

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

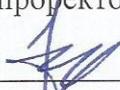
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра *высокопроизводительных вычислительных технологий и систем*

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор по науке


_____ Р.Д. Еникеев

« 23 » июня 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

« ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА »

Уровень подготовки

высшее образование - подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность

1.1.2 Дифференциальные уравнения и математическая физика

Квалификация (ученая степень): кандидат наук

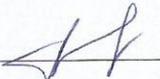
Форма обучения

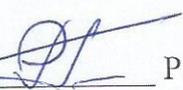
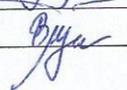
очная

Уфа 2022

Рабочая программа учебной дисциплины «ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»

Рабочая программа дисциплины обсуждена на заседании кафедры ВВТиС 28.04.2022 г., протокол № 17 и рекомендована к реализации в образовательном процессе для подготовки аспирантов по ПА 1.1.2 «Дифференциальные уравнения и математическая физика».

И.о. заведующего кафедрой:  А.А. Гайнетдинова

Составители:  Р.К. Газизов, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры ВВТиС,
 В.О. Лукашук, к.ф.-м.н., доцент кафедры ВВТиС

Согласовано:  Р.К. Фаттахов, к.т.н., доцент, начальник ОАиД

Содержание

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
2. Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.....	9
4. Фонд оценочных средств	9
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	13
6. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ	14

1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Дифференциальные уравнения и математическая физика является дисциплиной, направленной на подготовку к сдаче кандидатских экзаменов, образовательного компонента программы аспирантуры подготовки научных и научно-исследовательских кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.2 Дифференциальные уравнения и математическая физика.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями к структуре программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)», утвержденных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) от 20 октября 2021 года № 951; Постановление Правительства Российской Федерации от 30.11.2021 № 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)".

Является неотъемлемой частью программы аспирантуры подготовки научных и научно-исследовательских кадров в аспирантуре. Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

Целью освоения дисциплины является углубление фундаментальных знаний обучающихся, а также его практической подготовки в области дифференциальных уравнений и математической физики.

Задачи: углубленное изучение теоретических и методологических основ теории дифференциальных уравнений и систем, различных методов и подходов к их исследованию, освоение математического аппарата, позволяющего описывать модели механики сплошной среды, квантовой механики, формирование практических навыков решения дифференциальных уравнений и систем, исследования динамических систем, уравнений математической физики.

2. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.
	3 курс
Лекции (Л)	10
Практические занятия (ПЗ)	
Лабораторные работы (ЛР)	
КСР	1
Курсовая проект работа (КР)	
Расчетно - графическая работа (РГР)	
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	61
Подготовка и сдача экзамена	
Подготовка и сдача зачета	36
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	экзамен

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов					Литература, рекомендуемая аспирантам	
		Аудиторная работа				СРС		Всего
		Л	ПЗ	ЛР	КСР			
1	<p>Обыкновенные дифференциальные уравнения и оптимальное управление</p> <p>Задача Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Теорема существования и единственности.</p> <p>Гладкость решений задачи Коши по начальным данным и параметрам, входящим в правые части системы уравнений. Непрерывная зависимость решения задачи Коши от параметров и начальных данных. Дифференцируемость решения задачи Коши по параметру и начальным данным. Продолжение решений.</p> <p>Область существования решения линейной системы дифференциальных уравнений первого порядка. Формула Лиувилля-Остроградского. Фундаментальная матрица Коши. Неоднородная линейная система уравнений первого порядка. Метод вариации произвольных постоянных. Линейные дифференциальные уравнения n-го порядка.</p> <p>Автономные системы уравнений. Свойства решений. Предельные циклы на плоскости.</p> <p>Устойчивость по Ляпунову. Устойчивость линейной системы уравнений. Теорема Ляпунова об устойчивости положения равновесия по первому приближению.</p>	4				21	25	5.1.1-5.1.4, 5.1.10, 5.1.12 5.2.1-5.2.5,

	<p>Задача оптимального управления. Функция Понтрягина. Принцип максимума Понтрягина(без доказательств). Задача быстрогодействия. Принцип максимума для автономных систем</p> <p>Краевая задача для линейного уравнения второго порядка. Функция Грина в невырожденном случае. Функция Грина в вырожденном случае.</p> <p>Задача Штурма-Лиувилля для уравнения второго порядка. Сведение задачи Штурма-Лиувилля к интегральному уравнению. Свойства собственных значений и собственных функций.</p> <p>Системы обыкновенных дифференциальных уравнений с комплексными аргументами. Доказательство теоремы существования и единственности аналитического решения методом мажорант. Доказательство фундаментальной теоремы методом Коши.</p> <p>Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью. Доказательство теоремы существования и единственности решения задачи Коши при условиях Каратеодори.</p>							
2	<p>Уравнения с частными производными Линейные и квазилинейные уравнения с частными производными первого порядка. Характеристики. Уравнение Гамильтона-Якоби. Системы уравнений с частными производными</p>	4				20	24	5.1.5-5.1.9, 5.1.13 5.2.7

	<p>типа Ковалевской. Теорема Коши-Ковалевской. Аналитические решения. Пример Адамара.</p> <p>Классификация линейных уравнений второго порядка на плоскости. Характеристические уравнения и характеристики.</p> <p>Обобщенные функции. Умножение и дифференцирование обобщенных функций. Свертка обобщенных функций. Преобразование Фурье. Свойства преобразований Фурье.</p> <p>Пространства Соболева W_p^m. Интегральное тождество Соболева. Теоремы вложения. След функции из W_p^m на границе области.</p> <p>Обобщенные решения краевых задач для эллиптического уравнения второго порядка. Существование и единственность обобщенного решения в простейшем случае. Собственные функции и собственные значения.</p>							
3	<p>Математическая физика</p> <p>Задача Коши и начально-краевые задачи для волнового уравнения. Методы решения одномерного волнового уравнения. Формула Даламбера. Физическая интерпретация (фронт волны). Метод разделения переменных (метод Фурье). Волновое уравнение в пространстве. Частное решение. Формула Пуассона. Физическая интерпретация. Характеристический конус. Формула Кирхгофа.</p> <p>Задача Дирихле и Неймана для уравнения</p>	2		1	20	23	5.1.5-5.1.6, 5.1.11, 5.1.14, 5.2.6	

<p>Пуассона и методы их решения. Фундаментальное решение и формулы Грина. Теорема о среднем значении. Принцип максимального значения. Уравнение Пуассона в пространстве. Построение решений уравнения Пуассона в пространстве. Решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона в шаре. Метод разделения переменных для решения задачи Дирихле для уравнения Лапласа в круге.</p> <p>Задача Коши и начально-краевые задачи для уравнения теплопроводности и методы их решения. Принцип максимума. теорема единственности для отрезка и бесконечной прямой. Метод разделения переменных. Функции источника. Неоднородное уравнение теплопроводности.</p> <p>Псевдодифференциальные операторы. Определение и основные свойства.</p> <p>Нелинейные гиперболические уравнения. Основные свойства. Теорема существования решения в ограниченной области. Теорема единственности решения в ограниченной области.</p> <p>Монотонные нелинейные эллиптические уравнения. Основные свойства.</p> <p>Монотонные нелинейные параболические уравнения. Основные свойства.</p>									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Тема 1. Обыкновенные дифференциальные уравнения и оптимальное управление

1. Автономные системы уравнений. Положения равновесия. Предельные циклы.
2. Задачи оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина, приложение к задачам быстрогодействия для линейных систем.
3. Задача Штурма–Лиувилля для уравнения второго порядка. Свойства собственных функций.

Тема 2. Уравнения с частными производными

1. Линейные и квазилинейные уравнения с частными производными первого порядка. Характеристики. Задача Коши. Теория Гамильтона–Якоби.
2. Пространства Соболева W_m^p . Теоремы вложения, следы функций из W_m^p на границе области.
3. Псевдодифференциальные операторы (определение, основные свойства).

Тема 3. Математическая физика

1. Нелинейные гиперболические уравнения. Основные свойства.
2. Монотонные нелинейные эллиптические уравнения. Основные свойства.
3. Монотонные нелинейные параболические уравнения. Основные свойства.

4. Фонд оценочных средств

Оценка уровня освоения дисциплины осуществляется в виде текущего и промежуточного контроля успеваемости аспирантов университета, и на основе критериев оценки уровня освоения дисциплины.

Активность обучающегося оценивается на занятиях и на основе выполненных работ и заданий, предусмотренных ФОС дисциплины.

Оценивание проводится преподавателем независимо от наличия или отсутствия обучающегося (по уважительной или неуважительной причине) на занятии. Оценка носит комплексный характер и учитывает достижения обучающегося по основным компонентам образовательного процесса за текущий период.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Наименование оценочного средства*
1	Обыкновенные дифференциальные уравнения и оптимальное управление	Круглый стол, комплексное задание, ответы на вопросы
2	Уравнения с частными производными	Круглый стол, комплексное задание, ответы на вопросы
3	Математическая физика	Круглый стол, ответы на вопросы

Вопросы к экзамену

1. Теорема существования и единственности решения задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
2. Гладкость решения задачи Коши по начальным данным и параметрам, входящим в правые части системы уравнений. Продолжение решения.

3. Общая теория линейных уравнений и систем (область существования решения, фундаментальная матрица Коши, формула Лиувилля–Остроградского, метод вариации постоянных и др.).
4. Автономные системы уравнений. Положения равновесия. Предельные циклы.
5. Устойчивость по Ляпунову. Теорема Ляпунова об устойчивости положения равновесия по первому приближению.
6. Задачи оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина (без доказательства), приложение к задачам быстрогодействия для линейных систем.
7. Краевая задача для линейного уравнения или системы уравнений. Функция Грина. Представление решения краевой задачи.
8. Задача Штурма–Лиувилля для уравнения второго порядка. Свойства собственных функций.
9. Системы обыкновенных дифференциальных уравнений с комплексными аргументами. Доказательство теоремы существования и единственности аналитического решения методом мажорант.
10. Дифференциальные уравнения с разрывной правой частью. Теорема существования и единственности решения при условиях Каратеодори.
11. Линейные и квазилинейные уравнения с частными производными первого порядка. Характеристики. Задача Коши. Теория Гамильтона–Якоби.
12. Системы уравнений с частными производными типа Ковалевской. Аналитические решения. Теория Коши–Ковалевской.
13. Классификация линейных уравнений второго порядка на плоскости. Характеристики.
14. Обобщенные функции. Свертка обобщенных функций, преобразование Фурье.
15. Пространства Соболева W_m^p . Теоремы вложения, следы функций из W_m^p на границе области.
16. Обобщенные решения краевых задач для эллиптического уравнения второго порядка. Задачи на собственные функции и собственные значения.
17. Псевдодифференциальные операторы (определение, основные свойства).
18. Задача Коши и начально-краевые задачи для волнового уравнения и методы их решения. Свойства решений (характеристический конус, конечность скорости распространения волн, характер переднего и заднего фронтов волны и др.)
19. Задачи Дирихле и Неймана для уравнения Пуассона и методы их решения. Свойства решений (принцип максимума, гладкость, теоремы о среднем и др.)
20. Задача Коши и начально-краевые задачи для уравнения теплопроводности и методы их решения. Свойства решений (принцип максимума, бесконечная скорость распространения, функция источника и др.)
21. Нелинейные гиперболические уравнения. Основные свойства.
22. Монотонные нелинейные эллиптические уравнения. Основные свойства.
23. Монотонные нелинейные параболические уравнения. Основные свойства.

Критерии оценки:

К экзамену допускается аспирант, получивший оценки «зачтено» по всем заданиям промежуточной аттестации.

- оценка «отлично» выставляется аспиранту, если он дает полные правильные и конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы

экзаменатора, показывает глубокие, исчерпывающие знания программного материала, понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины.

- оценка **«хорошо»** выставляется аспиранту, если он дает последовательные, правильные и конкретные ответы на поставленные вопросы и свободно устраняет замечания по отдельным вопросам, показывает твердые и достаточно полные знания всего программного материала, правильное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений.

- оценка **«удовлетворительно»** выставляется аспиранту, если он дает правильные и конкретные ответы на поставленные вопросы без грубых ошибок и устраняет неточности и ошибки в освещении отдельных положений при наводящих вопросах экзаменатора, показывает твердое понимание основных вопросов программы дисциплины.

- оценка **«неудовлетворительно»** выставляется аспиранту, если он дает неправильный ответ хотя бы на один из основных вопросов билета, допущены грубые ошибки в ответе, имеют место непонимание сущности излагаемых вопросов, неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.

Типовые оценочные материалы

Раздел (тема) дисциплины Обыкновенные дифференциальные уравнения и оптимальное управление

Перечень дискуссионных тем для круглого стола (дискуссии, полемики, диспута, дебатов)

1. Методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений
2. Системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений.
3. Линейные обыкновенные дифференциальные уравнения n-го порядка.
4. Автономные системы уравнений.

Комплексное задание (пример):

1. При каких начальных условиях существует единственное решение системы

$$\frac{dx}{dt} = y^2 + \sqrt[3]{t}, \quad \frac{dy}{dt} = \sqrt[3]{x} ?$$

2. При каких a существует функция Грина краевой задачи

$$y'' + ay = f(x), \quad y(0) = 0, \quad y(1) = 0 ?$$

3. С помощью теоремы Ляпунова об устойчивости по первому приближению исследовать на устойчивость нулевое решение системы

$$\begin{aligned} \dot{x} &= e^{x+2y} - \cos 3x, \\ \dot{y} &= \sqrt{4+8x} - 2e^y. \end{aligned}$$

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если была проявлена дискуссионная активность в рамках круглого стола и задания выполнены без ошибок, либо допущены незначительные ошибки, исправленные под руководством преподавателя;

- оценка «не зачтено» - отсутствовала дискуссионная активность в рамках круглого стола и/или задания выполнены с ошибками.

Раздел (тема) дисциплины Уравнения с частными производными

Перечень дискуссионных тем для круглого стола (дискуссии, полемики, диспута, дебатов)

1. Системы уравнений с частными производными типа Ковалевской.
2. Обобщенные решения краевых задач для эллиптического уравнения второго порядка. Преобразование Фурье.

Комплексное задание (пример):

1. Найти поверхность, удовлетворяющую уравнению

$$y^2 \frac{\partial z}{\partial x} + xy \frac{\partial z}{\partial y} = x$$

и проходящую через линию

$$x = 0, \quad z = y^2.$$

2. В пространстве обобщенных функций, заданных на \mathbb{R}^2 , вычислить свертку

$$\theta(at - |x|) * [\theta(t)\delta'(x)].$$

3. Вычислить преобразование Фурье обобщенной функции

$$x^k \delta, \quad k = 1, 2, \dots$$

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если была проявлена дискуссионная активность в рамках круглого стола и задания выполнены без ошибок, либо допущены незначительные ошибки, исправленные под руководством преподавателя;

- оценка «не зачтено» - отсутствовала дискуссионная активность в рамках круглого стола и/или задания выполнены с ошибками.

Раздел (тема) дисциплины Математическая физика

Перечень дискуссионных тем для круглого стола (дискуссии, полемики, диспута, дебатов)

1. Задача Коши и начально-краевые задачи для волнового уравнения и методы их решения.
2. Задачи Дирихле и Неймана для уравнения Пуассона и методы их решения.
3. Задача Коши и начально-краевые задачи для уравнения теплопроводности и методы их решения.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если была проявлена дискуссионная активность в рамках круглого стола;
- оценка «не зачтено» - отсутствовала дискуссионная активность в рамках круглого стола.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Основная литература

1. Федорюк М. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебники / М. В. Федорюк – Москва: Лань, 2003 – 448 с.
2. Эльсгольц Л. Э. Дифференциальные уравнения [Электронный ресурс]: учебник / Л.Э. Эльсгольц – Москва: URSS, 2013 – 309 с.
http://www.library.ugatu.ac.ru/pdf/teach/Elsgolts_Dif_ur_2013_ster.pdf
3. Гюнтер Н. М. Курс вариационного исчисления [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н. М. Гюнтер. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022 – 320 с.
<https://e.lanbook.com/book/210236>
4. Филиппов А. Ф. Сборник задач по дифференциальным уравнениям [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Ф. Филиппов. – Изд. 5-е. – Москва: URSS, 2013 – 235 с.
http://www.library.ugatu.ac.ru/pdf/teach/Filippov_Sb_zadach_po_dif_ur_2013_5izd.pdf
5. Владимиров В. С. Уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учебник / В. С. Владимиров, В. В. Жаринов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2000 – 400 с.
<https://e.lanbook.com/book/2363>
6. Сборник задач по уравнениям математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. С. Владимиров, В. П. Михайлов, Т. В. Михайлова, М. И. Шабунин. – 4-е, изд. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2016 – 520 с. <https://e.lanbook.com/book/104995>
7. Олейник О. А. Лекции об уравнениях с частными производными [Электронный ресурс]: учебное пособие / О. А. Олейник. – 6-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020 – 260 с.
<https://e.lanbook.com/book/126098>
8. Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж.-Л. Лионс ; Пер. с фр. Л.Р.Волевича; Под ред. О.А.Олейника. – Москва: Мир, 1972 – 581с.
9. Михайлов В.П. Дифференциальные уравнения в частных производных: учебное пособие / В.П. Михайлов. – Москва: Наука, 1976 – 391с.
10. Обыкновенные дифференциальные уравнения: учебник / Л. С. Понтрягин. – Изд. 5-е. – Москва: Наука, 1982 – 331 с.
11. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики: учебное пособие / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский ; ред. В. А. Григорова, И. Г. Вирко. – Изд. 4-е, испр. – Москва: Наука, 1972 – 735 с.
12. Трикоми Ф. Дифференциальные уравнения / Ф. Трикоми; Пер. с англ. А.Д.Мышкиса. – Москва: Иностр. лит-ра, 1962 – 351с.

13. Петровский И.Г. Лекции об уравнениях с частными производными [Электронный ресурс]: учебник / И.Г. Петровский. – Москва: Физматлит, 2009 – 400 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59551
14. Ладыженская О.А. Краевые задачи математической физики: учебное пособие / О.А. Ладыженская. – Москва: Наука, 1973 – 407с.

5.2 Дополнительная литература

1. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения [Электронный ресурс]: учебник / В. И. Арнольд. – Москва: МЦНМО, 2012 – 341 с. <https://e.lanbook.com/book/56392>
2. Тихонов А.Н. Дифференциальные уравнения [Электронный ресурс]: учебник / А. Н. Тихонов, А. Б. Васильева, А. Г. Свешников. – Москва: Физматлит, 2002 – 253 с. http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48171
3. Жабко А. П. Дифференциальные уравнения и устойчивость [Электронный ресурс]: учебник / А. П. Жабко, Е. Д. Котина, О. Н. Чижова. – Санкт-Петербург: Лань, 2022 – 320 с. <https://e.lanbook.com/book/211928>
4. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – 4-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2022 – 512 с. <https://e.lanbook.com/book/212129>
5. Пантелеев А. В. Теория управления в примерах и задачах: учебное пособие / А. В. Пантелеев, А. С. Борताковский – Москва: Высш. шк., 2003 – 583 с.
6. Мартинсон Л. К. Дифференциальные уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учебник: в 21 выпуск / Л. К. Мартинсон, Ю. И. Малов. – 4-е изд., стер. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007 – Выпуск 12: Дифференциальные уравнения математической физики — 2011. – 367 с. <https://e.lanbook.com/book/106547>
7. Шубин М.А. Псевдодифференциальные операторы и спектральная теория / М. А. Шубин. – Москва: Наука, 1978 – 279 с.

5.3. Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)

На сайте библиотеки <http://library.ugatu.ac.ru/> в разделе «Информационные ресурсы», подраздел «Доступ к БД» размещены ссылки на интернет-ресурсы.

6. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

При инклюзивном обучении лиц с ОЗВ предоставляется возможность использовать следующие материально-технические средства:

- для аспирантов с ОВЗ по зрению предусматривается применение средств преобразования визуальной информации в аудио и тактильные сигналы, таких как, брайлевская компьютерная техника, электронные лупы, видеувеличители, программы не визуального доступа к информации, программы-синтезаторов речи;

- для аспирантов с ОВЗ по слуху предусматривается применение сурдотехнических средств, таких как, системы беспроводной передачи звука, техники для усиления звука, видеотехника, мультимедийная техника и другие средства передачи информации в доступных формах;

для аспирантов с нарушениями опорно-двигательной функции предусматривается применение специальной компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением, в том числе, специальные возможности операционных систем, таких, как экранная клавиатура и альтернативные устройства ввода информации.