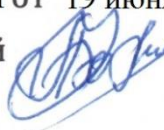


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО "БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
ФАКУЛЬТЕТ МАТЕМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Утверждено:

на заседании кафедры ИТиКМ
протокол №11 от 19 июня 2019 г.

Зав. кафедрой

 А.М. Болотнов

Согласовано:

Председатель УМК
ФМ и ИТ

 А.М. Ефимов

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Часть, формируемая участниками образовательных отношений

ПРОГРАММА МАГИСТРАТУРЫ

Направление подготовки (специальность):

09.04.03 Прикладная информатика

Направленность (профиль) подготовки:

Интеллектуальное управление и обработка информации

Квалификация — магистр

Разработчик (составитель):

канд. физ.-мат. наук, доцент



_____/Манапова А.Р.

Для приема 2019 г.

Уфа — 2019

Составитель: кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры информационных технологий и компьютерной математики Манапова А.Р.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры информационных технологий и компьютерной математики, протокол от 19.06.2019 г. №11.

Дополнения и изменения, касающиеся списка литературы и перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры информационных технологий и компьютерной математики, протокол от 29.05.2020 г. №10.

Заведующий кафедрой  А.М. Болотнов

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры _____,
протокол № ___ от «___» _____ 20 _ г.

Заведующий кафедрой _____/ _____/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры _____,
протокол № ___ от «___» _____ 20 _ г.

Заведующий кафедрой _____/ _____/

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	6
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	6
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	6
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	7
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	14
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	14
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	14
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	15
Приложение №1	16

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Категория (группа) компетенций (при наличии ОПК)	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-5. Способен применять эффективные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ	ПК-5.1. Знает основные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Знать теорию основных численных методов и алгоритмы решения уравнений математической физики (УМФ); задач оптимизации для УМФ и обратных задач, иметь представление о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.
		ПК-5.2. Умеет использовать основные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Уметь разрабатывать и обосновывать численные методы решения конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.
		ПК-5.3. Имеет навыки применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Владеть методами и технологиями разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. Владеть навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и

			пакетов прикладных программ.
--	--	--	------------------------------

2. Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория оптимального управления» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Б1.В.ДВ.04.01 дисциплины (модуля).

Дисциплина «Теория оптимального управления» изучается на 2 курсе во 2 семестре.

Целью преподавания дисциплины является ознакомление магистрантов с основными разделами области современной теории численных методов решения уравнений математической физики (УМФ) и задач оптимизации для УМФ; выработать глубокие знания наиболее используемых на практике методов численного решения УМФ, задач оптимального управления, обратных задач, их вычислительных аспектов с приложением к решению классов задач для УМФ. Выработать у студентов навыки разработки алгоритмов, а также создания программного обеспечения для решения этих задач. В результате выпускник должен уметь математически грамотно ставить и решать на ЭВМ определенный набор задач с использованием изученных методов, а также понимать какие численные методы лежат в основе программ широко используемых пакетов (например, MATLAB, МАТЕМАТИКА и т.д.). Теоретическая и практическая подготовка магистрантов должна обеспечить получение знаний и представлений в области современных вычислительных технологий, достаточных для эффективной профессиональной деятельности. При этом подразумевается приобретение магистрантами такого уровня знаний, который бы позволил им самостоятельно анализировать возможности выбираемого программного средства для выполнения той или иной конкретной задачи и на основании проведенного анализа выбирать наиболее подходящую прикладную программу.

Знания и умения, приобретенные магистрантами в результате изучения дисциплины, будут использоваться при изучении дисциплин «Прикладное программное обеспечение в научных и инженерных исследованиях», «Технология разработки программного обеспечения», а также в научно-исследовательской работе и при написании магистерской диссертации.

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции ПК-5

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Неудовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
ПК-5.1. Знает основные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	<i>Знать</i> теорию основных численных методов и алгоритмы решения уравнений математической физики (УМФ); задач оптимизации для УМФ и обратных задач, <i>иметь</i> представление о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.	Отсутствие знаний или фрагментарные представления об основных численных методах и алгоритмах решения уравнений математической физики (УМФ); задачах оптимизации для УМФ и обратных задач. Фрагментарные представления о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.	Неполные представления об основных численных методах и алгоритмах решения уравнений математической физики (УМФ); задачах оптимизации для УМФ и обратных задач; о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об основных численных методах и алгоритмах решения уравнений математической физики (УМФ); задач оптимизации для УМФ и обратных задач; о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.	Сформированные систематические представления об основных численных методах и алгоритмах решения уравнений математической физики (УМФ); задач оптимизации для УМФ и обратных задач; о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.
ПК-5.2. Умеет использовать основные методы реализации алгоритмов на основе	<i>Уметь</i> разрабатывать и обосновывать численные методы решения	Отсутствие умений или фрагментарные умения разрабатывать и обосновывать численные	В целом успешное, но не систематическое умение разрабатывать и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разрабатывать	Сформированное умение разрабатывать и обосновывать численные методы решения конкретных задач

современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.	методы решения конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.	обосновывать численные методы решения конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.	и обосновывать численные методы решения конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.	для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.
ПК-5.3. Имеет навыки применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	<i>Владеть</i> методами и технологиями разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. <i>Владеть</i> навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Отсутствие владения или фрагментарное владение методами и технологиями разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. Фрагментарное владение навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	В целом успешное, но не систематическое владение методами и технологиями разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. Не систематическое владение навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов и технологий разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. Частичное владение навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Успешное и систематическое применение методов и технологий разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. <i>Владение</i> навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.

Показатели сформированности компетенции. Шкалы оценивания: для экзамена:

«2» –«неудовлетворительно»;

«3»–«удовлетворительно»;

«4»–«хорошо»;

«5»–«отлично».

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений,

навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК-5.1. Знает основные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ. ПК-5.2. Умеет использовать основные методы реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ. ПК-5.3. Имеет навыки применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Знать теорию основных численных методов и алгоритмы решения уравнений математической физики (УМФ); задач оптимизации для УМФ и обратных задач, иметь представление о существующих пакетах прикладных программ для решения конкретных классов задач.	Индивидуальный, групповой опрос; лабораторные работы; Экзамен.
	Уметь разрабатывать и обосновывать численные методы решения конкретных задач для УМФ и алгоритмы, реализовывать эти алгоритмы на языках программирования высокого уровня.	Домашние задания; лабораторные работы; экзамен
	Владеть методами и технологиями разработки и обоснования численных методов решения задач оптимизации и обратных задач для УМФ. Владеть навыками применения методов реализации алгоритмов на основе современных систем программирования и пакетов прикладных программ.	Домашние задания; лабораторные работы; Экзамен.

Экзаменационные билеты

Экзамен является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.
 Структура экзаменационного билета: 2 вопроса.

Перечень вопросов для экзамена

1. Непрерывные функционалы в банаховых пространствах. Обобщенная теорема Вейерштрасса 1.
2. Функционалы полунепрерывные снизу и сверху. Критерий полунепрерывности снизу функционала.
3. Обобщенная теорема Вейерштрасса 2.
4. Функционалы слабо непрерывные и слабо полунепрерывные снизу и сверху. Критерий слабой полунепрерывности функционала снизу.
5. Обобщенная теорема Вейерштрасса 3.
6. Теорема Банаха-Сакса и ее обобщение (Мазур).

7. Теоремы: а) о слабой замкнутости множества в гильбертовом пространстве; б) о слабой полунепрерывности снизу нормы в гильбертовом пространстве; в) о слабой полунепрерывности снизу выпуклого функционала в рефлексивном банаховом пространстве.

8. Обобщенная теорема Вейерштрасса 4.

9. Дифференцируемость функционалов в смысле Фреше. Градиент функционала. Классы функционалов $C^p(U)$, $p=1,2$, $C^{1,1}(U)$. Примеры.

10. Формулы конечных приращений для функционалов $J(u) \in C^p(U)$, $p=1,2$.

11. Лемма об оценке для функционалов $J(u) \in C^{1,1}(U)$, $p=1,2$

12. Выпуклые множества и выпуклые функционалы; примеры. Критерий выпуклости гладких функционалов

13. Критерий выпуклости гладких функционалов. Примеры.

14. Критерий выпуклости гладких функционалов $J(u) \in C^2(u)$. Примеры.

15. Экстремальные свойства выпуклых функционалов. Теорема о точках локального и абсолютного минимума выпуклого функционала.

16. Критерий оптимальности функционалов $J(u) \in C^1(u)$, $U \subseteq B$. Примеры.

17. Сильно выпуклые функционалы. Примеры. Критерии сильной выпуклости функционалов $J(u) \in C^1(u)$, $U \subseteq H$. Примеры.

18. Критерий сильной выпуклости функционалов $J(u) \in C^2(U)$. Примеры.

19. Экстремальные свойства сильно выпуклых функционалов. Теорема о достижении нижней грани и сходимости минимизирующей последовательности сильно выпуклого полунепрерывного снизу функционала. Корректность задачи.

20. Линейное нормированное пространство. Классы функций $C^n[a,b]$, $n=0,1,2$; расстояние $\|y_1(x)-y_2(x)\|_{C^n}$ $n=0,1,2$ между функциями (кривыми) $y_1(x)$, $y_2(x)$ в пространстве $C^n[a,b]$. Понятие о ε - окрестности n -го порядка кривой $y(x) \in C^n[a,b]$, $n=0,1,2$. Геометрический смысл близости функций в смысле нормы пространства C и C^n , $n=0,1,2$. Функционалы, линейные функционалы, ограниченные функционалы. Локальные экстремумы функционалов. Сильные и слабые локальные экстремумы функционалов, примеры. Непрерывные функционалы. Непрерывные функционалы в пространстве C^n , *примеры*.

21. Вариация функционала (два определения) Простейшая задача вариационного исчисления с закрепленными концами, вариация функционала в этой задаче. Теорема о необходимом условии существования слабого экстремума функционала, уравнение Эйлера, экстремали задачи.

22. Понятие простейшей задачи вариационного исчисления: функционал зависящий от нескольких функций. Теорема о необходимом условии слабого экстремума функционала.

23. Понятие простейшей задачи вариационного исчисления: функционал зависящий от производных высших порядков. Теорема о необходимом условии слабого экстремума функционала.

24. Вариационная задача с подвижными границами (концами). Простейшая задача. Теорема о необходимом условии слабого экстремума функционала. Условие трансверсальности.

25. Частным случаем вариационной задачи с подвижными границами является задача, когда концы допустимых кривых лежат на прямых $x=x_0$ и $x=x_1$, но $y(x_0)$ и $y(x_1)$ не заданы, т.е. граничные условия при $x=x_0$ и $x=x_1$ отсутствуют, это означает, что граничные точки $(x_0, y(x_0))$ и $(x_1, y(x_1))$ кривой $y(x)$ могут перемещаться по вертикальным прямым $x=x_0$ и $x=x_1$ (возможен вариант, когда один из концов закреплен, а другой перемещается по прямой). В этом частном случае вместо условий трансверсальности записываются, так называемые,

естественные граничные условия (какие, выписать эти условия). Такую задачу вариационного исчисления называют также задачей вариационного исчисления без ограничений в классе непрерывно-дифференцируемых функций $y(x)$, не удовлетворяющих каким либо граничным условиям при $x=x_0$ и $x=x_1$. Если же функция $y(x)$ должна удовлетворять лишь одному граничному условию, например $y(x_0)=x_0$, то такую задачу называют задачей со свободным концом ($x=x_1$), но допускающую слабый экстремум $J(y)$ в классе функций $y(x) \in C^2[a,b]$ удовлетворяющих также условию $y(x_0)=x_0$. Сформулируйте соответствующие теоремы о необходимых условиях слабого экстремума функционала в рассмотренных случаях.

26. Задача вариационного исчисления без ограничений с функционалом Больца. Теорема о необходимом условии слабого экстремума.

27. Вариационные задачи на условный экстремум. Задачи с конечными связями. Задача Лагранжа. Необходимые условия слабого экстремума. Метод множителей Лагранжа.

28. Вариационные задачи на условный экстремум. Задачи с дифференциальными связями. Задача Лагранжа. Необходимые условия слабого экстремума. Метод множителей Лагранжа.

29. Вариационные задачи на условный экстремум. Изопериметрическая задача. Задача Лагранжа. Необходимые условия слабого экстремума. Метод множителей Лагранжа.

30. Задача вариационного исчисления с подвижными концами. Задача об отыскании минимума функционала при условии, что один конец кривой $y(x)$ фиксирован: $y(x)=y_0$, а второй лежит на заданной гладкой кривой $y=g(x)$. При этом верхний предел интегрирования в функционале $J(y)$ не фиксирован.

31. Постановка задачи оптимального управления с закрепленными концами. Необходимые условия экстремума - Принцип максимума Понтрягина. Иллюстрация принципа максимума.

Образец экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет математики и информационных технологий
магистры 2 год, 2 семестр, 2020/2021 учебный год

Дисциплина Теория оптимального управления
Направление 09.04.03 – Прикладная информатика

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

1. Постановка задач минимизации функционалов на множествах в банаховых пространствах. Корректно и некорректно поставленные задачи минимизации, примеры. Непрерывные функционалы в банаховом пространстве. Обобщенная теорема Вейерштрасса 1 о достижении непрерывного функционала нижней грани на бикомпактном множестве U банахова пространства B .
2. Градиентный метод скорейшего спуска минимизации функционалов в гильбертовом пространстве.

Преподаватель

А.Р. Мананова

Зав. Кафедрой ИТ и КМ

А.М. Болотноев

Критерии оценки:

- **«отлично»** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;
- **«хорошо»** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки;
- **«удовлетворительно»** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;
- **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Задания для лабораторных работ

1. Рассмотрите квадратичную задачу оптимального управления для ОДУ с начальным условием Коши (по индивидуальному заданию преподавателя). Постройте алгоритм численного решения задачи оптимального управления на основе метода проекции градиента. Математическое обоснование метода и результаты вычислительного эксперимента на ЭВМ для поставленной задачи оформите в виде презентации.

2. Рассмотрите задачу оптимального управления процессом нагрева тонкого неоднородного стержня $0 \leq x \leq 1$, теплоизолированного с боковой поверхности, концы которого поддерживаются при заданном тепловом режиме с управлением в виде функции источника тепла в правой части параболического уравнения (детализация постановок задач дается преподавателем индивидуально каждому студенту). Процесс распределения тепла в стержне предполагается нестационарным. Начальное распределение температуры $u(x, t)$ (при $t = 0$) по длине стержня предполагается заданным. Требуется, управляя плотностью источников тепла в стержне, к заданному моменту времени $T > 0$ распределение температуры в стержне сделать как можно ближе к заданному распределению $\omega(x)$, $0 \leq x \leq 1$. Постройте алгоритм численного решения задачи оптимального управления на основе метода проекции градиента или условного градиента. Дайте математическую постановку задачи оптимизации; математическое обоснование разработанного численного метода; проведите вычислительный

эксперимент на ЭВМ по решению рассмотренной модели задачи и оформите результаты в виде презентации.

Описание методики оценивания:

Критерии оценки:

За отчёт по лабораторной работе

- *Отлично* выставляется студенту, если нет замечаний;
- *Хорошо* выставляется студенту, если имеются несущественные замечания;
- *Удовлетворительно* выставляется студенту, если в целом получены верные результаты, но имеются существенные замечания.

Домашние задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

1. Покажите, что задача минимизации функционала

$$J(u) = \begin{cases} \frac{u^2}{1+u^4}, & \text{при } u \geq 0, \\ 0, & \text{при } u < 0. \end{cases}$$

на множестве $U = E^1 = \{-\infty < u < \infty\}$ является некорректной в евклидовой метрике.

2. Рассмотрите задачу минимизации функционала

$$J(u) = \int_0^1 x^2(t) dt,$$

где $x(t) = x(t; u)$ – решение задачи Коши

$$\frac{dx(t)}{dt} = u(t), \quad 0 < t \leq 1,$$

а $u = u(t)$ – управление, причем

$$u \in U = \{u(t) \in L_\infty(0,1) : |u(t)| \leq 1 \text{ п.в. на } [0,1]\}.$$

а) Покажите, что множество точек минимума U_* задачи не пусто.

б) Постройте какую-либо минимизирующую последовательность данной экстремальной задачи.

в) Покажите, что данная задача некорректна в метрике пространств $L_2(0,1)$ и $L_\infty(0,1)$.

3. Покажите, что задача минимизации функционала

$$J(u) = \int_0^1 u^2(t) dt,$$

на множестве $U = C[0,1]$ некорректна в метрике $C[0,1]$, но в тоже время она корректна в метрике $L_2[0,1]$.

4. Покажите, что функционал

$$J(u) = \frac{1}{2}(Au, u) - (f, u), \quad f \in H,$$

где $A: H \rightarrow H$, H – гильбертово пространство, дважды дифференцируем в смысле Фреше на $U = H$ и найдите первую и вторую производные Фреше.

5. Покажите, что функционал

$$J(u) = \frac{1}{2}(Au, u) - (f, u), \quad f \in H,$$

где $A = A^* \geq 0$ выпуклый на $U = H$.

Критерии оценки (в баллах):

- *Отлично* выставляется студенту, если практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

- *Хорошо* выставляется студенту, если при выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки; или выполнено только основное задание, но без ошибок и неточностей;

- *Удовлетворительно* выставляется студенту, если при решении задания допущены существенные ошибки, и обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Абдрахманов, В. Г. Элементы вариационного исчисления и оптимального управления. Теория, задачи, индивидуальные задания: учебное пособие / В. Г. Абдрахманов, А. В. Рабчук. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 112 с. — ISBN 978-5-8114-1630-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/45675> (дата обращения: 24.03.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Лившиц, К. И. Теория управления: учебник / К. И. Лившиц, Ю. И. Параев. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 232 с. — ISBN 978-5-8114-4497-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133923> (дата обращения: 24.03.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная литература:

3. Программные продукты и системы: научно-практическое издание / Научно-исследовательский институт «Центрпрограммсистем»; гл. ред. С.В. Емельянов - Тверь: Научно-исследовательский институт "Центрпрограммсистем", 2013. - № 2 (102). - 284 с.: схем., табл., ил. - ISSN 2311-2735; Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему "Университетская библиотека online".—

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459209>

4. Прикладная информатика / ред. А.А. Емельянова - Москва: Синергия ПРЕСС, 2011. - № 4(34). - 144 с. - ISSN 1993-8314; Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему "Университетская библиотека online".— - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=120330>

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. Универсальная Базы данных EastView (доступ к электронным научным журналам) - <https://dlib.eastview.com/browse>

2. Научная электронная библиотека - elibrary.ru (доступ к электронным научным журналам) - https://elibrary.ru/projects/subscription/rus_titles_open.asp

3. Электронная библиотека диссертаций РГБ - <http://diss.rsl.ru/>

4. Учебный центр компьютерных технологий - www.microinform.ru/

5. 6. SCOPUS - <https://www.scopus.com>

7. Web of Science - <http://apps.webofknowledge.com>

8. <http://www.minutemansoftware.com/simulation.htm> - студенческая версия GPSSWorld, в свободном доступе

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	2	3
<p>1. Учебная аудитория для проведения учебных занятий: аудитория № 501 (физмат корпус - учебное), аудитория № 511 (физмат корпус - учебное), аудитория № 521 (физмат корпус - учебное), аудитория № 524 (физмат корпус - учебное).</p> <p>2. Учебная аудитория для проведения практических занятий: аудитория № 521 (физмат корпус - учебное), аудитория № 524 (физмат корпус - учебное).</p> <p>3. Учебная аудитория для проведения дисциплинарной, междисциплинарной и модульной подготовки: аудитория № 501 (физмат корпус - учебное), аудитория № 511 (физмат корпус - учебное).</p> <p>4. Помещения для самостоятельной работы: читальный зал № 2 (физмат корпус-учебное).</p> <p>5. Помещение для</p>	<p>Аудитория № 501 Учебная мебель, доска, персональный комп. и системный блок /Corei 5-4460(3.2)/CIGABAYTEGV-N710D3-1GL/4Gb, Презентер Logitech Wireless Presenter R400 проектор Sony VPL-DX270, экран ручной View Screen Lotus 244x183 WLO-4304.</p> <p>Аудитория № 511 Учебная мебель, доска, мультимедиа проектор mitsubishiex 320u 3d 2.4кг., экран на штативе draper diplomat (1:1) 84/84* 213*213 мм , компьютер в составе: системный блок depo 460md/3-540/t500g/dvd-rw, монитор 20</p> <p>Аудитория № 521 Учебная мебель, доска, коммутатор hrv1905-24 switch 24*10/100+2*10/100/1000, персональные компьютеры в комплекте deponeos 460mdi5 2300/4gddr1333/t500g/dvdw – 12 шт., проектор ортомаех542i.dlp3d.xga(1024*768).2700 ansilm.3000 1.lamp5000+/-40 ver, шкаф tlktwp-065442-g-gy, экран на штативе draper diplomat (1:1) 84/84* 213*213 мм, доска аудитор.да36</p> <p>Аудитория № 524 Учебная мебель, доска настенная меловая, коммутатор HPV1905-24 Switch 24*10/100+2*10/100/1000, персональный компьютер в комплекте системный блок Фермо (Системный блок, Процессор Core i5-7400 (3 0)/8 Gb/HDD 1 Tb/ Win10 Pro/ USB/Мышь USB/ LCD Монитор 21,5) - 25шт.,</p>	<p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор № 104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор № 114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Система централизованного тестирования БашГУ (Moodle). (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</p> <p>4. Simply Linuxx 86_64 (лицензионный договор на программное обеспечение Simply Linux 8.2.0 и включенные для него программы для ЭВМ, свободное программное обеспечение).</p> <p>5. Maple 16: Universities or Equivalent Degree Granting Institutions New License. Договор № 263от07.12.2012г. Лицензия бессрочная.</p> <p>6. Academic Edition Networked Volume Licenses RAD Studio XE3 Professional Concurrent AppWave English; Договор № 263 от 07.12.2012 г. Лицензия бессрочная.</p> <p>7. WebWorK (лицензия GNU GPL, свободное программное обеспечение).</p>

<p>хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: аудитория № 522 (физмат корпус-учебное).</p>	<p>экран ScreeMedia Golgview 274*206 NW 4:3, универсальное потолочное крепление ScreeMedia для проектора, регулировка высоты , шкаф TLKTWP-065442-G-GY, патч-корд (1296), доска аудитор. ДА32.</p> <p>Читальный зал №2 Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, стенд по пожарной безопасности, моноблоки стационарные – 8 шт, принтер – 1 шт., сканер – 1 шт.</p>	
---	--	--

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

*дисциплины – «Теория оптимального управления»
на 4 семестр*

очная форма обучения

Рабочую программу осуществляют:

Лекции: доцент каф. ИТиКМ, к.ф.-м.н. Манапова А.Р.

Лабораторные работы: доцент каф. ИТиКМ, к.ф.-м.н. Манапова А.Р.

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (з.е. / часов)	5/180
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	67.2
лекций	22
практических/ семинарских	
лабораторных	44
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1.2
из них, предусмотренные на выполнение курсовой работы / курсового проекта	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	78
из них, предусмотренные на выполнение курсовой работы / курсового проекта	
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	34.8

Формы контроля:
экзамен 4 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР		
	4-й семестр						
1.	Введение. Общие понятия теории экстремальных задач в функциональных пространствах. Постановка задач на экстремум, корректно и некорректно поставленные задачи минимизации. Примеры.	2				Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Функциональные пространства. Некорректные задачи оптимального управления», работа с конспектом лекций и рекомендуемой литературой [1]-[4].	устный опрос
2.	Общие теоремы об ограниченности снизу и достижении функционалами экстремумов на множествах из банаховых пространств.	2		2	10	Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Теоремы Вейерштрасса», работа с конспектом лекций и рекомендуемой литературой [1]-[4].	устный опрос;

3.	Дифференцируемость функционалов в смысле Фреше и Гато. Градиент. Формулы конечных приращений, некоторые свойства функционалов. Примеры.	4		4	10	Поиск, анализ информации и проработка учебного материала по теме «Производные функционала: сильные, слабые, по направлению», работа с конспектом лекций и рекомендуемой литературой [1]-[4].	доклад
4.	Элементы выпуклого анализа. Критерии выпуклости и сильной выпуклости; экстремальные свойства выпуклых и сильно выпуклых функционалов; условия оптимальности. Примеры.	2		4	10	Подготовка домашнего задания	Отчет по домашнему заданию
5.	Методы минимизации функционалов на множествах из Гильбертовых пространств.	4		4	10	Подготовка домашнего задания	Отчет по домашнему заданию
6.	Некоторые задачи оптимального управления системами, описываемыми задачей Коши для систем ОДУ и краевыми задачами для ОДУ. Градиентные методы решения задач. Лабораторные работы.	2		10	10	Подготовка лабораторной работы	Отчет по лабораторной работе
7.	Некоторые задачи оптимального управления системами, описываемыми уравнениями эллиптического типа. Градиентные методы решения задач. Лабораторные работы.	2		10	18	Лабораторная работа (индивидуальные/ групповые творческие	Отчет по лабораторной работе

						задания (проекты))	
8	Некоторые задачи оптимального управления системами, описываемыми уравнениями параболического типа. Градиентные методы решения задач. Лабораторные работы.	4		10	10	Лабораторная работа (индивидуальные/ групповые творческие задания (проекты))	Отчет по лабораторной работе
	Итого за семестр:	22		44	78		