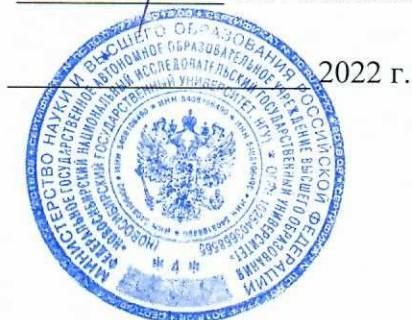


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

 С.Г. Саблина



ПРОГРАММА

повышения квалификации

по программе «Быстрое прототипирование в пакете FreeFEM.

Часть 1. Основы инструментария FreeFEM и базовые математические модели»

общая трудоемкость программы **22 часа**

форма обучения **смешанная (очная с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения)**

образовательные технологии **лекционное обучение, практические занятия, дистанционное обучение**

Разработал:
Старший преподаватель КафТМ ММФ, с.н.с. НОЦПИНГУ
Байкин А.Н.

Проверил:
Заместитель директора ММЦ
К.ф.-м.н., Карпенко А.В.

г. Новосибирск, 2022

1. **Цель реализации программы:** развитие профессиональных компетенций сотрудников научно-технический и инжиниринговых центров компаний, университетов и научно-исследовательских институтов в области математического моделирования и создания прототипов для быстрой проверки гипотез в пакете для численного счета методом конечных элементов FreeFEM. Более конкретная цель части 1 – сформировать у слушателей курса понимание основ метода конечных элементов и практические навыки по реализации простейших задач континуального математического моделирования от физико-математической постановки до анализа решения.

Для достижения поставленной цели выделяются следующие *задачи программы*:

- доступно донести до слушателя теоретические основы метода конечных элементов (МКЭ), достаточные для решения практических задач;
- обучить основам API (Application Programming Interface) пакета FreeFEM и его базовым возможностям;
- разобрать физико-математические постановки некоторых классических задач МКЭ, а также дискретизацию и реализацию методом конечных элементов;
- обучить основам визуализации, пост обработки и анализа полученного численного решения с использованием инструментов FreeFEM и внешних программ (Python 3, Paraview).

Актуальность программы определяется ее содержанием, а также необходимостью в быстрой проверке физических гипотез с помощью математического моделирования в научной и инженерной практике. Важными факторами в моделировании и быстром прототипировании являются корректность формулировки задачи, построение устойчивого численного алгоритма, а также низкий порог входа и скорость реализации алгоритма, что в полной мере обеспечивает пакет FreeFEM.

2. **Категория слушателей:** сотрудники научно-технический и инжиниринговых центров технологических компаний, сотрудники университетов и научно-исследовательских институтов, студенты научно-образовательных центров и университетов.
3. **Планируемые результаты обучения:** в результате освоения программы слушатели должны обладать следующими профессиональными компетенциями:
 - ПК-1. Способность сформулировать физико-математическую постановку для простейших эллиптических, параболических и гиперболических задач.
 - ПК-2. Способность запрограммировать численное решение задач математической физики, рассмотренных в рамках ПК-1, методом конечных элементов на языке пакета FreeFEM, работать с основными типами данных пакета FreeFEM и осуществлять операции с ними.
 - ПК-3. Способность проводить визуализацию и анализ численного решения, полученного в пакете FreeFEM.
4. Срок обучения: 2 дня по 8 часов очно, 4 часа дистанционно онлайн.
5. Форма обучения: смешанная (очная с применением дистанционных образовательных технологий и электронного обучения).
6. Режим занятий: 2 дня с 09:00 до 18:00 с перерывами. 4 занятия онлайн по 1 часу 1 раз в неделю.

Учебно-тематический план

Наименование разделов/модулей (тем, дисциплин)	Всего, час.	В том числе:			
		Лекции	Практич еские занятия	Консультации	Форма аттестации
Раздел 1. Основы конечно-элементного пакета FreeFEM++	12	2	10	0	
Основы метода конечных элементов на примере двумерной краевой задачи для уравнения Пуассона.	4	2	2	0	
Работа с двумерной сеткой: методы генерации, операции с сеткой, адаптация, получение информации о сетке	4	0	4	0	
Операции с матрицами и векторами. Последовательные методы решения СЛАУ.	4	0	4	0	
Раздел 2. Реализация простейших математических моделей в FreeFEM	8	3	5	0	
Уравнение однофазной фильтрации	2	1	1	0	
Уравнение переноса, метод характеристик	2	1	1	0	
Стационарные уравнения Навье-Стокса	2	1	1	0	
Основы визуализации и пост-обработки в Paraview	2	0	2	0	
Итоговая аттестация	2	0	0	2	Дифференцирован- ный зачет
Итого	22	5	15	2	

7. **Условия реализации программы повышения квалификации:** обучение проводится в аудиториях, оснащенных компьютерами с системой Windows 10 и установленным пакетом FreeFEM, VSCode, Python 3 и Paraview, а также оборудованными средствами визуализации учебного материала (проекторы, флипчарты, маркерные доски). Онлайн часть проводится с использованием сервиса для проведения видеоконференций (Google Meet или Skype или Skype for business или аналогичных).
8. **Правила аттестации** (с указанием критериев выставления оценок, в т. ч. итоговой аттестации). Освоение программы слушателями проводится в форме сдачи решения задач в форме дистанционного общения с преподавателем курса. Приобретение компетенций ПК-1 – ПК-3 подтверждается в ходе представления решения практических задач на физико-математическую формулировку задачи, программирование численного алгоритма и анализа решения. Слушатель получает оценку «отлично» при условии сдачи трех задач и предоставления ответа на дополнительные вопросы, оценку «хорошо» при условии сдачи двух задач и предоставления ответа на дополнительные вопросы, «удовлетворительно» при условии сдачи одной задачи и предоставления ответа на дополнительные вопросы.
9. **Оценочные материалы**
- Перечень примерных практических задач по программе повышения квалификации:**
1. Решить уравнение Пуассона в многосвязной области. Исследовать на решение на численную сходимость.
 2. Используя результаты первой задачи провести адаптацию сетки под решение. Выгрузить значения решения вдоль заданного отрезка или вдоль заданной границы в файл и визуализировать с помощью инструментов Python 3.
 3. Сформулировать физико-математическую постановку для задачи обтекания цилиндра, запрограммировать решение методом конечных элементов и визуализировать средствами Paraview.

Перечень примерных дополнительных вопросов по программе повышения квалификации:

1. Как строится слабая формулировка задачи? Как учитываются в ней условия Неймана и Дирихле?
2. Как определить численный порядок сходимости решения?
3. В каком формате хранится матрица при решении СЛАУ методом Краута?
4. Какими способами можно ставить условие Дирихле в FreeFem?
5. Как получить доступ к меткам границ сетки?
6. Перечислить основные параметры команды adaptmesh.
7. Как определить номера степеней свободы, лежащих на заданной границе?
8. Какой командой можно визуализировать решение в FreeFem? Какие у нее основные параметры?
9. Как создать матрицу и вектор в FreeFem?
10. Какой командой решатель MUMPS осуществляет факторизацию матрицы?
11. Как измерить время выполнения части программы в FreeFem?
12. В каком формате необходимо сохранить решение, чтобы его можно было визуализировать в Paraview?
13. Что такое метод характеристик для решения уравнений в частных производных? Как он реализован в FreeFem?
14. Что делает команда varf?
15. Чем необходимо руководствоваться при задании граничных условий для гиперболических уравнений? А параболических?

16. Что будет если в конце определения макроса не поставить двойную косую черту?
17. С помощью какого ключевого слова языка FreeFem создается двумерная сетка?
18. Как определить конечно-элементное пространство, состоящее из вектор-функций?

10. Литература

Список основной литературы

1. Жуков М. Ю., Ширяева Е. В. Использование пакета конечных элементов FreeFem++ для задач гидродинамики, электрофореза и биологии // Ростов–на–Дону: Изд–во ЮФУ, 2008, 228 с. Ссылка на источник: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20414219>
2. Ильин В.П. Методы и технологии конечных элементов / В.П. Ильин ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т вычисл. математики и мат. Геофизики Новоси-бирск : Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2007, 370 с. - 12 экземпляров.
3. Седов Л.И. Введение в механику сплошной среды / Л.И. Седов М.: Физматгиз, 1962, 284 с. - 10 экземпляров.
4. Лаевский Ю. М. Метод конечных элементов (основы теории, задачи) / Ю.М. Лаевский; М-во образования Рос. Федерации, Новосиб. гос. ун-т Новосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 1999, 166 с - 78 экземпляров.