

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория выбора и принятия решений

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
01.03.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Математическое моделирование и искусственный интеллект

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.04 Теория выбора и принятия решений относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|---|--|---|---|--|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-6: Способен изучать и применять программное обеспечение, проводить расчётные работы и выполнять обработку результатов исследований | <p>ПК-6.1: Знает методы применения современных программных комплексов, пакетов прикладных программ и автоматизированных систем для решения прикладных задач при проведении исследований</p> <p>ПК-6.2: Умеет самостоятельно проводить расчётные работы, выбирать и применять современные программные комплексы, пакеты прикладных программ и автоматизированные системы, обрабатывать и анализировать полученные результаты</p> <p>ПК-6.3: Имеет практический опыт применения современного программного обеспечения для решения прикладных задач</p> | <p>ПК-6.1: Знать: -современные методы численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем.</p> <p>ПК-6.2: Уметь: - ставить на практике задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем; -решать задачи оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем.</p> <p>ПК-6.3: Владеть: навыками применения современных программных средств для решения задач оптимальной фильтрации и оптимального управления в рамках линейных стохастических моделей с дискретным временем; -современными методами</p> | Собеседование Задачи Практическое задание | Зачёт: Задачи Практическое задание |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| | | численного решения и моделирования задач оптимальной фильтрации и оптимального управления для линейных стохастических систем с дискретным временем с использованием существующего программного обеспечения. | | |
|--|--|---|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 16 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|---|--------------|--|--|-----------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| Ф | Ф | Ф | Ф | Ф | |
| Тема 1. Наблюдение вектора состояния | 25 | 6 | 6 | 12 | 13 |
| Тема 2. Линейная оптимальная фильтрация | 25 | 6 | 6 | 12 | 13 |
| Тема 3. Стохастическое оптимальное управление | 21 | 4 | 4 | 8 | 13 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 72 | 16 | 16 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Постановка задачи наблюдения. Понятие наблюдаемости. Матрицы наблюдаемости первого и второго рода. Наблюдатели полного и пониженного порядка в виде моделей с обратной связью. Метод наименьших квадратов. Алгоритм рекуррентного гауссовского оценивания. Понятие управляемости. Двойственность задач наблюдения и управления

Тема 2. Метод минимизации среднеквадратической ошибки. Уравнение Винера-Хопфа для дискретных систем. Гауссовско-марковская оценка как обобщение метода наименьших квадратов. Рекуррентное гауссовско-марковское оценивание. Фильтр Калмана для систем с дискретным временем.

Тема 3. Постановка задачи стохастического оптимального управления для полной и неполной информации о векторе состояния. Вывод и решение функционального уравнения Беллмана. Свойства оптимальной системы. Теорема разделения.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440 с.

[Электронный ресурс] Режим доступа:

<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108584.html>

б) дополнительная литература:

1. Ким Д.П. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 328 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922109376.html>

2. Гайдук А.Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922114240.html>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

1. Как ставится задача наблюдения состояния динамической системы?

2. Что такое матрицы наблюдаемости первого и второго рода?

3. Какую задачу в теории оценивания решает метод наименьших квадратов?

4. Что такое управляемость динамической системы?
5. В чем заключается двойственность задач наблюдения и управления?
6. Какова роль метода минимизации среднеквадратической ошибки в задаче оценивания состояния?
7. Какую роль играет уравнение Винера-Хопфа для дискретных систем?
8. Какую задачу решает алгоритм рекуррентного гауссовско-марковского оценивания?
9. Какую функцию выполняет фильтр Калмана для систем с дискретным временем? Какова его структура?
10. Каковы свойства оптимальной системы?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале. |

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Цель работы: исследовать, какой наблюдатель обеспечивает более высокую скорость сходимости ошибки оценивания.

Постановка задачи: Рассматривается простейшая система второго порядка:

$\ddot{x} = u.$

Обозначим x_1 – скорость, x_2 – координату и запишем уравнения системы в нормальной форме для задач наблюдения:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u.$$

Предполагая, что координата и ускорение доступны наблюдению, найдем оценку скорости \hat{x}_1 . Уравнение выходной переменной будет иметь вид

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}.$$

Необходимо построить в SIMULINK модели наблюдателей полного и пониженного порядка и исследовать, как изменяется ошибка в зависимости от корней характеристического

полинома наблюдателей.

Далее необходимо построить общую систему с обратной связью в SIMULINK и исследовать, как влияют ошибки в нахождении параметров наблюдателей на ошибку оценивания.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок. |
| не зачтено | Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю). |

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Цель работы: построить оптимальную оценку координаты и скорости поступательного движения самолета.

Постановка задачи. Самолет совершает поступательное движение на заданной точно известной начальной позиции, под действием неизвестных возмущений ускорения. Во время полета каждую секунду измеряется координата с ошибкой. Требуется:

1. Построить оптимальную оценку координаты и скорости.
2. Рассчитать коэффициенты усиления. Сделать проверку.
3. Результаты применения алгоритма фильтрации представить в виде таблицы значений номера шага, матрицы ковариации ошибки измерений, матрицы усиления.
4. Рассчитать дисперсию стационарных (установившихся) значений ошибки координаты и скорости.
5. Построить последовательность коэффициентов усиления в виде графиков зависимости каждого коэффициента от номера шага.
6. Рассчитать дисперсию ошибки фильтрации для стационарных (установившихся) значений коэффициентов усиления.
7. Построить схему фильтра, соединить её со схемой наблюдаемой системы и исследовать, как

изменяется ошибка в зависимости от коэффициентов усиления.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Выполнена основная часть задания, возможно с незначительными недочетами |
| не зачтено | Выполнено менее половины задания, есть существенные недочеты |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность | При решении стандартных задач не продемонстрированы | Имеется минимальный набор навыков | Продемонстрированы базовые навыки при | Продемонстрированы базовые навыки при | Продемонстрированы навыки при | Продемонстрирован творческий подход к |

| | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|
| оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | ованы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | для решения стандартных задач с некоторым и недочетами | решении стандартных задач с некоторым и недочетами | решении стандартных задач без ошибок и недочетов | решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | решению нестандартных задач |
|--|---|--|--|--|--|-----------------------------|

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|-------------------|----------------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-6

Задача 1. Записать дискретное уравнение Винера-Хопфа для следующей системы

$$\begin{aligned}x(k+1) &= x(k), \quad k = 1, 2, 3 \dots \\y(k) &= x(k) + w(k)\end{aligned}$$

Задача 2. Рассмотрим систему

$$x(t+1) = x(t) + u(t) + v(t),$$

где x и u – скаляры, а $\{v(t)\}$ – последовательность независимых нормально распределенных переменных с нулевыми средними значениями и ковариационной матрицей σ . При начальном нормальном состоянии с параметрами (m, σ) и с функцией потерь

$$I = \sum_{k=1}^N x^2(k) + u^2(k).$$

Определить стратегию управления, которая минимизирует средние потери, и найти минимальное значение функции потерь, когда допустимые стратегии управления такие, что $u(t)$ – функция $x(t)$. Найти также ограничения на закон управления при $N \rightarrow \infty$.

Задача 3. Рассмотрим систему

$$x(t+1) = ax(t) + bu(t) + v(t)$$

с функцией потерь

$$I = \sum_{t=1}^N x^2(t).$$

Предположить, что допустимые стратегии управления такие, что $u(t)$ есть функция $x(t)$. Определить стратегию, которая минимизирует средние потери.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок. |
| не зачтено | Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю). |

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-6

Цель работы:

Построить оценку вектора состояния используя фильтр Калмана. Исследовать, как изменяется ошибка оценивания в случае сильно и слабо возмущённой атмосферы.

Постановка задачи:

На основе систем уравнений, приведённых ниже, предлагается построить модель движения самолёта в турбулентной атмосфере.

$$\begin{aligned} \dot{U}'_y + \frac{V}{L} U'_y &= (\sqrt{3} - 1) \sqrt{\frac{V}{L}} \xi_y \\ \dot{U}_y + \frac{V}{L} U'_y + \frac{V}{L} U_y &= \sqrt{\frac{3V}{L}} \xi_y \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta \dot{\theta} + a^{\alpha}_y \Delta \alpha = 0,$$

$$\Delta \dot{\omega}_z + a^{\alpha}_{mz} \Delta \alpha + a^{\omega z}_{mz} \Delta \omega_z = a^{\delta b}_{mz} \Delta \delta_b, \quad (2)$$

$$\Delta \dot{v} = \Delta \omega_z, \quad \Delta v = \Delta \theta + \Delta \alpha - \Delta \alpha_b, \quad \Delta \alpha_b = \frac{\Delta U_y}{V}$$

где U_y и U'_y составляющие вектора скорости ветра, $\xi_y = \xi_y(t)$ – белый шум, L – масштаб турбулентности, V – скорость самолёта, $\Delta \theta$ – приращение угла наклона траектории, $\Delta \omega_z$ – приращение угловой скорости тангажа, Δv – приращение угла тангажа, a^{α}_y , a^{α}_{mz} , $a^{\omega z}_{mz}$, $a^{\delta b}_{mz}$ – параметры системы, которые положим равными -0.62 , 4 , 1.14 , -7.5 соответственно.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочётами. |
| не зачтено | Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, результаты работы не представлены преподавателю). |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Ким Дмитрий Петрович. Теория автоматического управления : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению 220200 "Автоматизация и управление". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Физматлит, 2007-. Теория автоматического управления . Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. - М., 2007. - 2-е изд., испр. и доп. - 440 с., 5 табл., 65 ил. - Библиогр.: с. 432 - 436. - ISBN 978-5-9221-0858-4 : 471.40., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Ким Дмитрий Петрович. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы : учеб. пособие для студентов вузов,

обучающихся по направлению 220400 "Мехатроника и робототехника". - М. : Физматлит, 2008. - 326 с. - ISBN 978-5-9221-0937-6 : 174.30., 2 экз.

2. Гайдук Анатолий Романович. Алгебраические методы анализа и синтеза систем автоматического управления / отв. ред. А. А. Колесников ; Сев.-Кавк. науч. центр высш. шк. - Ростов н/Д : Изд-во Рост. ун-та, 1988. - 208 с. : ил. - (Актуальные проблемы науки). - 2.48., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. YALMIP Wiki <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>
2. OCTAVE: <https://octave.org/>
3. SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: - операционные системы семейства Microsoft Windows; - свободно распространяемое бесплатное программное обеспечение (пакет OCTAVE: <https://octave.org/>, пакет YALMIP – <http://users.isy.liu.se/johanl/yalmip/>, решатель SeDuMi – <https://yalmip.github.io/allsolvers/>).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.03.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Пакшин Павел Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Зорин Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.12.2025, протокол № протокол №6.