

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт вычислительной математики и информационных технологий



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Технология OpenMP

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Прикладная математика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): ассистент, б.с. Маркина А.Г. (кафедра прикладной математики и искусственного интеллекта, отделение прикладной математики и информатики), AngGMarkina@kpfu.ru

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО**

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-8	Разработка и отладка программного кода, проверка работоспособности и рефакторинг кода программного обеспечения
ПК-9	Интеграция программных модулей и компонент и верификация выпусков программного продукта, проектирование программного обеспечения

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

- инструменты технологии OpenMP;
- теоретические основы и набор классических способов проверки работоспособности и рефакторинга программного кода;
- методы и приемы разработки и отладки программного кода с помощью технологии OpenMP для проведения высокопроизводительных вычислений;
- основные практические приемы интеграции программных модулей и компонент, разработанных с помощью технологии OpenMP.

Должен уметь:

- применять инструменты технологии OpenMP для написания программного кода;
- выявлять ошибки в программном коде, применять методы и приемы отладки программного кода;
- применять методы и средства для рефакторинга и оптимизации программного обеспечения с помощью технологии OpenMP;
- применять методы и средства сборки программных модулей, разработанных с помощью технологии OpenMP;
- применять технологию OpenMP для проектирования программного обеспечения.

Должен владеть:

- опытом разработки и оптимизации программного кода с использованием технологии OpenMP для проведения высокопроизводительных вычислений;
- навыками отладки программного кода на уровне программных модулей, проверки работоспособности и рефакторинга кода программного обеспечения;
- опытом разработки процедур сборки модулей и компонент программного обеспечения;
- интеграции программных модулей, написанных с помощью технологии OpenMP;
- опытом проектирования программного обеспечения с помощью технологии OpenMP для проведения высокопроизводительных вычислений.

**2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО**

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.02.01 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 01.03.04 "Прикладная математика (Прикладная математика)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 3 курсе в 6 семестре.

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) на 144 часа(ов).

Контактная работа - 72 часа(ов), в том числе лекции - 0 часа(ов), практические занятия - 0 часа(ов), лабораторные работы - 72 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 72 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 6 семестре.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)**

N	Разделы дисциплины / модуля	Се-местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само-стоя-тельная ра-бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи-ческие занятия, всего	Практи-ческие в эл. форме	Лабора-торные работы, всего	Лабора-торные в эл. форме	
1.	Тема 1. Технология OpenMP. Основные понятия и определения.	6	0	0	0	0	12	0	18
2.	Тема 2. Конструкции разделения работ итерационного типа.	6	0	0	0	0	16	0	18
3.	Тема 3. Операции синхронизации работ.	6	0	0	0	0	20	0	18
4.	Тема 4. Применение технологии OpenMP в решении задач вычислительной математики	6	0	0	0	0	24	0	18
	Итого		0	0	0	0	72	0	72

**4.2 Содержание дисциплины (модуля)**

**Тема 1. Технология OpenMP. Основные понятия и определения.**

Краткая история развития OpenMP и область применения. Основные понятия и определения. Средства редактирования, компиляции и запуска параллельной программы. Модель выполнения "ветвление-слияние". Структура программы OpenMP. Инициализация параллельных потоков. Определение номера потока и количества потоков. Разграничение доступа к переменным. Конструкции разделения работ не итерационного типа. Формат записи директив. Директивы sections и single.

**Тема 2. Конструкции разделения работ итерационного типа.**

Формат записи директив конструкции parallel for. Распределение итераций цикла между потоками внутри параллельной области. Статическое и динамическое распределение итераций. Конструкция reduction. Области видимости переменных внутри конструкций parallel for и reduction. Параллельная обработка одномерных и двумерных массивов.

**Тема 3. Операции синхронизации работ.**

Использование атомарных операций. Обработка массивов с помощью атомарных операций. Синхронизация потоков внутри параллельной области. Барьерная синхронизация. Использование критических секций в качестве механизма синхронизации потоков. Особенности синхронизации потоков на примерах обработки двумерных и одномерных массивов в параллельной области.

**Тема 4. Применение технологии OpenMP в решении задач вычислительной математики**

Разработка параллельной программы для решения задач вычислительной математики на многопроцессорных системах с общей памятью. Принципы разработки параллельных алгоритмов. Анализ внутренней структуры алгоритма и выявление параллелизма. Написание эффективных параллельных программ и выполнение адаптации последовательных программ под многопроцессорные системы с общей памятью.

**5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

OpenMP - <https://www.openmp.org/>

PARALLEL.RU - [https://parallel.ru/tech/tech\\_dev/openmp.html](https://parallel.ru/tech/tech_dev/openmp.html)

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Guide into OpenMP: Easy multithreading programming for C++ - <https://bisqwit.iki.fi/story/howto/openmp/>

The OpenMP API specification for parallel programming - <https://www.openmp.org/specifications/>

Команда MS Teams "Технология OpenMP" -

<https://teams.microsoft.com/l/team/19%3ac6be1039335470f8dae3fd59f01f0a7%40thread.tacv2/conversations?groupId=943dab03-b228>

Параллельное программирование с использованием OpenMP - <https://www.intuit.ru/studies/courses/1112/232/info>

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лабораторные работы	При выполнении лабораторных работ необходимо использовать теоретический материал из предложенного списка литературы. Все работы ориентированы на применение технологии OpenMP в разработке параллельных программ для решения задач вычислительной математики. Учебный материал по каждой работе излагается подробно и содержит необходимые пояснительные ссылки и учебные примеры. Текущие задания на лабораторные работы выдаются каждую неделю на практическом занятии. Реализация данной дисциплины предполагает как очное, так и дистанционное форму обучения.
самостоятельная работа	Изучение данного курса предусматривает систематическую самостоятельную работу студентов над теоретическим материалом, текстами рекомендованных учебников и учебных пособий. Основной целью самостоятельных занятий является углубленное изучение основных принципов и методов распараллеливания программ на многопроцессорных системах с общей памятью. При работе с учебными примерами необходимо научиться проводить анализ внутренней структуры алгоритма и выявлять возможные участки параллелизма. При подготовке к каждому занятию необходимо обратиться к рекомендованным учебным пособиям. Самостоятельная работа по изучению курса предполагает вне аудиторную работу. Этапы выполнения самостоятельных работ: 1. Просмотр учебного пособия и рекомендуемой литературы по теме задания. 2. Составление резюме прочитанной главы соответствующего раздела рекомендуемого теоретического источника или учебника. 3. Выполнение заданий по теме и их комментирование.
зачет	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.

### 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

### 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Компьютерный класс.

### 12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 01.03.04 "Прикладная математика" и профилю подготовки "Прикладная математика".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Прикладная математика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

#### Основная литература:

1. Малявко А.А., Параллельное программирование на основе технологий OpenMP, MPI, CUDA : учебное пособие / Малявко А.А. - Новосибирск : Издательство НГТУ, 2015. - 116 с. - ISBN 978-5-7782-2614-2 - Текст: электронный // ЭБС 'Консультант студента': [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778226142.html> (дата обращения: 16.05.2022). - Режим доступа: по подписке.
2. Федотов, И. Е. Модели параллельного программирования: практическое пособие / Федотов И.Е. - Москва: СОЛЮН-Пресс, 2020. - 390 с. - (Серия 'Библиотека профессионала'). - ISBN978-5-91359-222-4. - Текст : электронный. - URL:<https://znanium.com/catalog/product/1858781> (дата обращения: 16.05.2022). - Режим доступа: по подписке.
3. Плещинский, Н.Б. Многопроцессорные вычислительные комплексы. Технологии параллельного программирования: учебное пособие / Н.Б. Плещинский, И.Н. Плещинский . - Казанский федеральный университет, 2018. - 80 с. - Текст : электронный. - URL: [https://kpfu.ru/staff\\_files/F\\_1562889877/mcc18a.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F_1562889877/mcc18a.pdf) (дата обращения: 16.05.2022). - Режим доступа: открытый.
4. Карпова, Е. Д. Основы многопоточного и параллельного программирования: учебное пособие / Карпова Е.Д. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. - 356 с. - ISBN 978-5-7638-3385-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966962> (дата обращения: 16.05.2022). - Режим доступа: по подписке.

#### Дополнительная литература:

1. Гергель, В. П. Теория и практика параллельных вычислений : учебное пособие / В. П. Гергель. - 2-е изд. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - 500 с. - ISBN 978-5-94774-645-7. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785947746457.html> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа : по подписке.
2. Перцев, И. В. Программирование на языке Си : Учебно-методическое пособие / И. В. Перцев. - Новосибирск : СибГУТИ, 2022. - 106 с. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/sibguty20220820.html> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа : по подписке.
3. Арыков, С. Б. Параллельное программирование над общей памятью. OpenMP : учебное пособие / С. Б. Арыков, М. А. Городничев, Г. А. Шукин. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 95 с. - ISBN 978-5-7782-3796-4. - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента'. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778237964.html> (дата обращения: 17.05.2022). - Режим доступа : по подписке.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 01.03.04 - Прикладная математика

Профиль подготовки: Прикладная математика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2022

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "Консультант студента", доступ к которой предоставлен обучающимся. Многопрофильный образовательный ресурс "Консультант студента" является электронной библиотечной системой (ЭБС), предоставляющей доступ через сеть Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретенным на основании прямых договоров с правообладателями. Полностью соответствует требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования к комплектованию библиотек, в том числе электронных, в части формирования фондов основной и дополнительной литературы.