МИНОБРНАУКИ РОССИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**
**«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(ФГБОУ ВО «ВГУ»)**

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой

теории функций и геометрии

Семенов Е.М./

23.03.2025 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## Б1.В.05 Волновое уравнение на графе

**1. Код и наименование специальности:**

01.05.01 Фундаментальные математика и механика.

**2. Специализация:** Современные методы теории функций в математике и механике.

**3. Квалификация выпускника:** Математик. Механик. Преподаватель.

**4. Форма обучения:** очная.

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра теории функций и геометрии.

**6. Составитель программы:**
Прядиев В. Л. – доцент, кандидат физ.-мат. наук.

**7. Рекомендована:** Научно-методическим Советом математического факультета протокол № 0500-03 от 18.03.2025 г.

**8. Учебный год:** 2026/2027. **Семестр:** 5.

**9.Цели и задачи учебной дисциплины:**

*Цели изучения учебной дисциплины:*

- ознакомление студентов с задачами естествознания, которые моделируются дифференциальным уравнениям на графах;
- освоение студентами дополнительных, углублённых знаний в теории дифференциальных уравнений с частными производными;
- ознакомление студентов с элементами теории графов;
- дальнейшее формирование у студентов понимания взаимосвязей между различными разделами математики, а также понимания роли математики, как инструмента исследования насущных задач естествознания.

*Задачи дисциплины:*

- овладение студентами техникой моделирования некоторых задач естествознания, приводящих к дифференциальным уравнениям на графах;
- овладение студентами основными понятиями теории дифференциальных уравнений на графах;
- освоение студентами основных подходов и методов исследования в теории линейных обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка на графах;
- освоение студентами основных подходов и методов исследования в теории волнового уравнения на графах;
- ознакомление студентов с историей теории дифференциальных уравнений на графах.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:**

Дисциплина «Волновое уравнение на графе» является дисциплиной части ОПОП, по специальности 01.05.01 Фундаментальные математика и механика, формируемой участниками образовательных отношений.

Курс базируется на знаниях, полученных в рамках таких дисциплин, как дифференциальные уравнения и уравнения с частными производными.

Приобретенные в результате обучения знания, умения и навыки является основой для проведения научных исследований в области дифференциальных уравнений на графах, в том числе при работе над курсовыми работами и дипломными проектами.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

| Код | Название компетенции | Код(ы) | Индикатор(ы) | Планируемые результаты обучения |
|---|---|---|---|---|
| ПК-1. | Способен выявлять, применять, разрабатывать и целенаправленно использовать методы теории функций в задачах математики и механики | ПК-1.1. | Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий | Знать:<br>базовые понятия в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий.<br>Уметь:<br>- собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты исследований в области теории функций<br>Владеть навыками:<br>- практического проведения |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | научно-исследовательской деятельности в математике, механике и информатике. |
| ПК-2. | Способен проводить исследования по обработке и анализу научной информации и результатов исследований методами теории функций. | ПК-2.1. | Знает современные методы разработки и реализации моделей, используя теорию функций | Знать:<br>современные методы разработки и реализации моделей, используя теорию функций |
| | | ПК-2.2 | Умеет разрабатывать математические модели в области естествознания, экономики и управления, а также реализовывать алгоритмы математических моделей на базе пакетов прикладных программ моделирования | Уметь:<br>разрабатывать математические модели в области естествознания, экономики и управления, а также реализовывать алгоритмы математических моделей на базе пакетов прикладных программ моделирования.<br>Владеть навыками:<br>-проведения научно-исследовательской деятельности в области решения задач аналитического характера.. |
| ПК-3 | Способен к построению моделей и оптимальному решению теоретических и прикладных задач математики и механики на основе методов теории функций и геометрии | ПК-3.1 | Знает современные методы разработки и реализации математических моделей | Знать;<br>современные методы разработки и реализации математических моделей.<br>Уметь:<br>- строить модели и оптимальные решения теоретических и прикладных задач математики и механики на основе методов теории функций и геометрии.<br>Владеть навыками:<br>- построения моделей прикладных процессов;<br>- навыками применения современных инструментальных средств к решению прикладных задач. |

**12. Объём дисциплины в зачетных единицах/час. —** 4/144.

**Форма промежуточной аттестации**: зачёт с оценкой.

**13. Трудоемкость по видам учебной работы.**

| Вид учебной работы | Трудоёмкость | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Всего | По семестрам | | |
| | | 5 семестр | | |
| Аудиторные занятия | 50 | 50 | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| в том числе: | лекции | 16 | 16 | | |
| | практические | 34 | 34 | | |
| | лабораторные | - | - | | |
| Самостоятельная работа | | 94 | 94 | | |
| в том числе: курсовая работа (проект) | | _ | _ | | |
| Форма промежуточной аттестации - зачет с оценкой | | | | | |
| Итого: | | 144 | 144 | | |

## 13.1. Содержание дисциплины.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Содержание раздела дисциплины | Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК* |
|---|---|---|---|
| **1. Лекции** | | | |
| 1.1 | Элементы теории графов. | Граф, геометрический граф; вершина и ребро геометрического графа; степень вершины, цикломатическое число графа. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.2 | Дифференциальные уравнения на графах как модели задач естествознания. | Задача о деформации упругой сетки; задача о деформации стержневой решётки; задача о колебаниях в электрической сети; задача о распространении тепла в стержневой решётке. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.3 | Пространства функций, определённых на геометрических графах. | Нормированные пространства функций, непрерывных на геометрических графах, и функций, непрерывно дифференцируемых на геометрических графах. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.4. | Краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | Линейное обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка на геометрическом графе; множество граничных вершин геометрического графа; краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе; критерий однозначной разрешимости краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.5 | Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе. | Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе; суперпозиция стоячих волн для волнового уравнения на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.6 | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе; собственные значения и собственные функции для волнового уравнения на геометрическом графе; дифференцируемость рядов Фурье по собственным функциям волнового уравнения на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.7 | Метод граничных режимов для волнового уравнения на геометрическом графе. | распространение граничных режимов для волнового уравнения на отрезке; уравнение для набора решений волнового уравнения в вершинах геометрического графа. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 1.8 | Возникновение и развитие теории диффе- | Первые работы по дифференциальным уравнениям на графе в отечественных и зарубежных | https://edu.vsu.ru/cours |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ренциальных уравнений на графах и ветвящихся пространствах. | математических школах. Формирование подходов, создание методов и развитие теории дифференциальных уравнений на ветвящихся пространствах в научных школах Воронежа, Ленинграда, во Франции, Германии, Италии с середины 90-х годов XX века. | e/view.php?id=19891 |
| **2. Практические занятия** | | | |
| 2.1 | Элементы теории графов. | Граф, геометрический граф; вершина и ребро геометрического графа; степень вершины, цикломатическое число графа. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 2.2 | Краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | Линейное обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка на геометрическом графе; множество граничных вершин геометрического графа; краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе; критерий однозначной разрешимости краевой задачи для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 2.3 | Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе. | Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе; суперпозиция стоячих волн для волнового уравнения на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 2.4 | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе; собственные значения и собственные функции для волнового уравнения на геометрическом графе; дифференцируемость рядов Фурье по собственным функциям волнового уравнения на геометрическом графе. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |
| 2.5 | Метод граничных режимов для волнового уравнения на геометрическом графе. | распространение граничных режимов для волнового уравнения на отрезке; уравнение для набора решений волнового уравнения в вершинах геометрического графа. | https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891 |

## 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий.

| № п/п | Наименование раздела дисциплины | Виды занятий (часов) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Лекции | Практические | Лабораторные | Самостоятельная работа | Всего |
| 01 | Элементы теории графов | 1 | 2 | - | 8 | 11 |
| 02 | Дифференциальные уравнения на графах как модели задач естествознания. | 2 | - | - | 8 | 10 |
| 03 | Пространства функций, определённых на геометрических графах. | 1 | - | - | 8 | 9 |
| 04 | Краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | 2 | 8 | - | 20 | 30 |
| 05 | Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе. | 2 | 8 | - | 8 | 18 |
| 06 | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференци- | 4 | 8 | - | 12 | 24 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | | | | | |
| 07 | Метод граничных режимов для волнового уравнения на геометрическом графе. | 2 | 8 | - | 20 | 30 |
| 08 | Возникновение и развитие теории дифференциальных уравнений на графах и ветвящихся пространствах. | 2 | - | - | 10 | 12 |
| Итого | | 16 | 34 | - | 94 | 144 |

**14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

В процессе преподавания дисциплины используются такие виды учебной работы, как лекции, практические занятия, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся. На лекциях излагаются ключевые и проблемные вопросы дисциплины. Проведение практических занятий направлено на закрепление теоретических знаний, умение применять их при решении практических задач. Для успешного и качественного освоения дисциплины необходима планомерная, повседневная самостоятельная работа.

При изучении курса «Волновое уравнение на графе» обучающимся следует внимательно слушать и конспектировать материал, излагаемый на аудиторных занятиях. Обращать внимание на определения, формулировки утверждений, научные выводы и практические рекомендации. Для понимания и качественного усвоения учебного материала рекомендуется следующая последовательность действий.

1. После каждой лекции рекомендуется подробно разобрать теоретический материал, выучить все определения, разобрать примеры, рассмотренные на лекции. Перед следующей лекцией обязательно повторить материал предыдущей.

2. Важной составной частью освоения дисциплины являются практические занятия, которые требуют помимо знаний теоретического материала еще и навыков решения практических задач, что помогает глубже усвоить учебный материал, приобрести практические навыки и навыки творческой работы над учебной и научной литературой.

При подготовке к практическим занятиям следует повторить основные понятия по темам, рассмотреть примеры. Решая задачи, предварительно понять какой теоретический материал нужно использовать. Наметить план решения, попробовать на его основе решить практические задачи.

На практическом занятии каждый его участник должен быть готовым к ответам на все теоретические вопросы рассматриваемой темы. На последнем практическом занятии проводится зачет.

3. С целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций следует задавать преподавателю уточняющие вопросы.

4. Работа с основной и дополнительной литературой по дисциплине в библиотеке или в системе «Электронный университет».

5. Рекомендуется ознакомиться с настоящей Рабочей программой дисциплины.

При подготовке к лекционным и практическим занятиям, обучающимся важно помнить, что их задача, отвечая на основные вопросы плана занятия и дополнительные вопросы преподавателя, показать свои знания и кругозор, умение логически построить ответ, владение математическим аппаратом и иные коммуникативные навыки, умение отстаивать свою профессиональную позицию.

Освоение дисциплины предполагает не только обязательное посещение аудиторных занятий (лекций и практических занятий) и активную работу на них, но и регулярную самостоятельную учебную деятельность в течении семестра: изучение, рекомендуемой литературы, самостоятельное освоение понятийного аппарата, подготовку к практическим занятиям, выполнение индивидуальных заданий, подготовку к зачету.

Все выполняемые студентами самостоятельно задания подлежат последующей проверке преподавателем. Результаты текущих аттестаций учитываются преподавателем при проведении промежуточной аттестации.

Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

**а) основная литература:**

| № п/п | Источник |
|---|---|
| 1 | *Покорный Ю. В. и др.Дифференциальные уравнения на геометрических графах/ Покорный Ю. В., Пенкин О. М., Прядиев В. Л., Боровских А. В., Лазарев К. П., Шабров С. А. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 268 с.* |
| 2 | *Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1982. - 332 с.* |
| 3 | *Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1980, 336 с.* |

**б) дополнительная литература:**

| № п/п | Источник |
|---|---|
| 4 | *Красносельский М.А., Лифшиц Е.А., Соболев А.В. Позитивные линейные системы: метод положительных операторов. М.: Наука, 1985. - 255 с.* |
| 5 | *Левитан Б.М. Разложение по собственным функциям дифференциальных уравнений второго порядка. М.-Л.: Гостехиздат, 1950.* |
| 6 | *Покорный Ю. В., Прядиев В. Л. Некоторые вопросы качественной теории Штурма-Лиувилля на пространственной сети// Успехи матем. наук. - 2004. - Т. 59, вып. 3 (357). – С. 115-150* |
| 7 | *Покорный Ю. В., Прядиев В. Л., Боровских А. В. Волновое уравнение на пространственной сети// Докл. РАН. – 2003. – Т. 388, № 1. – С. 16-18* |
| 8 | *Покорный Ю. В., Покорная И. Ю., Прядиев В. Л., Рябцева Н. Н. Некоторые вариационные неравенства на пространственных сетях// Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. "Физика. Математика". – 2004. - № 2. – С. 179-183* |
| 9 | *Глотов Н. В., Прядиев В. Л. Описание решений волнового уравнения на конечном и ограниченном геометрическом графе при условиях трансмиссии типа "жидкого трения"// Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. "Физика. Математика". – 2006. - № 2. – С. 185-193* |
| 10 | *О. В. Коровина, В. Л. Прядиев Структура решения смешанной задачи для волнового уравнения на компактном геометрическом графе в случае ненулевой начальной скорости// Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика, **9**:3 (2009), 37–46* |

**в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**:

| № п/п | Источник |
|---|---|
| 11 | ***http://www.math.vsu.ru*** *– официальный сайт математического факультета ВГУ* |
| 12 | ***http://www.math.msu.ru*** *– официальный сайт мехмата МГУ* |
| 13 | *http://www.mathnet.ru/rus/person9127* |
| 14 | *http://www.mathnet.ru/rus/person18392* |
| 15 | *http://www.mathnet.ru/rus/person14452* |

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

| № п/п | Источник |
|---|---|
| 1 | *Покорный Ю. В. и др.Дифференциальные уравнения на геометрических графах/ Покорный Ю. В., Пенкин О. М., Прядиев В. Л., Боровских А. В., Лазарев К. П., Шабров С. А. - М: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 268 с.* |
| 2 | *Оре О. Теория графов. М.: Наука, 1980, 336 с.* |

| | |
|---|---|
| 3 | *Красносельский М.А., Лифшиц Е.А., Соболев А.В. Позитивные линейные системы: метод положительных операторов. М.: Наука, 1985. - 255 с.* |
| 4 | *Левитан Б.М. Разложение по собственным функциям дифференциальных уравнений второго порядка. М.-Л.: Гостехиздат, 1950.* |
| 5 | *Прядиев В. Л. Программа по спецкурсу "Осцилляционная теория дифференциальных уравнений на графах". – Воронеж: Изд-во Воронежского госуниверситета, 1997. – 4 с.* |

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

При реализации дисциплины используются следующие образовательные технологии: логическое построение содержания, установление межпредметных связей, обозначение теоретического и практического компонентов в учебном материале, включение элементов дистанционных образовательных технологий.

Изложение учебного материала основано на принципе системности, преемственности и последовательности и направлено на развитие интеллектуальных умений, профессиональных компетенций, формирование творческой личности высококвалифицированного специалиста, способного к саморазвитию, самообразованию, инновационной деятельности. Важнейшая цель преподавателя – систематизация большого объема теоретического материала и обучение студента умению ориентироваться в этом материале.

Рекомендуется использование, как традиционных форм организации лекционного материала, так и внедрение таких интерактивных технологий, как проблемная лекция, когда знания вводятся как «неизвестное», которое необходимо «открыть».

Дисциплина может реализовываться с применением дистанционных образовательных технологий, например, на платформе «Электронный университет ВГУ» (https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=19891).

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Для проведения лекционных и практических занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория: специализированная мебель.

Для самостоятельной работы обучающихся – компьютерный класс, оснащенный оргтехникой, необходимым программным обеспечением, электронными учебными пособиями, законодательно-правовой нормативной поисковой системой, имеющий выход в глобальную сеть:

Ubuntu (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://ubuntu.com/download/desktop ); Visual Studio Community (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия https://visualstudio.microsoft.com/ru/vs/community/ ); LibreOffice (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://ru.libreoffice.org/about-us/license/ ); Lazarus (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.lazarus-ide.org/index.php ); Free Pascal (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.freepascal.org/faq.html ); Python 2/3 (Python Software Foundation License (PSFL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://docs.python.org/3/license.html ); 46 Gimp (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.gimp.org/about/ ); Inkscape (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://inkscape.org/about/license/ ); MiKTeX (Free Software Foundation (FSF), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://miktex.org/copying ); TeXstudio (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://texstudio.org/ ); Maxima (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или сво-

бодное ПО, лицензия: http://maxima.sourceforge.net/faq.html ); Denwer (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: http://www.denwer.ru/faq/other.html ); 1С: Предприятие 8 (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://v8.1c.ru/predpriyatie/questions_licence.htm ); Foxit Reader (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия https://www.foxitsoftware.com/pdfreader/eula.html ); Deductor Academic (Academic Free License, бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://basegroup.ru/system/files/documentation/licence-deductor-academic-20160322.pdf ); WinDjView (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://windjview.sourceforge.io/ru/ ); 7-Zip (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.7-zip.org/license.txt ); Mozilla Firefox (Mozilla Public License (MPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.mozilla.org/en-US/MPL/ ); VMware Player (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.vmware.com/download/open_source.html ); VirtualBox (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.virtualbox.org/wiki/Licensing_FAQ ); Astra Linux Common Edition (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://dl.astralinux.ru/astra/stable/orel/ ); PostgreSQL (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.postgresql.org/about/licence/ ); GeoGebra (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.geogebra.org/license ); R (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://www.r-project.org/Licenses/ ); Wing-101 (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://wingware.com/license/wing101 ); Loginom Community Edition (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://loginom.com/platform/pricing ); MySQL (бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: https://downloads.mysql.com/docs/licenses

---

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций:**

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Компетенция(и) | Индикатор(ы) достижения компетенции | Оценочные средства |
|---|---|---|---|---|
| 01 | Элементы теории графов | ПК-1.<br>ПК-3. | ПК-1.1.<br>ПК-3.1. | Устный опрос. |
| 02 | Дифференциальные уравнения на графах как модели задач естествознания. | ПК-1.<br>ПК-3. | ПК-1.1.<br>ПК-3.1 | Устный опрос. |
| 03 | Пространства функций, определённых на геометрических графах. | ПК-1.,<br>ПК-2.<br>ПК-3. | ПК-1.1.<br>ПК-2.1.<br>ПК-3.1. | Устный опрос. |
| 04 | Краевая задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | ПК-1.<br>ПК-2.<br>ПК-3. | ПК-1.1,<br>ПК-2.1.<br>ПК-3.1. | Устный опрос. |
| 05 | Метод разделения переменных | ПК-1. | ПК-1.1, | Устный опрос. |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Компетенция(и) | Индикатор(ы) достижения компетенции | Оценочные средства |
|---|---|---|---|---|
| | для волнового уравнения на геометрическом графе. | ПК-2. ПК-3. | ПК-2.1. ПК-3.1. | |
| 06 | Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе. | ПК-1. ПК-2. ПК-3. | ПК-1.1, ПК-2.1 .ПК-3.1. | Устный опрос. |
| 07 | Метод граничных режимов для волнового уравнения на геометрическом графе. | ПК-1. ПК-2. ПК-3. | ПК-1.1, ПК-2.1. ПК-2.2., ПК-3.1. | Устный опрос. |
| 08 | Возникновение и развитие теории дифференциальных уравнений на графах и ветвящихся пространствах. | ПК-3. | ПК-3.1. | Устный опрос. |
| Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой | | | | Контрольная работа. |

## 20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

**Примерный перечень вопросов к практическим занятиям**

.

1. История возникновения теории дифференциальных уравнений на графах.
2. Основные понятия и обозначения дифференциальных уравнений на графах.
3. Математическая модель малой деформации упругой сетки из струн.
4. Аналог теоремы Штурма о перемежаемости нулей.
5. Аналог теоремы Штурма о сравнении: неприменимость классических схем доказательств.
6. Свойства дифференциальных неравенств на графах.
7. Доказательство аналога теоремы Штурма о сравнении.
8. Приложение теорем Штурма к исследованию спектральной задачи.
9. Неосциллирующие дифференциальные уравнения 2-го порядка и невырожденные краевые задачи на графах.
10. Достаточное условие неосцилляции дифференциального уравнения 2-го порядка на графе.
11. Функция Грина краевой задачи 2-го порядка на графе и ее свойства.
12. u_0-положительность интегрального оператора, обращающего краевую задачу на графе.
13. Приложение u_0-положительности обращающего оператора к исследованию спектральной задачи.

14. Геометрическая кратность собственных значений на графе-пучке.
15. Геометрическая кратность собственных значений на произвольном графе.
16. Метод разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе.
17. Спектральная задача для линейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на геометрическом графе.
18. Правило параллелограмма для волнового уравнения на графе.
19. Численное решение начально-краевой задачи для волнового уравнения на графе, основанное на правиле параллелограмма.
19. Метод граничных режимов для волнового уравнения на геометрическом графе.

**Примерный перечень практических заданий.**

1. Существует ли нетривиальное решение уравнения $-u''+e^{|x|}u=0$ ($x\in\Gamma$), где $\Gamma$ – геометрический связный граф, удовлетворяющее условию $u\big|_{\partial\Gamma}=0$? Ответ обоснуйте.

2. Верно ли, что ни одно из решений уравнения $u''-3u=0$ ($x\in\Gamma$), где $\Gamma$ – геометрический связный граф, не имеет S-зон в $\Gamma$? Ответ обоснуйте.

3. Известно, что граф $\Gamma$ имеет три ребра и одну внутреннюю вершину, а также, что при $\lambda=1$ $\Gamma$ является S-зоной некоторого решения уравнения $u''+\lambda u=0$ ($x\in\Gamma$). Какое наибольшее количество нулей в $\Gamma$ может иметь нетривиальное решение этого уравнения при $\lambda=\frac{1}{2}$? Ответ обоснуйте.

4. Пусть $\Gamma$ – граф с граничными вершинами $b_1$, $b_2$, $b_3$ и внутренней вершиной $a$, причём $|b_i-a|=1$ ($i$=1, 2, 3). Найдите решение уравнения $u''=0$ ($x\in\Gamma$), удовлетворяющее условиям $u(b_1)=0=u(b_2)$, $u'(b_1)=1$, если $\alpha_i(a)=1$ ($i$=1, 2, 3) ($i$ – индекс ребра $(b_i;a)$).

5. Пусть $\Gamma$ – граф, $\gamma_i=(b_i;a)$ ($i$=1, 2, 3) – его рёбра длины $\frac{\pi}{2}$. Найдите решение $w$ уравнения $u''+u=0$ ($x\in\Gamma$), удовлетворяющее условиям $u(b_1)=0=u(b_2)$, $u'(b_1)=1$. Имеет ли $w$ S-зоны? Будут ли иметь S-зоны в $\Gamma$ решения данного уравнения, неколлинеарные с $w$? Ответы обоснуйте.

6. Пусть $\Gamma$ – граф, $\gamma_i=(b_i;a)$ ($i$=1, 2, 3) – его рёбра длины 1. Будут ли иметь S-зоны в $\Gamma$ решения уравнения $-u''+u=0$ ($x\in\Gamma$)? Ответ обоснуйте.

7. Пусть $\Gamma$ – граф, $\gamma_i=(b_i;a)$ ($i$=1, 2, 3) – его рёбра длины $\frac{\pi}{4}$. Найдите решение уравнения $u''+4u=0$ ($x\in\Gamma$), удовлетворяющее условиям $u(b_1)=0=u(b_2)$, $u'(b_1)=1$. Будет ли иметь

S-зоны в $\Gamma$ решение уравнения $u''+5u=0$ ($x\in\Gamma$), удовлетворяющее тем же условиям в точках $b_1$ и $b_2$?

8. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, найдите формулу и постройте график ведущей собственной функции.

Описание технологии проведения

Текущий контроль представляет собой проверку усвоения учебного материала теоретического и практического характера, регулярно осуществляемую на занятиях.

Текущий контроль предназначен для проверки хода и качества формирования компетенций, стимулирования учебной работы обучающихся и совершенствования методики освоения новых знаний. Он обеспечивается проведением опросов по теоретическому материалу, выполнением практических заданий.

При текущем контроле уровень освоения учебной дисциплины и степень сформированности компетенции определяются оценками «зачтено» и «незачтено». Систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний обучающихся.

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания)

При проведении текущего контроля успеваемости используются следующие **показатели:**

1) знание основных понятий и определений;
2) умение использовать стандартные методы для решения типовых задач;
3) оптимальность хода решения;
4) логика изложения, рассуждений;
5) правильность выполнения расчетов;

**Критерии оценки компетенций (результатов обучения) при текущей аттестации:**

Зачтено: выполнение практических заданий и ответы в ходе опроса соответствуют перечисленным показателям, обучающийся дает ответы на дополнительные вопросы, может быть не совсем полные. Демонстрирует умение решать задачи, возможно с некоторыми ошибками.

Незачтено: в ходе опроса ответы обучающегося не соответствуют ни одному из перечисленных показателей. Обучающийся демонстрирует фрагментарные знания и умения или их отсутствие.

**20.2 Промежуточная аттестация**

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования. Предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины и проводится в форме зачета с оценкой.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

**Перечень заданий для контрольной работы.**

1. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, найдите формулу и постройте график ведущей собственной функции.
2. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 2 и 2, найдите формулу и постройте график ведущей собственной функции.
3. В спектральной задаче типа Неймана для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, найдите формулу и постройте график первой (после ведущей) собственной функции.
4. В спектральной задаче типа Неймана для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 2 и 2, найдите формулу и постройте график первой (после ведущей) собственной функции.
5. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, найдите формулу и постройте график первой (после ведущей) собственной функции.
6. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 2 и 2, найдите формулу и постройте график первой (после ведущей) собственной функции.

7. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, опишите множество всех собственных значений.

8. В спектральной задаче типа Дирихле для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 2 и 2, опишите множество всех собственных значений.

9. В спектральной задаче типа Неймана для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 1 и 2, опишите множество всех собственных значений.

10. В спектральной задаче типа Неймана для уравнения $u''+\lambda u=0$ на графе-звезде с тремя рёбрами, длины которых 1, 2 и 2, опишите множество всех собственных значений.

Описание технологии проведения

Промежуточная аттестация по дисциплине преследует цель оценить работу обучающихся за курс, полученные обучающимися знания, умения и уровень приобретенных компетенций, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их при решении практических задач.

Зачет проводится на последнем практическом занятии. Итоговая оценка выставляется по результатам работы обучающихся в семестре и выполнения итоговой контрольной работы. Контрольная работа содержит пять заданий. Каждое правильно решенное задание оценивается одним баллом.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Требования к выполнению заданий (шкалы и критерии оценивания)

При проведении промежуточной аттестации в форме зачета с оценкой используются следующие **показатели:**

1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом теории дифференциальных уравнений на графе;
2) умение связывать теорию с практикой;
3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
4) умение применять формулы, решать задачи;

.

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

| Критерии оценивания | Уровень сформированности компетенций | Шкала оценок |
|---|---|---|
| В ходе работы в семестре:<br>Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом теории дифференциальных уравнений на графе, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области теории дифференциальных уравнений на графе.<br>Все задания контрольной работы решены верно. | Повышенный уровень | Отлично (зачет) |
| В ходе работы в семестре:<br>Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен решать задачи., допускает незначительные ошибки при ответе.<br>Четыре из пяти заданий контрольной работы решены верно | Базовый уровень | Хорошо (зачет) |

| | | |
|---|---|---|
| В ходе работы в семестре:<br>Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен отвечать на вопросы. Решает не все задачи.<br>Три задания в контрольной работе решены верно | Пороговый уровень | Удовлетво-рительно (зачет) |
| В ходе работы в семестре:<br>Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки, плохо решает задачи. Мене трех верных ответов в контрольной работе | . | незачет |

. **20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ**

**Тест 1.**

Какая из следующих систем уравнений определяет волновое уравнение на геометрическом графе?

1) $\begin{cases} (u_i)_{xx}(x,t) = (u_i)_{tt}(x,t),\ 0 \le x \le 1,\ t \ge 0,\ i = 1,\ 2,\ 3 \\ \sum_{i=1}^{3} (u_i)_x(0,t) = 0 \end{cases}$;

2) $\begin{cases} (u_i)_{xx}(x,t) = (u_i)_t(x,t),\ 0 \le x \le 1,\ t \ge 0,\ i = 1,\ 2,\ 3 \\ \sum_{i=1}^{3} (u_i)_x(0,t) = 0 \end{cases}$;

3) $\begin{cases} (u_i)_x(x,t) = (u_i)_{tt}(x,t),\ 0 \le x \le 1,\ t \ge 0,\ i = 1,\ 2,\ 3 \\ \sum_{i=1}^{3} (u_i)_x(0,t) = 0 \end{cases}$;

4) $\begin{cases} (u_i)_{xx}(x,t) = (u_i)_t(x,t) \cdot (u_i)_x(x,t),\ 0 \le x \le 1,\ t \ge 0,\ i = 1,\ 2,\ 3 \\ \sum_{i=1}^{3} (u_i)_x(0,t) = 0 \end{cases}$.

Правильный ответ: 1.

Решение.

Одномерное волновое уравнение на отрезке (а каждое из рёбер геометрического графа есть отрезок) имеет вид $c^2 (u)_{xx}(x,t) = (u)_{tt}(x,t)$, где *c* – положительное число. Под это описание подходит только вариант 1 ответа.

**Тест 2.**

Какая спектральная задача возникает после применения метода разделения переменных для волнового уравнения

$$u_{xx}(x,t) = u_{tt}(x,t),\ x \in \Gamma,\ t \ge 0,$$

на геометрическом графе Γ при краевых условиях 1-го рода?

1) $\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x),\ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases}$;

2) $\begin{cases} -y''(x) = \lambda y^2(x), \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases}$;

3) $\begin{cases} -y''(x) = \lambda \sin\big(y(x)\big), \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases}$;

4) $\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 1 \end{cases}$.

Правильный ответ: 1.

Решение.

Краевая задача, возникающая после применения метода разделения переменных для волнового уравнения на геометрическом графе Г при краевых условиях 1-го рода должна быть линейной, однородной и 1-го рода. Задачи из вариантов ответа 2 и 3 нелинейны, а в задаче из варианта ответа 4 краевое условие неоднородно (=1, а должно быть =0). Задача из варианта ответа 1 линейна, однородна и 1-го рода. Остаётся убедиться, что именно уравнение $-y''(x) = \lambda y(x)$ возникает после применения метода разделения переменных для уравнения $(u)_{xx}(x,t) = (u)_{tt}(x,t)$. Применяя этот метод, ищем решение в виде $u(x,t) = y(x)T(t)$, что даёт $y''(x)T(t) = y(x)T''(t)$, то есть $\frac{y''(x)}{y(x)} = \frac{T''(t)}{T(t)} = const = -\lambda$, откуда и получается уравнение $-y''(x) = \lambda y(x)$. Итак, правильный вариант ответа – это вариант 1.

**Тест 3.**

Собственные значения задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе $\Gamma$

$$\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases},$$

в которой $y(x)$ – гладкая на Г функция, а $\partial\Gamma \neq \varnothing$,

а) все положительны;
б) все отрицательны;
в) могут быть любыми по знаку вещественными числами;
г) могут быть невещественными.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $\partial\Gamma \neq \varnothing$, то, по известной теореме, все собственные значения задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе Г положительны. Остаётся заметить, что положительные числа вещественны.

**Тест 4.**

Ведущее собственное значение задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases},$$

в которой $y(x)$ – гладкая на Г функция, а $\partial\Gamma \neq \varnothing$,

а) положительно;
б) отрицательно;
в) может быть любым по знаку вещественным числом;
г) может быть любым комплексным числом.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $\partial\Gamma \neq \varnothing$, то, по известной теореме, все собственные значения (в том числе ведущее) задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе Г положительны. Остаётся заметить, что положительные числа вещественны.

**Тест 5.**

Ведущее собственное значение задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases},$$

в которой $y(x)$ – гладкая на Г функция, а $\partial\Gamma \neq \varnothing$,

а) положительно;
б) отрицательно;
в) равно 0;
г) принадлежит $\mathbb{C} \setminus \mathbb{R}$, где $\mathbb{C}$ – множество всех комплексных чисел, а $\mathbb{R}$ – множество всех вещественных чисел.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $\partial\Gamma \neq \varnothing$, то, по известной теореме, все собственные значения (в том числе ведущее) задачи Штурма-Лиувилля на геометрическом графе Г положительны. Остаётся заметить, что положительные числа вещественны.

**Тест 6.**

Будет ли функция $y(x) = 1$ гладким решением следующей краевой задачи на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = 0, \ \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases}?$$

а) Да;
б) Нет;
в) Для однозначного ответа данных недостаточно.

Правильный ответ: б.

Решение.

Если $y(x) = 1$, то $y\big|_{\partial\Gamma} = 1$, а не 0. Значит, $y(x) = 1$ не является решением указанной задачи.

**Тест 7.**

Будет ли функция $y(x) = 1$ гладким решением следующей краевой задачи на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ \ x \in \Gamma \\ y\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases},$$

в которой $\lambda$ – вещественный параметр?
а) Да, при любом $\lambda \in \mathbb{R}$;
б) Нет, ни при каком $\lambda \in \mathbb{R}$;
в) Ответ зависит от значения параметра $\lambda \in \mathbb{R}$.

Правильный ответ: б.

Решение.

Если $y(x) = 1$, то $y\big|_{\partial\Gamma} = 1$, а не 0. Значит, $y(x) = 1$ не является решением указанной задачи, каково бы ни было $\lambda$.

**Тест 8.**

Будет ли функция $y(x) = 1$ гладким решением следующей краевой задачи на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = 0, \ \ x \in \Gamma \\ y'\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases}?$$

а) Да;
б) Нет;
в) Для однозначного ответа данных недостаточно: ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: а.

Решение.

$y(x) = 1$ является гладкой функцией на Г, так как любая константа есть гладкая функция на Г. Кроме того, если $y(x) = 1$, то $y' \equiv 0$, и значит, $y'\big|_{\partial\Gamma} = 0$. Поэтому $y(x) = 1$ является решением указанной задачи.

**Тест 9.**

Будет ли функция $y(x) = 1$ гладким решением следующей краевой задачи на геометрическом графе Г

$$\begin{cases} -y''(x) = \lambda y(x), \ \ x \in \Gamma \\ y'\big|_{\partial\Gamma} = 0 \end{cases},$$

в которой $\lambda$ – вещественный параметр?
а) Да, при любом $\lambda \in \mathbb{R}$;
б) Нет, ни при каком $\lambda \in \mathbb{R}$;
в) Только при $\lambda = 0$;
г) Только при $\lambda = -1$.

Правильный ответ: а.

Решение.

$y(x)=1$ является гладкой функцией на Г, так как любая константа есть гладкая функция на Г. Кроме того, если $y(x)=1$, то $y'\equiv 0$, и значит, $y'\big|_{\partial\Gamma}=0$. Поэтому $y(x)=1$ является решением указанной задачи при любом $\lambda\in$ .

**Тест 10.**

Будет ли функция $u(x,t)=1$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $u(x,t)=1$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv 0$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=1$ выполняется при любом $c>0$.

**Тест 11.**

Будет ли функция $u(x,t)=t$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $u(x,t)=t$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv 0$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=t$ выполняется при любом $c>0$.

**Тест 12.**

Будет ли функция $u(x,t)=t^2$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: в.

Решение.

Если $u(x,t)=t^2$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv 2$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=t^2$ не выполняется ни при каких $c$.

**Тест 13.**

Будет ли функция $u(x,t)=\cos t$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: в.

Решение.

Если $u(x,t)=t^2$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv -\cos t$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=t^2$ не выполняется ни при каких $c$.

**Тест 14.**

Будет ли функция $u(x,t)=tx$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $u(x,t)=tx$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv 0$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=tx$ выполняется при любом $c>0$.

**Тест 15.**

Будет ли функция $u(x,t)=x$ решением волнового уравнения

$$c^2\cdot u_{xx}(x,t)=u_{tt}(x,t),\ \ x\in\Gamma,\ \ t\geq 0,$$

на геометрическом графе Г? Параметр $c$ – положительное число.

а) Да, при любом $c>0$;

б) Да, но только при $c=1$;

в) Нет, ни при каких $c$;

г) Ответ зависит от наличия циклов у геометрического графа Г.

Правильный ответ: а.

Решение.

Если $u(x,t)=x$, то $u_{xx}\equiv 0$ и $u_{tt}\equiv 0$, и значит, данное уравнение для функции $u(x,t)=x$ выполняется при любом $c>0$.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

1) Тестовые задания.

- Задания закрытого типа – средний уровень сложности (выбор одного варианта ответа, верно/неверно):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.

- Задания закрытого типа - средний уровень сложности (множественный выбор):

- 2 балла – указаны все верные ответы;
- за каждый верный ответ ставится 1 балл, при этом за каждый неверный ответ вычитается 1 балл;
- 0 баллов — не выбрано ни одного верного ответа.

- Задания закрытого типа (на соответствие):

- 2 балла – все соответствия определены верно;
- за каждое верное сопоставление ставится количество баллов, равное максимальному (2 балла), деленному на количество предлагаемых в вопросе сопоставлений;
- 0 баллов – ни одно сопоставление не выбрано верно.

- Задания открытого типа (короткий ответ):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.