

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины  
Метод гранично-временных элементов**

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

01.03.02 Прикладная математика и информатика

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и вычислительная математика

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

очная

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижегород

2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.01 «Метод гранично-временных элементов» относится части, формируемой участниками образовательных отношений

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.07.01 «Метод гранично-временных элементов» относится к части ООП направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, формируемой участниками образовательных отношений.

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-3. Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	ПК-3.1. Знает методы сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	<b>Знать</b> основные понятия, математические и алгоритмические модели метода гранично-временных элементов, современные методы исследования в области решения задач.	<i>Собеседование</i>
	ПК-3.2. Умеет собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	<b>Уметь</b> осуществлять анализ и выбор методов решения современных прикладных задач на основе знаний фундаментальных математических и компьютерных наук.	<i>Контрольная работа</i>
	ПК-3.3. Имеет практический опыт сбора и обработки данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям	<b>Владеть</b> опытом применения базовых знаний и современного математического и алгоритмического аппарата метода гранично-временных элементов при решении прикладных задач.	<i>Контрольная работа</i>

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная форма обучения</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>2 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>16</b>
- занятия семинарского типа	<b>16</b>
- занятия лабораторного типа	
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	<b>1</b>
<b>Промежуточная аттестация –</b>	<b>зачет</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

<b>Очная форма обучения</b>							
№	Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
			Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
			из них				
ЗЛеГ <sup>2</sup>	ЗСеГ <sup>3</sup>	ЗЛаГ <sup>4</sup>	Всего				
1.	Историческое введение в предмет.	6	2	2		4	2
2.	Математические постановки основных задач.	12	2	2		4	8
3.	Матрицы Грина и Неймана.	17	4	4		8	9
4.	Гранично-временные интегральные уравнения	18	4	4		8	10
5.	Дискретные аналоги гранично-временных интегральных уравнений. Метод Квадратур сверток	18	4	4		8	10
6.	Контроль самостоятельной работы (КСР)	1					
7.	Промежуточная аттестация – зачет						
8.	Итого	72	16	16	0	32	39

<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося.  
<sup>2</sup> Занятия лекционного типа.  
<sup>3</sup> Занятия семинарского типа.  
<sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: применения базовых знаний и современного математического и алгоритмического аппарата метода гранично-временных элементов при решении прикладных задач.
- компетенций – ПК-3.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (зачет).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий), контрольных работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *зачёту*.

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
плохо	не зачтено	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
удовлетворительно	зачтено	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
	негрубых ошибок	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	
<b>очень хорошо</b>	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>отлично</b>	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>превосходно</b>	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
незачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы к зачету

№	Вопрос	Код формируемой компетенции
1.	Одномерное потенциальное течение.	ПК-3
2.	Применение непрямого метода граничных элементов	ПК-3
3.	Задача о балке	ПК-3
4.	Сингулярные решения	ПК-3
5.	Дискретизация поверхностных и объемных интегралов	ПК-3
6.	Вычисление значений потенциала и скорости во внутренних точках	ПК-3
7.	Прямой метод граничных элементов	ПК-3
8.	Эквивалентность непрямого и прямого методов граничных элементов	ПК-3
9.	Фундаментальные решения	ПК-3
10.	Сингулярные решения	ПК-3
11.	Интегрируемость ядер	ПК-3
12.	Метод квадратур сверток	ПК-3

#### Примеры заданий контрольных работ

1. Построить фундаментальное решение задачи об изгибе упругой линии балки.
2. Построить обобщенные четырехугольные граничные элементы с их характеристиками и функциями формы.
3. Записать формулу Грина решения краевой задачи для идеальной сжимаемой жидкости.
4. Записать вариант метода численного обращения преобразования Лапласа.

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

*Пример задачи*

Используя метод квадратур сверток построить решение задачи Шарпа со следующими параметрами материала:  $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu = 0$ ,  $E = 2,11 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ .

### 5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции ПК-3

*Пример задачи*

Используя модификацию метода квадратур сверток с переменным шагом построить решение задачи о действии нагрузки в виде функции Хевисайда на торец пороупругой консоли со следующими параметрами материала:  $K = 8 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ ;  $G = 6 \cdot 10^9 \text{ Н/м}^2$ ;  $R = 4,7 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ ;  $k = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4 / \text{Нс}$ ;  $\rho = 2458 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_f = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $\phi = 0,19$ ;  $\alpha = 0,867$ .

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Партон В.В., Перлин П.И. Интегральные уравнения теории упругости. М.: Наука, 1977. 3 экз. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/PartonPerlin1977ru.djvu>
2. Угодчиков А.Г., Хуторянский Н.М. Метод граничных элементов в механике деформируемого твердого тела. - Казань: КГУ. 1986. - 296с. 28 экз.

#### **б) дополнительная литература:**

1. Бреббия к., Теллес Ж., Вроубелл Л. Методы граничных элементов. - М.: Мир, 1987. - 524с. 3 экз.
2. Игумнов Л.А. Методы граничных интегральных уравнений и граничного элемента в трехмерных задачах математической физики: Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в математике и механике». Н.Новгород: Нижегородский университет. 2007. 100 с.
3. <http://www.unn.ru/pages/issues/aids/2007/45.pdf>
4. Игумнов Л.А., Баженов В.Г. Метод граничных элементов в трехмерной динамической теории упругости и вязкоупругости с сопряженными полями: Учебное пособие. Н.Новгород: Изд-во Нижегородского университета. 2007. 328 с. 4 экз.
5. Игумнов Л.А., Литвинчук С.Ю., Белов А.А. Элементы метода граничных интегральных уравнений в решении задач динамической пороупругости: Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета. 2010. 43 с.  
[http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Igumnov\\_BoundaryIntegralEquations.pdf](http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Igumnov_BoundaryIntegralEquations.pdf)
6. Игумнов Л.А., Литвинчук С.Ю., Белов А.А. Численное обращение преобразования Лапласа: Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета. 2010. 34 с. [http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Igumnov\\_LaplaceTransform.pdf](http://www.mmf.unn.ru/files/2014/01/Igumnov_LaplaceTransform.pdf)
7. Игумнов Л.А., Марков И.П. Применение метода ГИУ для решения краевых динамических упругопластических задач в трехмерной постановке: Электронное методическое пособие. Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2011. 21 с.
8. <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/124.pdf>
9. Игумнов Л.А., Пазин В.П. Построение матриц Грина и Неймана в трехмерной статической теории упругости с сопряженными полями: Электронное методическое пособие. Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2011. 22 с.
10. <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/125.pdf>
11. Игумнов Л.А., Петров А.Н. Фундаментальные решения трехмерной динамической теории пороупругости: Электронное методическое пособие. Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2011. 23 с. <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/126.pdf>
12. Игумнов Л.А., Ратаушко Я.Ю. Фундаментальные и сингулярные решения изотропной теории упругости и вязкоупругости: Электронное методическое пособие. Н.Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2011. 18 с. <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/127.pdf>

#### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)**

Системы программирования на языках C/C++, FORTRAN

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/ie.htm>

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

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

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.03.02 Прикладная математика и информатика.

Автор д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Заведующий кафедрой  
теоретической,  
компьютерной и  
экспериментальной  
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 30.11.2022 года, протокол № 3

.