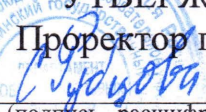


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сахалинский государственный университет»

Кафедра информатики

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
 С.Ю. Рубцова  
(подпись, расшифровка подписи)  
" 16 " 05 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

Дисциплины

*Б1.В.ДВ.11.01 Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин*

Уровень высшего образования

**БАКАЛАВРИАТ**

Направление подготовки

01.03.02 Прикладная математика и информатика

профиль

Системное программирование и компьютерные технологии

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

заочная

РПД адаптирована для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Южно-Сахалинск

2020 г.

Рабочая программа дисциплины «Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Программу составил(и):

Осипов Г.С., зав. кафедрой информатики, доктор тех. наук



---

Рабочая программа дисциплины «Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин» утверждена на заседании кафедры информатики, протокол № 8 от 16 мая 2017 г.

Рабочая программа дисциплины «Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин» утверждена на заседании кафедры информатики, протокол № 10 от 12 мая 2020 г.

Заведующий кафедрой

Г.С. Осипов



---

Рецензент:

А.В. Лоскутов, 

ведущий научный сотрудник лаборатории цунами Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, к.ф.-м.н.

## 1. Цель и задачи дисциплины

### Цель дисциплины

Целью освоения дисциплины «Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин» является привить опыт и умение разрабатывать отдельные программы и их блоки, выполнять отладку и настройку программ для обработки измерительной информации, включая задачи контроля результатов измерения, для решения прикладных задач геомеханики.

### Задачи дисциплины

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- Привить навыки разработки отдельных программ и их блоков, выполнять отладку и настройку программ для обработки измерительной информации, включая задачи контроля результатов измерения, для решения прикладных задач геомеханики;
- Выработать умение выполнять построение математических моделей объектов исследования, их анализа и оптимизации, выбор численного метода моделирования, выбор готового или разработка нового алгоритма решения задачи.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин» относится к вариативной части Блока 1 Дисциплины (модули) (Б1.В.ДВ.11.01) подготовки студентов по направлению подготовки бакалавров 01.03.02 «Прикладная математика и информатика».

### Пререквизиты дисциплины:

Для освоения данной дисциплины студент должен владеть основными понятиями дисциплин математического и естественнонаучного цикла: Математический анализ, Алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Объектно-ориентированное программирование, Численные методы, Методы оптимизации, Дискретная математика, Физика, Компьютерное моделирование.

### Постреквизиты дисциплины:

Основные положения данной дисциплины требуются при прохождении учебной, производственной и преддипломной практик, в научно-исследовательской работе.

## 3. Формируемые компетенции и индикаторы их достижения по дисциплине

Коды компетенции	Содержание компетенций	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-1	способностью собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	ПК-1.1. Знать, как собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям ПК-1.2. Уметь собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям ПК-1.3. Иметь навыки сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям
ПК-2	способностью понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат	ПК-2.1. Знать основные понятия, теории современного математического аппарата. ПК-2.2. Уметь использовать основные понятия, теории современного

		математического аппарата. ПК-2.3. Иметь навыки применения современного математического аппарата.
ПК-5	способностью осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть "Интернет") и в других источниках	ПК-5.1. Знать, как осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети Интернет и в других источниках. ПК-5.2. Уметь осуществлять целенаправленный поиск информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети Интернет и в других источниках. ПК-5.3. Иметь навыки осуществления целенаправленного поиска информации о новейших научных и технологических достижениях в информационно-телекоммуникационной сети Интернет и в других источниках.

#### 4. Структура и содержание дисциплины (модуля)

##### 4.1. Структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы (72 академических часа).

Вид работы	Трудоемкость, акад. часов	
	10 семестр	всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Контактная работа:</b>	<b>13</b>	<b>13</b>
Лекции (Лек)	4	4
Лабораторные работы (Лаб)	8	8
Контактная работа в период промежуточной аттестации (КонтПА)	1	1
Промежуточная аттестация зачет	3	3
<b>Самостоятельная работа:</b> <i>- подготовка к лабораторным занятиям;</i>	56	56

## 4.2. Распределение видов работы и их трудоемкости по разделам дисциплины (модуля)

Заочная форма обучения

№ п/п	Раздел дисциплины/ темы	семестр	Виды учебной работы (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации
			контактная			Самостоятельная работа	
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
1	Основы теории упругости. Феноменологическая теория М. Био, и ее адаптация для решения прикладных задач геомеханики	<b>10</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	
2	Введение в метод конечных элементов (МКЭ) Программы для расчетов методом конечных элементов		<b>0</b>		<b>2</b>	<b>6</b>	Устный опрос по предыдущей лабораторной.
3	Программа FreeFEM ++ для методов конечных элементов Синтаксис языка пакета программ FreeFem++		<b>1</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	Устный опрос по предыдущей лабораторной.
4	Генерация сеток в FreeFem++, конечные элементы, визуализация		<b>0</b>		<b>2</b>	<b>5</b>	Устный опрос по предыдущей лабораторной.
5	Классификация уравнений. Примеры задач теории упругости		<b>1</b>		<b>2</b>	<b>5</b>	Проверка домашнего задания.
6	Примеры решения нестационарных задач		<b>1</b>		<b>2</b>	<b>9</b>	Устный опрос по предыдущей лабораторной.
7	2D моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреде		<b>1</b>		<b>0</b>	<b>14</b>	Устный опрос по предыдущей лабораторной.
8	3D моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреде		<b>0</b>		<b>0</b>	<b>5</b>	Проверка домашнего задания.
	<i>Зачет:</i>			<b>0</b>	<b>2</b>		
	<i>Итого:</i>			<b>4</b>	<b>8</b>	<b>56</b>	

## 4.3. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Основы теории упругости.

Основные понятия теории упругости. Упругая энергия и упругие потенциалы. Термодинамика упругой деформации. Общие свойства упругих и пластических стержневых систем. Линейные упругие системы. Статически неопределимые системы. Экстремальные принципы. Устойчивость пологой арки. Теория напряжений. Теория деформаций.

Предмет механики деформируемого твердого тела. Основные гипотезы и принципы механики Теория деформаций.

Тема 2. Феноменологическая теория М. Био, и ее адаптация для решения прикладных задач геомеханики.

Элементы теории М.А. Био. Адаптация теории М.А. Био для решения прикладных задач геомеханики.

Тема 3. Введение в метод конечных элементов (МКЭ).

Основная концепция метода конечных элементов. Понятие конечного элемента. Простейшие конечные элементы. Преимущества и недостатки метода. Решение одномерных задач теории упругости. Решение двумерных задач теории упругости. Решение осесимметричных задач теории упругости. Решение трехмерных задач теории упругости. Учет кинематических граничных условий.

Тема 4. Программы для расчетов методом конечных элементов.

Современные программные средства конечно-элементного анализа. Краткие характеристики некоторых программных комплексов: ABAQUS, ADINA, ANSYS, ASKA, COSMOS, MARS, MODULEF, NASTRAN, PAFEC, SAP-7, SE SAM-80, TITUS, Siemens NX, SolidWorks Simulation, LS Dyna. Достоинства и недостатки программ. Интерфейс программ. Критерии выбора программы для численного решения задач, основанных на методе МКЭ. 3D программа RFEM для линейного и нелинейного расчета конструкций по методу конечных элементов (МКЭ).

Freeware-программы конечно-элементного анализа: DANFE и Mefisto. Их системные требования и возможности.

Тема 5. Программа FreeFEM ++ для методов конечных элементов.

Назначение программы FreeFEM ++. Требование к ресурсам компьютера. Установка программы. Интерфейс окна программы. Написание кода программы. Запуск кода.

Тема 6. Синтаксис языка пакета программ FreeFem++.

Базовые типы данных в FreeFem++. Математические операции. Функции одной переменной. Функции двух переменных. Оператор условного перехода. Циклы. Способы задания областей. Триангуляция области.

Тема 7. Генерация сеток в FreeFem++, конечные элементы, визуализация.

Генерация сеток.

Простейшая область. Ключевое слово square. Ключевое слово border. Запись/чтение сгенерированных сеток. Ключевое слово triangulate. Ключевое слово movemesh. Ключевое слово adaptmesh.

Конечные элементы.

Интерполяция кусочно-линейными функциями. Барицентрические координаты. Интерполяция на треугольнике. Линии уровня. FE-функции. Кусочно-линейная интерполяция. Базисные функции в FreeFem++. Векторнозначные FE-функции. Загружаемые конечные элементы. Численное интегрирование.

Визуализация результатов расчетов.

Визуализация с помощью средств FreeFem++. Параметры команды plot. Визуализация с помощью программы medit. Визуализация с помощью программы gnuplot.

Тема 8. Классификация уравнений. Примеры задач теории упругости.

Основные уравнения теории упругости. Исследование напряженного состояния в точке. Решение плоской задачи теории упругости в полиномах. Решение плоской задачи теории упругости в тригонометрических рядах. Напряженное состояние в упругой полуплоскости.

Тема 9. Примеры решения нестационарных задач.

Задачи для уравнений параболического и гиперболического типов, описывающие процессы теплопроводности, продольных колебаний стержня, малых колебаний струны. Вывод уравнений теплопроводности в случае сосредоточенного источника тепла,

сосредоточенной теплоемкости, сосредоточенной массы, составного стержня.

Тема 10. 2D моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду.

Моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду. Построение 2D модели.

Тема 11. 3D моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду.

Моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду. Построение 3D модели.

#### **4.4 Темы и планы лабораторных занятий**

**Лабораторное занятие 1 (2 ч.). Тема: Введение в метод конечных элементов. Программы для расчетов методом конечных элементов.**

*Вопросы для обсуждения:*

1. Основная концепция метода конечных элементов.
2. Понятие конечного элемента.
3. Простейшие конечные элементы.
4. Преимущества и недостатки метода.
5. Решение одномерных задач теории упругости.
6. Решение двумерных задач теории упругости.
7. Решение осесимметричных задач теории упругости.
8. Решение трехмерных задач теории упругости.
9. Учет кинематических граничных условий.
10. Преимущества МКЭ.
11. Особенности и проблемы применения метода конечных элементов.
12. Разбиение расчётной области на конечные элементы.
13. Способ аппроксимации искомой функции в конечном элементе.
14. Решение задачи переноса тепла в стержне с помощью МКЭ.
15. Основные уравнения метода конечных элементов.
16. Современные программные средства конечно-элементного анализа.
17. Краткие характеристики некоторых программных комплексов: ABAQUS, ADINA, ANSYS, ASKA, COSMOS, MARS, MODULEF, NASTRAN, PAFEC, SAP-7, SE SAM-80, TITUS, Siemens NX, SolidWorks Simulation, LS Dyna.
18. Достоинства и недостатки программ. Интерфейс программ.
19. 3D программа RFEM для линейного и нелинейного расчета конструкций по методу конечных элементов (МКЭ).
20. Freeware-программы конечно-элементного анализа: DANFE и Mefisto. Их системные требования и возможности.

*Примерные задания:*

1. Дайте определение понятия «конечно-разностный оператор».
2. Идея метода конечных разностей. К чему приводит решение дифференциального уравнения методом конечных разностей?
3. Назовите типы узлов сетки, которая наносится на исследуемое тело при использовании метода конечных разностей.
4. Тензоры в декартовой системе координат.
5. Координаты Эйлера и Лагранжа. Теория деформаций.
6. Определение перемещений по деформациям.
7. Тензор напряжений.
8. Связь между напряжённым и деформированным состояниями.
9. Полная система соотношений теории упругости. Решение простейших задач.

10. Кручение призматических стержней.
11. Плоская задача теории упругости.
1. Критерии выбора программы для численного решения задач, основанных на методе МКЭ.

**Лабораторное занятие 2 (2 ч.). Тема: Генерация сеток в FreeFem++, конечные элементы, визуализация.**

*Вопросы для обсуждения:*

1. Создание квадратной и прямоугольной расчетной сетки заданного размера и плотности с помощью команды square.
2. Методы построения равномерной и неравномерно расчетной сетки.
3. Виды триангуляции, поддерживаемые командой square.
4. Построение геометрии исследуемого объекта.
5. Использование типа данных border для создания границы.
6. Правила построения геометрии из нескольких границ.
7. Проверка корректности построения замкнутых областей.

*Примерные задания:*

1. Написать код для визуализации векторного поля  $F = (F_x, F_y)$ , где  $F_x = \cos 2\pi x$ ,  $F_y = -\sin 2\pi y$  в области  $D: [-1, 1] \times [-1, 1]$ .
2. Написать код для визуализации векторного поля  $F = (F_x, F_y)$ , где  $F_x = x \sin(2\pi y)$ ,  $F_y = y \cos(2\pi x)$  в области  $D: [-2, 2] \times [-2, 2]$ . Добавить параметр, позволяющий при выводе поля  $F$  изменить длину стрелок.
3. Для разреженной матрицы был записан оператор  $[I, J, C] = \text{SpA}$ . Восстановите вид матрицы, если известно, что оператор печати

```
cout << "I=" << I << endl << "J=" << J << endl
      << "C=" << C << endl;
```

позволил на экране получить результат вида:

```
I=3
      0      0      1
J=3
      0      1      1
C=3
      2      1      3
```

5. Что будет выведено на экран в результате выполнения кода

```
int[int] A=[1,2,3], C=[3,2,1];
int[int,int] R(3,3);
R = A*C'; cout << R << endl;
```

6. Написать функцию для транспонирования матрицы с описанием

```
int[int,int] R(N,M).
```

**Лабораторное занятие 3 (2 ч.). Тема: Классификация уравнений. Примеры задач**



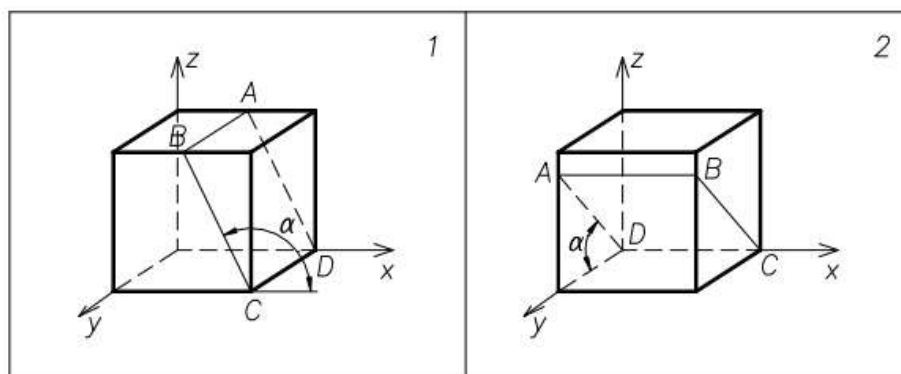
## теории упругости.

*Вопросы для обсуждения:*

1. Основные уравнения теории упругости.
2. Исследование напряженного состояния в точке.
3. Решение плоской задачи теории упругости в полиномах.
4. Решение плоской задачи теории упругости в тригонометрических рядах.
5. Напряженное состояние в упругой полуплоскости.
6. Краевые (граничные) задачи.
7. Краевые задачи в перемещениях и напряжениях
8. Формулировка основных уравнений в криволинейных координатах.
9. Цилиндрические координаты.
10. Сферические координаты.
11. Прямая и обратная задачи теории упругости.
12. Полуобратный метод Сен-Венана
13. Метод суперпозиции.
14. Теорема Клапейрона.
15. Теорема взаимности Бетти.
16. Теорема о единственности решения.

*Примерные задания:*

1. Какая задача называется плоской задачей теории упругости?
2. Дайте определение понятий: «плоская деформация», «плоское напряжённое состояние».
3. Каким требованиям должна удовлетворять функция напряжений (функция Эри)?
4. В чём особенность уравнения Мориса Леви? Что из этого следует в отношении распределения напряжений в изотропном теле в случае одинаковых внешних нагрузок и одинаковых граничных условий?
5. Какие Вы знаете методы решения плоской задачи для прямоугольных областей?
6. Дайте определение понятия «дискретизация задачи».
7. Исходные данные к задаче представлены на рис.

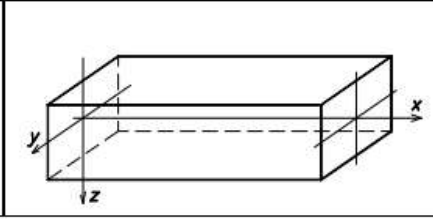


Требуется выполнить следующее:

- 1) Заданные напряжения показать на гранях элементарного параллелепипеда в соответствии с данной системой координат и обозначениями напряжений. Напряжения показывать векторами действительного направления, принятого в соответствии с заданным знаком напряжения; каждое напряжение должно быть обозначено его абсолютной величиной.
- 2) На заданной наклонной площадке определить координатные составляющие полного напряжения, а также полное, нормальное и касательное напряжения. Показать все эти напряжения соответствующими векторами.
- 3) На площадке, на которой расположен отрезок BC, определить проекцию касательного напряжения на направление этого отрезка.
- 4) Найти величины главных напряжений и положение той главной площадки, по которой действует напряжение  $\sigma_1$ .

- 5) Найти угол сдвига между направлениями ВА и ВС.
- 6) Найти относительную объемную деформацию в исследуемой точке.

8. Исходные данные к задаче представлены на рис.

$u = \frac{M_z}{EJ_z} yx$ $v = \frac{M_z}{2EJ_z} [x^2 - \mu(z^2 - y^2)]$ $w = -\mu \frac{M_z}{EJ_z} yz$	
---	--

Требуется выполнить следующее:

- 1) По заданным перемещениям с помощью формул Коши найти деформации как функции координат.
- 2) По найденным деформациям с помощью закона Гука в обратной форме найти напряжения как функции координат.
- 3) Из уравнений равновесия найти объемные силы, действующие на тело.
- 4) С помощью граничных условий в напряжениях определить поверхностные силы, действующие на каждую поверхность, ограничивающую заданное тело.
- 5) Интегрированием поверхностных сил, действующих на торцах, найти усилия, приложенные к этим торцам. По сочетанию этих усилий классифицировать случай загрузки тела, если его рассматривать как стержень.

#### Лабораторное занятие 4 (2 ч.). Тема: Примеры решения нестационарных задач.

*Вопросы для обсуждения:*

1. Краевые задачи для параболических уравнений второго порядка.
2. Разностные схемы для нестационарных задач.
3. Равномерная сходимость разностных схем для уравнения теплопроводности.
4. Теория устойчивости разностных схем.
5. Устойчивость и сходимость разностных схем для уравнения теплопроводности.
6. Асимптотическая устойчивость разностных схем для уравнения теплопроводности.
7. Гиперболическое уравнение теплопроводности.
8. Регуляризация разностных схем.
9. Нелинейные нестационарные задачи.

*Примерные задания:*

1. Исследовать влияние зависимости модуля упругости материала от температуры на эволюцию поля напряжений и деформаций в пластине при ее нагреве тепловым потоком, равномерно распределенным по ее поверхности. В качестве объектов исследования выбрать пластины, изготовленные, например, из железа, меди и титана.
2. Исследовать эволюцию поля напряжений в двухслойной пластине (например, титан-железо, железо-медь, никель-медь) при ее нагреве тепловым потоком постоянной интенсивности. Свойства металлов считать постоянными (вычислить как среднеинтегральные значения в интересующем диапазоне температур).
3. Исследовать влияние характера распределения энергии в потоке на эволюцию полей напряжений и деформаций в тонком диске с учетом и без учета зависимости модуля упругости от температуры.

#### 5. Темы дисциплины (модуля) для самостоятельного изучения

Не предусмотрены

#### 6. Образовательные технологии

№ п/п	Наименование раздела	Виды учебных занятий	Образовательные технологии
	<b>10 семестр</b>		
	Введение в метод конечных элементов (МКЭ) Программы для расчетов методом конечных элементов	Лабораторное занятие 1	Лабораторное занятие в компьютерном классе.
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания.
	Программа FreeFEM ++ для методов конечных элементов Синтаксис языка пакета программ FreeFem++	Лекция 1	Традиционная лекция в ауд. с мультимедиа проектором
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания
	Генерация сеток в FreeFem++, конечные элементы, визуализация	Лабораторное занятие 2	Лабораторное занятие в компьютерном классе.
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания.
	Классификация уравнений. Примеры задач теории упругости	Лекция 2	Традиционная лекция в ауд. с мультимедиа проектором
		Лабораторное занятие 3	Лабораторное занятие в компьютерном классе.
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания.
	Примеры решения нестационарных задач	Лекция 3	Традиционная лекция в ауд. с мультимедиа проектором
		Лабораторное занятие 4	Лабораторное занятие в компьютерном классе.
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания.
	2D моделирование напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреде	Лекция 4	Традиционная лекция в ауд. с мультимедиа проектором
		Самостоятельная работа	Изучение материала по теме лекции, подготовка домашнего задания.

В учебном плане предусмотрено **4** часа в интерактивной форме, которые могут быть распределены следующим образом:

№	Наименование темы	Форма занятия	Количество часов		Интерактивная форма проведения занятий
			лк	лб	
1.	Программа FreeFEM ++ для методов конечных элементов Синтаксис языка пакета программ FreeFem++ Классификация уравнений. Примеры задач теории упругости	Лекция	2		Дискуссия, мозговой штурм

2.	Примеры решения нестационарных задач	Лабораторное занятие		2	Дискуссия, мозговой штурм
<b>Итого:</b>			<b>2</b>	<b>2</b>	

## 7. Оценочные средства (материалы) для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Примерные варианты индивидуальных заданий:

**Вариант 1.** Решить первую краевую задачу

$$\begin{cases} -y'' + y = 2x, & 0 < x < 1, \\ y(0) = 0, & y(1) = 0, \end{cases}$$

используя методы Рунге и Петрова–Галёркина.

**Вариант 2.** Решить первую краевую задачу

$$\begin{cases} y'' - 3y = 8 - 9x^2, & 0 < x < 1, \\ y(0) = 0, & y(1) = 0, \end{cases}$$

используя метод Бунднова–Галёркина и метод наименьших квадратов.

**Вариант 3.** Решить первую краевую задачу

$$\begin{cases} y'' + y = -x, & 1 < x < 2, \\ y(1) = 0, & y(2) = 0, \end{cases}$$

используя методы Рунге и Петрова–Галёркина.

**Вариант 4.** Методом прогонки найти с точностью  $\varepsilon = 0.04$  решение краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка

$$\begin{cases} y'' + 9y = \sin 2x, & 0 < x < \frac{\pi}{4}, \\ y(0) = -1, & y' \left( \frac{\pi}{4} \right) = 0. \end{cases}$$

**Вариант 5.** Методом прогонки найти с точностью  $\varepsilon = 0.005$  решение краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка

$$\begin{cases} y'' + y = x^2, & 0 < x < 1, \\ y(0) + y'(0) = -1, & y'(1) = 0. \end{cases}$$

**Вариант 6.** Методом прогонки найти с точностью  $\varepsilon = 0.001$  решение краевой задачи для дифференциального уравнения второго порядка

$$\begin{cases} y'' = x - 1, & 0 < x < 1, \\ y(0) = 0, & y'(1) = 1. \end{cases}$$

**Вариант 7.** Методом Либмана решить краевую задачу

$$\begin{cases} \Delta u = 0 \\ u(0, y) = \cos y, \quad u(1, y) = e^3 \cos y, \\ u_y(x, 0) = 0, \quad u_y(x, \frac{\pi}{2}) = -e^{3x}. \end{cases}$$

Аналитическое решение:  $U(x, y) = e^{3x} \cos y$ .

**Вариант 8.** Методом Либмана решить краевую задачу

$$\begin{cases} \Delta u = 0 \\ u_x(0, y) = 0, \quad u(1, y) = 2 + y^2, \\ u_y(x, 0) = 0, \quad u(x, 1) = 2x^2 + 1. \end{cases}$$

Аналитическое решение:  $U(x, y) = 2x^2 + y^2$ .

**Вариант 9.** Методом Либмана решить краевую задачу

$$\begin{cases} \Delta u = 2x(x-1) + 2y(y-1) \\ u(0, y) = 0, \quad u(1, y) = 0, \\ u(x, 0) = 0, \quad u(x, 1) = 0. \end{cases}$$

Аналитическое решение:  $U(x, y) = xy(x-1)(y-1)$ .

**Вариант 10.** Методом Либмана решить краевую задачу

$$\begin{cases} \Delta u = 0 \\ u(0, y) = y^2, \quad u(1, y) = 1 + y^2, \\ u_x(x, 0) = 0, \quad u_y(x, 1) = 2. \end{cases}$$

Аналитическое решение:  $U(x, y) = x^2 + y^2$ .

**Примерные варианты контроля знаний:**

1. При выполнении программы

```
int i=3, n=18;
{ int i=5, n=10;
  cout << "i=" << i << " n=" << n << endl; }
cout << "i=" << i << " n=" << n << endl;
```

на экран будет выведено:

a)	б	в)	г)
i=5 n=10	i=3 n=18	i=3 n=18	i=5 n=10
i=5 n=10	i=3 n=18	i=5 n=10	i=3 n=18

2. При выполнении программы

```
real a = 5.1, b = 2.85;
complex z = a + b * 1i;
cout << z << " | " << conj(z) << endl;
```

на экран будет выведено

a) 5.1,2.85   5.1,-2.85	б) 5.1+2.85i   5.1-2.85i
в) (5.1,2.85)   (5.1,-2.85)	г) (5.1+2.85i)   (5.1-2.85i)

3. Оператор plot() в программе

```
real b = 1.0, a = 2.1*b;
border C(t=0,2*pi) { x=a*cos(t); y=b*sin(t); }
plot(C(50));
```

позволит визуализировать

- а) границу круга; б) границу эллипса;  
в) триангуляцию круга; г) триангуляцию эллипса.

4. Приведенный фрагмент программы

```
real a = 2.0, b = 1.0;
border C(t=0,2*pi) { x=a*cos(t)*cos(t) + b*cos(t);
                    y=a*sin(t)*cos(t) + b*sin(t); }
```

задает границу области в виде:

- а) улитки Паскаля с самопересечением; б) улитки Паскаля без самопересечением;  
в) кардиоиды; г) окружности.

5. Какая из приведенных функций вычисляет  $\min(a, b)$ :

```
func int min1(int a, int b)
{ return min1=(a < b ? a : b); }
```

```
-----
func int min2(int a, int b)
{ return (a < b ? b : a); }
```

```
-----
func int min3(int a, int b)
{ return (a > b ? a : b); }
```

```
-----
func int min4(int a, int b)
{ return (a+b-abs(a-b))/2; }
```

а) min1; б) min2; в) min3; г) min4.

6. Какое из приведенных описаний функций является синтаксически правильным?

```
func g1 = t*s;           func g2 = x*y;
func int g3 = t*s;       func int g4(int t, s){g= t*s;}
```

а) g1; б) g2; в) g3; г) g4.

7. Оператор `plot(fh)` в программе

```
mesh Th = square(20,20);
fespace Vh(Th, P1);
Vh fh = x^2 + y^2;
plot(fh);
```

визуализирует

а) линии уровня конечно-элементной функции в прямоугольной области размера  $20 \times 20$ ;

б) триангуляцию конечно-элементной функции в прямоугольной области размера  $20 \times 20$ ;

в) линии уровня конечно-элементной функции в прямоугольной области размера  $1 \times 1$ ;

г) триангуляцию конечно-элементной функции в прямоугольной области размера  $1 \times 1$ .

8. Какой из приведенных фрагментов позволяет визуализировать триангуляцию кольца:

- а) 

```
border G1(t=0,2*pi){ x=cos(t); y=sin(t); }  
border G2(t=0,2*pi){ x=0.3*cos(t); y=0.3*sin(t); }  
plot(buildmesh(G1(40) + G2(-20)));
```
- б) 

```
border G1(t=0,2*pi){ x=cos(t); y=sin(t); }  
border G2(t=0,2*pi){ x=0.3*cos(t); y=0.3*sin(t); }  
plot(buildmesh(G1(40) + G2(20)));
```
- в) 

```
border G1(t=0,2*pi){ x=cos(t); y=sin(t); }  
border G2(t=0,2*pi){ x=0.3*cos(t); y=0.3*sin(t); }  
plot(buildmesh(G1(-40) + G2(-20)));
```
- г) 

```
border G1(t=2*pi,0){ x=cos(t); y=sin(t); }  
border G2(t=2*pi,0){ x=0.3*cos(t); y=0.3*sin(t); }  
plot(buildmesh(G1(40) + G2(20)));
```

***Примерные вопросы к зачету:***

1. Основные понятия теории упругости.
2. Упругая энергия и упругие потенциалы.
3. Термодинамика упругой деформации.
4. Общие свойства упругих и пластических стержневых систем.
5. Линейные упругие системы.
6. Статически неопределимые системы.
7. Экстремальные принципы.
8. Устойчивость пологой арки.
9. Теория напряжений.
10. Теория деформаций.
11. Предмет механики деформируемого твердого тела.
12. Основные гипотезы и принципы механики Теория деформаций.
13. Элементы теории М.А. Био.
14. Адаптация теории М.А. Био для решения прикладных задач геомеханики.
15. Метод конечных элементов (МКЭ). Идея метода.
16. Иллюстрация метода конечных элементов на одномерном примере.
17. Преимущества и недостатки метода конечных элементов.
18. История развития метода конечных элементов.
19. Понятие конечного элемента.
20. Простейшие конечные элементы.
21. Преимущества и недостатки метода.
22. Решение одномерных задач теории упругости.
23. Решение двумерных задач теории упругости.
24. Решение осесимметричных задач теории упругости.
25. Решение трехмерных задач теории упругости.
26. Учет кинематических граничных условий.
27. История развития и области применения МКЭ.
28. Основная концепция метода конечных элементов.
29. Преимущества МКЭ.
30. Особенности и проблемы применения метода конечных элементов.
31. Разбиение расчётной области на конечные элементы.
32. Способ аппроксимации искомой функции в конечном элементе.
33. Решение задачи переноса тепла в стержне с помощью МКЭ.



34. Основные уравнения метода конечных элементов.
35. Современные программные средства конечно-элементного анализа.
36. Краткие характеристики некоторых программных комплексов, основанных на методе МКЭ.
37. Критерии выбора программы для численного решения задач, основанных на методе МКЭ.
38. Freeware-программы конечно-элементного анализа. Их системные требования и возможности.
39. Назначение программы FreeFEM ++.
40. Написание кода программы в FreeFEM ++.
41. Запуск кода программы в FreeFEM ++.
42. Область действия переменных в FreeFEM ++.
43. Описание базовых типов данных FreeFem++: целое и вещественное число, логические переменные, комплексное число, строка и операции со строками.
44. Функции одной переменной.
45. Функции двух переменных.
46. Условные операторы (if и if/else).
47. Арифметическое условие (тернарный оператор).
48. Управляемый счетчиком цикл (for).
49. Цикл с предусловием (while).
50. Управление выполнением кода внутри цикла (break и continue).
51. Неявный цикл.
52. Способы задания областей.
53. Триангуляция области.
54. Обработка исключительных ситуаций (try/catch).
55. Создание квадратной и прямоугольной расчетной сетки заданного размера и плотности с помощью команды square.
56. Методы построения равномерной и неравномерно расчетной сетки.
57. Виды триангуляции, поддерживаемые командой square.
58. Построение геометрии исследуемого объекта.
59. Использование типа данных border для создания границы.
60. Правила построения геометрии из нескольких границ.
61. Проверка корректности построения замкнутых областей.
62. Основные уравнения теории упругости.
63. Исследование напряженного состояния в точке.
64. Решение плоской задачи теории упругости в полиномах.
65. Решение плоской задачи теории упругости в тригонометрических рядах.
66. Напряженное состояние в упругой полуплоскости.
67. Краевые (граничные) задачи.
68. Краевые задачи в перемещениях и напряжениях
69. Формулировка основных уравнений в криволинейных координатах.
70. Цилиндрические координаты.
71. Сферические координаты.
72. Прямая и обратная задачи теории упругости.
73. Полуобратный метод Сен-Венана
74. Метод суперпозиции.
75. Теорема Клапейрона.
76. Теорема взаимности Бетти.
77. Теорема о единственности решения.
78. Краевые задачи для параболических уравнений второго порядка.
79. Разностные схемы для нестационарных задач.
80. Равномерная сходимости разностных схем для уравнения теплопроводности.
81. Теория устойчивости разностных схем.
82. Устойчивость и сходимости разностных схем для уравнения теплопроводности.

83. Асимптотическая устойчивость разностных схем для уравнения теплопроводности.
84. Гиперболическое уравнение теплопроводности.
85. Регуляризация разностных схем.
86. Нелинейные нестационарные задачи.
87. Построение 2D модели напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду.
88. Построение 3D модели напряженно-деформированного состояния при закачке/откачке флюида в геосреду.

## 8. Система оценивания планируемых результатов обучения

### Критерии оценивания

**Оценка «зачтено»** выставляется:

- студенту глубоко и прочно усвоившему программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагающему, в ответе которого увязывается теория с практикой, он показывает знакомство с литературой, правильно обосновывает и использует рациональные и современные средства решения поставленной проблемы.
- студенту, твердо знающему программный материал, грамотно и по существу излагающему его, который не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении поставленной задачи.
- студенту, который знает только основной программный материал, но не усвоил особенностей, допускает в ответе неточности, некорректно формулирует основные законы и правила, затрудняется в выполнении практических задач.

**Оценка «не зачтено»** выставляется

студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает в ответе существенные ошибки, с затруднениями выполняет практические задания.

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 9.1. Основная литература

1. Новожилов В.В. Теория упругости / В.В. Новожилов. — 2-е изд. — Санкт-Петербург: Политехника, 2020. — 410 с. — ISBN 978-5-7325-0956-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/94829.html>
2. Алексеев А.С. Методы решения прямых и обратных задач сейсмологии, электромагнетизма и экспериментальные исследования в проблемах изучения геодинамических процессов в коре и верхней мантии Земли / А.С. Алексеев, Б.М. Глинский, В.В. Ковалевский; под редакцией Б.Г. Михайленко, М.И. Эпов. — Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2017. — 310 с. — ISBN 978-5-7692-1135-5. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/15806.html>
3. Жуков М.Ю. Использование пакета конечных элементов FreeFem++ для задач гидродинамики, электрофореза и биологии / М.Ю. Жуков, Е.В. Ширяева. — Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2017. — 256 с. — ISBN 2227-8397. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/47031.html>

### 9.2. Дополнительная литература

1. Стружанов В.В., Бурмашева Н.В. Теория упругости: основные положения: учеб. пособие/ В.В. Стружанов, Н.В. Бурмашева: М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Урал. федер. Ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2019. – 204 с.
2. Дудяк А.И. Прикладная теория упругости / А.И. Дудяк, Т.А. Сахнович. М.: Изд-во

- Гревцова, 2010.
3. Котович А.В., Станкевич И.В. Решение задач теории упругости методом конечных элементов. М.: Учебное пособие, 2012. - 112 с.
  4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов — М.: Мир, 1979. — 392 С.
  5. Основы метода конечных элементов: Введение. Расчет стержневых систем: конспект лекций / Владим. гос. ун-т; сост. Л.Е. Кондратьева. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 36 с.
  6. Андреев В.Б. Лекции по методу конечных элементов: Учебное пособие. - М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В. Ломоносова; МАКС Пресс, 2010. - 2-е изд., испр. и доп. - 264 с.
  7. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. М.: КомпьютерПресс, 2002. 224 с.
  8. Маслов Л.Б., Козлов М.В. Конечно-элементный программный комплекс “МЕХАНИКА” - приложение в инженерном деле и биомеханике // Вестник Иван. гос. энерг. ун-та. - Иваново, ИГЭУ, 2002. - № 2. - С. 23-28.
  9. Шимкович Д.А. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. ДМК, 2001. 448 с.
  10. Мухутдинов А.Р. Основы применения ANSYS Autodyn для решения задач моделирования быстропротекающих процессов: учебное пособие / А.Р. Мухутдинов, М.Г. Ефимов. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 244 с. — ISBN 978-5-7882-2115-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79456.html>
  11. Мухутдинов А.Р. Основы применения Autodesk Inventor для решения задач проектирования и моделирования: учебное пособие / А.Р. Мухутдинов, С.А. Яничев. — Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. — 140 с. — ISBN 978-5-7882-2101-4. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79457.html>
  12. Нахман А.Д. Моделирование процессов средствами дифференциальных уравнений: учебное пособие / А.Д. Нахман, Ю.В. Родионов. — Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. — 112 с. — ISBN 978-5-8265-2019-2. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/99773.html>

### **9.3. Программное обеспечение**

1. Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN 1 License (бессрочная), (лицензия 49512935);
2. Microsoft Sys Ctr Standard Sngl License/Software Assurance Pack Academic License 2 PROC (бессрочная), (лицензия 60465661)
3. Microsoft Win Home Basic 7 Russian Academic OPEN (бессрочная), (лицензия 61031351),
4. Microsoft Office 2010 Russian Academic OPEN, (бессрочная) (лицензия 61031351),
5. Microsoft Windows Professional 8 Russian Upgrade Academic OPEN (бессрочная), (лицензия 61031351),
6. Microsoft Internet Security&Accel Server Standart Ed 2006 English Academic OPEN, (бессрочная), (лицензия 41684549),
7. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic OPEN, (бессрочная), (лицензия 60939880),
8. Microsoft Windows Server CAL 2008 Russian Academic OPEN, (бессрочная), (лицензия 60939880),
9. Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition. 1000-1499 Node 2 year Educational Renewal License (лицензия 2022-190513-020932-503-526), срок пользования с 2019-05-13 по 2021-04-13
10. ABBYYFineReader 11 Professional Edition, (бессрочная), (лицензия AF11-2S1P01-102/AD),

11. Microsoft Windows Pro 64bit DOEM, (бессрочная), контракт № 6-ОАЭФ2014 от 05.08.2014
12. Visual Studio Professional
13. «Антиплагиат. ВУЗ». Лицензионный договор №194 от 22.03. 2018 года;
14. Пакета конечных элементов FreeFem++ (Freeware-программа).

#### **9.4.Профессиональные базы данных и информационные справочные системы современных информационных технологий**

1. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел Информатика и информационные технологии» (<https://habr.com/>)
2. Крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки- (<https://github.com/>)
3. База книг и публикаций Электронной библиотеки "Наука и Техника" (<http://www.n-t.ru>)
4. Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел Информатика и информационные технологии ([http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.2.75.6](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.6))
5. Электронная библиотечная система ZNANIUM.COM (<http://znanium.com/>)
6. Цифровая коллекция электронных версий изданий (учебники, учебные пособия, учебно-методические документы, монографии) по экономическим, естественным, техническим и гуманитарным наукам, сгруппированных по тематическим и целевым признакам.
7. Электронная библиотечная система «BOOK.ru» издательства «КноРус медиа» (<https://www.book.ru/>)
8. Интернет-университет информационных технологий ([www.intuit.ru](http://www.intuit.ru))
9. Онлайн среда разработки приложений ([ideone.com](http://ideone.com))
10. Журнал «КомпьютерПресс» ([www.compress.ru](http://www.compress.ru))
11. Издательство «Открытые системы» ([www.osp.ru](http://www.osp.ru))
12. Издание о высоких технологиях ([www.cnews.ru](http://www.cnews.ru))
13. Справочно-правовая система «Консультант Плюс» (<http://www.consultant.ru>)
14. Polpred.com Обзор СМИ (<http://polpred.com/>)
15. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru>)
16. Электронная библиотечная система IPRbooks (<http://www.iprbookshop.ru>)
17. Электронная библиотечная система Национальная электронная библиотека (<https://нэб.рф>)
18. Электронная библиотечная система Юрайт (<http://www.biblio-online.ru>)

#### **10. Обеспечение образовательного процесса для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов**

Учебные и учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

##### *Для слепых и слабовидящих:*

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением, или могут быть заменены устным ответом;
- обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс;
- для выполнения задания при необходимости предоставляется увеличивающее устройство; возможно также использование собственных увеличивающих устройств;
- письменные задания оформляются увеличенным шрифтом;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

***Для глухих и слабослышащих:***

- лекции оформляются в виде электронного документа, либо предоставляется звукоусиливающая аппаратура индивидуального пользования;
- письменные задания выполняются на компьютере в письменной форме;
- экзамен и зачёт проводятся в письменной форме на компьютере; возможно проведение в форме тестирования.

***Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:***

- лекции оформляются в виде электронного документа, доступного с помощью компьютера со специализированным программным обеспечением;
- письменные задания выполняются на компьютере со специализированным программным обеспечением;
- экзамен и зачёт проводятся в устной форме или выполняются в письменной форме на компьютере.

При необходимости предусматривается увеличение времени для подготовки ответа.

Процедура проведения промежуточной аттестации для обучающихся устанавливается с учётом их индивидуальных психофизических особенностей. Промежуточная аттестация может проводиться в несколько этапов.

При проведении процедуры оценивания результатов обучения предусматривается использование технических средств, необходимых в связи с индивидуальными особенностями обучающихся. Эти средства могут быть предоставлены университетом, или могут использоваться собственные технические средства.

Проведение процедуры оценивания результатов обучения допускается с использованием дистанционных образовательных технологий.

Обеспечивается доступ к информационным и библиографическим ресурсам в сети Интернет для каждого обучающегося в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

***Для слепых и слабовидящих:***

- в печатной форме увеличенным шрифтом;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

***Для глухих и слабослышащих:***

- в печатной форме;
- в форме электронного документа.

***Для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:***

- в печатной форме;
- в форме электронного документа;
- в форме аудиофайла.

Учебные аудитории для всех видов контактной и самостоятельной работы, научная библиотека и иные помещения для обучения оснащены специальным оборудованием и учебными местами с техническими средствами обучения:

Для глухих и слабослышащих:

- автоматизированным рабочим местом для людей с нарушением слуха и слабослышащих;

- акустический усилитель и колонки;

Для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- передвижными, регулируемые эргономическими партами СИ-1;
- компьютерной техникой со специальным программным обеспечением.

## **11. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для преподавания и изучения дисциплины используется лекционная аудитория, обеспеченная мультимедиа проектором и сопутствующим оборудованием, интерактивной доской. Используются УМК дисциплины (на бумажном и электронном носителях), фонд научной библиотеки университета, методические и учебно-методические материалы кафедры информатики.

*К рабочей программе прилагаются:*

**Приложение 1** - Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине (модулю)

**Приложение 2** - Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля).

- Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине (модулю)

УТВЕРЖДЕНО  
Протокол заседания кафедры  
№ 10 от 12 мая 2020 г.

## ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочей программе дисциплины Б1.В.ДВ.11.01 Моделирование геофизических процессов на юге о. Сахалин для создания высокопроизводительных алгоритмов на 2020-2021 учебный год вносятся следующие изменения:

1. В разделах 9.1 – «Основная литература» и 9.2 – «Дополнительная литература» актуализированы списки литературы.
2. В раздел 9.4 – «Программное обеспечение» добавлены:
  1. Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Расширенный Russian Edition. 1000-1499 Node 2 year Educational Renewal License (лицензия 2022-190513-020932-503-526), срок пользования с 2019-05-13 по 2021-04-13
  2. «Антиплагиат. ВУЗ». Лицензионный договор №194 от 22.03. 2018 года

Заведующий  
кафедрой информатики



Осипов Г.С.