

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

Утверждена
Ученым советом
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
протокол № 03-26 от «26» марта 20 26 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
«Методы обработки измерений»

Научная специальность:
1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин»

Форма обучения
очная

Москва, 2026

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина: «Методы обработки измерений»

Научная специальность:

1.1.7 – «Теоретическая механика, динамика машин»

Форма обучения: очная

ИСПОЛНИТЕЛЬ (разработчик программ):

Иванов Данил Сергеевич, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, с.н.с., к.ф.-м.н.

РЕЦЕНЗЕНТ:

Овчинников Михаил Юрьевич, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, г.н.с., д.ф.-м.н.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РЕКОМЕНДОВАНА

Ученым советом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
протокол № 03-26 от « 26 » марта 2026 г.

Заведующий аспирантурой _____ / Меньшов И.С. /

Оглавление

АННОТАЦИЯ.....	4
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	6
3.1. Структура дисциплины.....	6
3.2. Содержание разделов дисциплины	6
3.3. Лекционные занятия.....	7
4. ТЕКУЩАЯ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ	8
И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ	8
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	9
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	10

АННОТАЦИЯ

Рабочая программа дисциплины «Методы обработки измерений» разработана и составлена в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ от 30.11.2021г. №2122 «Об утверждении Положения о подготовке научно-педагогических кадров в аспирантуре(адъюнктуре)», Приказа Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20 октября 2021г. №951 «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)», в соответствии с учебными планами подготовки аспирантов Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН по научной специальности 1.1.7 - «Теоретическая механика, динамика машин».

Дисциплина «Методы обработки измерений» реализуется в рамках Блока «Образовательный компонент» программы подготовки научных и научно - педагогических кадров в аспирантуре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Основными источниками материалов для формирования содержания программы являются: учебные издания, монографии, научные публикации, Интернет-ресурсы.

Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану составляет 2 ЗЕТ (72 часа), из них лекций – 36 часов, семинарских занятий – 0 часов, практических занятий – 0 часов и самостоятельной работы – 36 часов. Дисциплина реализуется на 3-м курсе, в 1-м семестре, продолжительность обучения – 1 семестр.

Текущая аттестация проводится в соответствии с заданиями и формами контроля, предусмотренными настоящей программой.

Промежуточная аттестация (итоговая оценка знания) осуществляется в период зачётно-экзаменационной сессии в форме дифференцированного зачёта.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения учебной дисциплины «Методы обработки измерений»: освоение аспирантами фундаментальных знаний в области методов обработки измерений для решения задач определения движения, знакомство с аспектами их практического применения.

Задачи освоения учебной дисциплины «Методы обработки измерений»:

- формирование базовых знаний в области обработки инструментальных данных статистическими и модельно-параметрическими методами, дополняющими общефизическую и общетеоретическую подготовку аспиранта и обеспечивающими технологические основы современных инновационных сфер исследовательской и прикладной деятельности;
- обучение аспирантов методам навигационного планирования движений на практических примерах робототехники и коррекции траектории полёта;
- формирование подходов к выполнению исследований аспирантами в области навигационной сенсорики.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Методы обработки измерений» направлен на формирование определенных знаний, умений и компетенций.

а) универсальные (УК):

- знание истории развития навигационных методов и средств
- способность использовать на практике фундаментальные знания для понимания сущностных явлений окружающего мира;

- способность активно и целенаправленно применять полученные знания, навыки и умения для выбора тематики выполнения индивидуальной научно-исследовательской работы;
- готовность работать с информацией в области методов преодоления неопределённостей из различных источников: отечественной и зарубежной научной периодической литературы, монографий и учебников, электронных ресурсов Интернет;

б) общепрофессиональные (ОПК):

- способность к созданию математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере;
- способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских работ и проводить научные исследования, готовность к участию в инновационной деятельности;
- готовность использовать основные законы физики и математики при формировании моделей навигационных инструментов и среды в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов;

в) профессиональные (ПК):

- готовность использовать основные законы физики и математики при формировании моделей навигационных инструментов и среды в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов, инженеров, технологов;
- готовность к решению практических задач по экспериментальным исследованиям навигационных сенсоров и средств;
- готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в областях космической техники, робототехники, технического зрения, информационных датчиков, и привлекать для их решения освоенный физико-математический аппарат;
- готовность к творческому подходу в реализации научно-технических задач, основанному на систематическом обновлении полученных знаний, навыков и умений и использовании последних достижений в областях электронных и электронно-оптических свойств сенсорных средств.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Иметь представление:

- о месте и роли общих вопросов науки в научных исследованиях;
- о современных проблемах теоретической механики и вычислительной математики;

Знать:

- теоретические модели погрешностей измерения физических параметров
- новейшие средства и методы определения движения;
- взаимосвязи в фундаментальном единстве математики и естественных наук.

Уметь:

- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- использовать методы осреднения экспериментальных данных;
- получать надёжную оценку точности знания параметров наблюдаемого процесса.

Владеть:

- научной картиной мира;
- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- математическим моделированием физических задач средствами МатЛаб, Excel и современными средствами программирования на языках высокого уровня.

Приобрести опыт:

- эффективного использования на практике теоретических компонент науки: понятий, суждений, умозаключений, законов;
- представления набора универсальных методов и законов современного естествознания;
- моделирования средств измерения параметров наблюдаемого процесса.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Структура дисциплины

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам учебных работ

Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	ЗЕТ	час.
Общая трудоёмкость по учебному плану	2	72
Лекции (Л)		36
Практические занятия (ПЗ)		0
Семинары (С)		0
Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к семинарским и практическим занятиям) и самостоятельное изучение тем дисциплины		36
Вид контроля: зачёт		

3.2. Содержание разделов дисциплины

Общее содержание дисциплины

№ раздела	Наименование темы (раздела)	Содержание темы (раздела)	Форма текущей аттестации
1.	Введение в задачи оценки движения по измерениям	Примеры задач определения движения по измерениям из области робототехники и космонавтики. Понятия локальных методов определения движения и статистических методов.	О, ДЗ
2.	Датчики для определения движения и их особенности	Обзор типов датчиков для определения движения космических аппаратов и их особенности. Понятие модели измерений. Проблема калибровки измерительных средств. Основные типы источников ошибок измерений. Различные классификации ошибок: по способу выражения, по характеру изменения измеряемой величины, по характеру проявления.	О, ДЗ
3.	Нормальное распределение вероятности и его свойства	Одномерное нормальное распределение. Доверительный интервал. Двумерное нормальное распределение. Ковариационная матрица, эллипс рассеяния. Условные вероятности, корреляция. Геометрия многомерного нормального распределения. Проецирование эллипсоида ошибок на интересующее направление. Примеры. Вероятность присутствия точки внутри области рассеивания, распределение Рэлея.	О, ДЗ
4.	Задача среднеквадратичной фильтрации ошибок измерений	Понятие оценки величины и классификация оценок. Среднеквадратический критерий оценки. Максимум правдоподобия оценки.	О, ДЗ
5.	Простейшие методы среднеквадратичной фильтрации	Примеры среднеквадратичных осреднений данных. Минимизация показателя экспоненты нормального распределения ошибок. Средняя, средневзвешенная, максимально правдоподобная оценка.	О, ДЗ

6.	Метод наименьших квадратов для линейных систем	Система условных уравнений, вывод метода наименьших квадратов, нормальное уравнение. Метод максимума правдоподобия, его геометрическая интерпретация. Способ учёта априорной информации. Метод нормальных мест и аккумулятивный фильтр Гаусса.	О, ДЗ
7.	Теория фильтра Калмана-Бьюси	Случай динамически изменяемых параметров движения. Понятие ошибки модели движения. Вывод фильтра Калмана-Бьюси, его связь с методом релаксации линейных уравнений.	О, ДЗ
8.	Методы нелинейной фильтрации	Нелинейные модели движения и измерений. Постановка задачи нелинейного метода наименьших квадратов и методы численного решения. Расширенный и нелинейный фильтры Калмана.	О, ДЗ
9.	Особенности применения фильтра Калмана	Проблема настройки фильтра Калмана и численные методы её решения. Адаптивные модификации фильтров. Оценка действующих возмущений. Оценка смещения ноля измерений.	О, ДЗ
10.	Методы определения погрешности оценки параметров движения	Формальная оценка погрешности осреднения. Постановка задачи о достоверной оценке погрешности осреднения. Способы учета систематических ошибок погрешностей измерений. Модель наихудшей корреляции погрешностей измерений. "Мешающие параметры". "Схема бортика"	О, ДЗ
11.	Примеры применения методов среднеквадратичной фильтрации для определения движения космических аппаратов	Фильтр Калмана для определения движения космического аппарата относительно его центра масс. Уравнения движения космического аппарата. Линеаризация уравнений движения, вектора состояния, кинематических уравнений, и динамических уравнений. Линеаризация гравитационного момента. Линеаризация модели измерений. Оценка смещения ноля магнитометра по получаемым полетным данным. Пример метода наименьших квадратов для определения динамических характеристик спутника по измерениям звездного датчика.	О, ДЗ

Примечание: О – опрос, Д – дискуссия (диспут, круглый стол, мозговой штурм, ролевая игра), ДЗ – домашнее задание (эссе и пр.). Формы контроля не являются жёсткими и могут быть заменены преподавателем на другую форму контроля.

3.3. Лекционные занятия

№ занятия	№ раздела (темы)	Краткое содержание раздела (темы)	Кол-во часов
1.	1.	Введение в задачи оценки движения по измерениям.	2
2.	2.	Датчики для определения движения и их особенности	2
3.	3.	Нормальное распределение вероятности и его свойства	4
4.	4.	Задача среднеквадратичной фильтрации ошибок измерений	2
5.	5.	Простейшие методы среднеквадратичной фильтрации	2

6.	6.	Метод наименьших квадратов для линейных систем	4
7.	7.	Теория фильтра Калмана-Бьюси	4
8.	8.	Особенности применения фильтра Калмана	4
9.	9.	Методы нелинейной фильтрации	4
10.	10.	Методы определения погрешности оценки параметров движения	2
11.	11.	Примеры применения методов среднеквадратичной фильтрации для определения движения космических аппаратов	6
	ВСЕГО		36

4. ТЕКУЩАЯ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ И ИТОГОВЫЙ КОНТРОЛЬ. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Аттестация аспирантов проводится в соответствии с локальным актом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН – «Положение о текущей и промежуточной аттестации в аспирантуре Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)» и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины см. ниже.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина: активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимым в рамках семинаров, практических занятий и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется с использованием нормативных оценок по четырёх-балльной системе (5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – удовлетворительно, 2 – неудовлетворительно).

Оценочные средства для текущей аттестации

Форма контроля знаний	Вид аттестации	Примечание
Опрос слушателей	текущая	
Домашние задания	текущая	

Примерные темы рефератов для **промежуточной аттестации**: учебным планом не предусмотрено.

Формой промежуточной аттестации (итоговый контроль уровня знаний) является дифференцированный зачет, который проводится в период зачётно-экзаменационной сессии в соответствии с графиком учебного процесса. Обучающийся допускается к зачёту в случае выполнения всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося осуществляется с использованием нормативных оценок:

Оценка	Требования к знаниям и критерии выставления оценок
2, неудовлетворительно	не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы
3, удовлетворительно	имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ
4, хорошо	твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения
5, отлично	глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач

Примерный список вопросов для **итогового зачёта**:

1. Основные понятия условного и безусловного нормального рассеивания случайных величин.
2. Элементы эллипса рассеивания и их геометрические параметры.
3. Геометрическая интерпретация линейных преобразований ковариационных матриц для переменных с разной размерностью.
4. Способ наименьших квадратов и метод максимума правдоподобия.
5. Метод учёта априорной информации при обработке измерений.
6. Метод нормальных мест. Его связь со способом наименьших квадратов и рекурсивным фильтром Гаусса. Нормальные места в пространстве измерений и в пространстве определяемых параметров. Допустимые и недопустимые области применения нормальных мест.
7. Методы линейной фильтрации измерений Гаусса и Калмана-Бьюси. Отличие фильтра Калмана-Бьюси от рекурсивного фильтра Гаусса. Геометрическая интерпретация. Их связь с методом релаксации для линейных уравнений. Области их допустимого применения.
8. Формальная оценка погрешности определения параметров модели наблюдаемого объекта.
9. Отличие суммирования знаний от суммирования ошибок. Наблюдаемость систематических и плавающих ошибок.
10. Методы неформальной оценки точности определения орбиты.
11. Мешающие параметры и два способа оценки их влияния на точность знания определяемых параметров.
12. Метод квадратных корней для обращения матриц нормального уравнения.
13. Алгоритм решения нелинейной задачи обработки измерений (метод параболического спуска).

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Методы обработки измерений: учеб. пособие / Сост. А.К. Платонов, Д.С. Иванов. — М.: МФТИ. 2013. — 107 с.
2. Крылов А.Н. Лекции о приближённых вычислениях. М.: ГИТТЛ. 1950.400с.

3. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике (Под ред. Г.Н. Дубошина). М.: НАУКА, 1971, 584с.
4. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.; Наука. 1981. 110 с.
5. Платонов А.К. Определение параметров проективного отображения в зрительном канале робота. М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Препринт No 39. 2007г 28 с.
6. Платонов А.К., Носков В.П. Навигационная точность зрительного канала робота Ж. Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 12.
7. Казакова Р.К., Платонов А.К. Язык для описания вращения космического аппарата. В сб. Управление в пространстве. М.; Наука. 1973. Т.1, сс 52-63.
8. Платонов А.К. Метод определения кинематических характеристик роботов. В сб. Программирование прикладных систем. М.: Наука, 1992. сс 181-189.
9. Аким Э.Л., Энеев Т.М. Движение искусственных спутников Земли. Межпланетные полёты. В сб. Прикладная небесная механика и управление движением (сборник статей, посвящённый 90-летию со дня рождения Д.Е. Охотимского) ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010.-368с. ISBN 928—5-98P54-907-1. сс 7-28.

Дополнительная литература и Интернет-ресурсы

1. Карл Фридрих Гаусс Сборник статей к столетию со дня смерти. М.: АН СССР. 1956. 311 с.
2. Уиттекер Э., Робинсон Г. Математическая обработка результатов наблюдений. М.: ГИИТ. 1933.
3. Куликовский П.Г. Справочник астронома-любителя. М.: ГИИТЛ, 1948.
4. Куликов К.А. Фундаментальные постоянные астрономии. М.: Гостехиздат, 1956.
5. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: Наука. 1967. 575 с.
6. Платонов А.К., Казакова Р.К., Громова Л.Т. Разработка метода требований к точности изготовления и паспортизации роботов. В сб. Программирование прикладных систем. М.: Наука, 1992. сс 248-261
7. Баклунов В.А., Судейкин М.И. Картографическая база знаний мобильного робота. В сб. Программирование прикладных систем. М.: Наука, 1992. сс 275-282.
8. Агеев М.Д. и др. Гидроакустические средства навигации и связи. В кн. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. М.: Наука, 2005. сс 95-173.
9. Чулин А.Н. Калибровка бесплатформенной инерциальной навигационной системы по информации автономной системы навигации на активных участках полёта космического аппарата. В сб. Актуальные вопросы проектирования космических аппаратов и комплексов. Вып.6.М.: «Блок-Информ-Экспресс», 2005. сс 274-279.
10. Ивашкин В.В. Лунные траектории космических аппаратов: пионерские работы в Институте прикладной математики и их развитие. В сб. Прикладная небесная механика и управление движением (сборник статей, посвящённый 90-летию со дня рождения Д.Е. Охотимского) ИПМ им. М.В. Келдыша, 2010.-368с. (сс 73-106).
11. **Журналы:** Навигация и гидрография, Новости навигации, Гидроскопия и навигация, Робототехника (с указателями), Космические исследования, Acta Astronautica, The International Journal of Robotics Research (USA).

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для чтения лекций и проведения семинаров требуется мультимедийная аудитория с проектором.

ИСПОЛНИТЕЛИ (разработчики программы):

Иванов Данил Сергеевич, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, с.н.с., к.ф.-м.н.