и экзамену.

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)**

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>по направлению:</b>     | Информатика и вычислительная техника  |
| <b>профиль подготовки:</b> | Программная инженерия<br>Физтех-школа авиационных и цифровых технологий<br>кафедра аэрофизического и летного эксперимента |
| <b>курс:</b>               | <u>1</u>  |
| <b>квалификация:</b>       | магистр   |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.В. Вялков, канд. техн. 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 информатики и вычислительной техники  | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности  |
| ОПК-5 готов к включению в профессиональное сообщество; способен проводить под научным руководством локальные исследования на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности (ОПК-5) | ОПК-1.2. умеет решать научные задачи с пониманием существующих подходов к верификации моделей программного обеспечения в связи с поставленной целью и в соответствии с выбранной методикой |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Информационно-измерительные системы» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные понятия современной теории дискретных сигналов;
- правила корректной дискретизации аналоговых сигналов и основные методы их цифровой обработки, включая цифровую фильтрацию;
- основы теории оценок параметров физических процессов;
- современные разновидности метода наименьших квадратов, в том числе и Калмановскую фильтрацию;
- физические явления, лежащие в основе экспериментальных методов исследования параметров газовых течений;
- особенности проведения экспериментальных исследований при дозвуковых, трансзвуковых и сверхзвуковых скоростях потока.

### уметь:

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;
- создать экспериментальную модель исследуемого явления и выбрать методы ее изучения;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- основными методами и средствами измерения параметров силового и теплового взаимодействия потока с моделями;
- навыками теоретического анализа реальных задач цифровой обработки результатов аэрофизического эксперимента.

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

1. Адаптивные фильтры, базовые классы адаптивных фильтров
2. Найти оценку постоянного уровня сигнала в шуме и дисперсии шума для использования в режиме реального времени. Показать, что оценка является несмещенной и состоятельной. Смоделировать задачу и решение.
3. По результатам измерения динамических давлений (шума) в двух точках на модели найти несмещенную и состоятельную оценку местной воздушной скорости. Сформулировать условия получения достоверной оценки.
4. Разработать не рекурсивный цифровой фильтр обеспечивающий наибольшее затухание сигналов выше 1.5кГц при частоте дискретизации равной 20кГц. Фильтр должен содержать не более 256 коэффициентов. Рассмотреть искажения, возникающие при переходе на целые числа. Смоделировать задачу и решение.
5. Разработать рекурсивный цифровой фильтр Баттерворта 2-го порядка обеспечивающий наибольшее затухание сигналов ниже 0.5кГц при частоте дискретизации равной 20кГц. Рассмотреть искажения, возникающие при переходе на целые числа. Смоделировать задачу и решение.
6. Построить фильтр Калмана для идентификации коэффициентов обращенных формул весов (рассмотреть нелинейный однокомпонентный динамометр). Смоделировать задачу и решение.
7. Найти оценку частоты гармонического сигнала в шуме. Показать, что оценка является несмещенной и состоятельной. Смоделировать задачу и решение. (ФК)
8. Найти оценку смещения гармонического сигнала в шуме. Показать, что оценка является несмещенной и состоятельной. Смоделировать задачу и решение. (ФК)
9. По результатам грубой оценки положения тележки на рельсах найти предсказание ее положения в следующий момент времени и определить достоверность такого предсказания.
10. Рассмотреть одно степенной маятник, на котором установлен акселерометр с неизвестным и медленно меняющимся смещением. Построить фильтр Калмана для определения угла отклонения маятника (можно рассматривать малые колебания маятника). Определить наблюдаемость фильтра. Смоделировать задачу и решение.
11. Рассмотреть одно степенной маятник, на котором установлен датчик угловой скорости с неизвестным и медленно меняющимся смещением. Построить фильтр Калмана для определения угла отклонения маятника (можно рассматривать малые колебания маятника). Определить наблюдаемость фильтра. Смоделировать задачу и решение.
12. Рассмотреть одно степенной маятник, на котором установлен датчик угловой скорости и акселерометр с неизвестным и медленно меняющимся смещением. Построить фильтр Калмана для определения угла отклонения маятника (можно рассматривать малые колебания маятника). Определить наблюдаемость фильтра. Смоделировать задачу и решение.
13. Тензо-резисторы, коэффициент преобразования, характеристики, схемы включения.
14. Шестикомпонентные внутри модельные тензометрические весы.

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

1. Дискретные и цифровые сигналы, дискретизация и квантование, теорема Котельникова, спектры дискретных сигналов
2. Структура измерительного канала, преобразование сигнала измерительным каналом, погрешности измерения.
3. Спектры случайных сигналов, прохождение через канал, корреляционные функции сигнала на выходе канала, условие независимости отсчетов сигнала, случайные погрешности измерения.
4. Ряд Котельникова как фильтр, сглаживающие окна
5. Передискретизация с использованием ряда Котельникова, упрощенные способы передискретизации
6. Разностные уравнения, их связь с системной функцией цифрового фильтра
7. Нерекурсивные фильтры, цифровой дифференциатор
8. Рекурсивные фильтры, цифровой интегратор
9. Синтез нерекурсивных цифровых фильтров
10. Синтез рекурсивных цифровых фильтров

Основные принципы преобразования давления в электрический сигнал, проблема миниатюризации, интегральная технология.

Билет 2

Многоточечные модули давления, характеристики, влияние температуры, динамика.

#### 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.

Зачет 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.

Незачет 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.

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

Во время проведения зачета и экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций. Зачет и экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме. Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.