

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан ММФ ТГУ  
Л. В. Гензе

Оценочные материалы по дисциплине

**Технологии параллельного программирования**

по направлению подготовки

**01.04.01 Математика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Фундаментальная математика**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
П.А. Крылов

Председатель УМК  
Е.А. Тарасов

Томск – 2023

## 1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые проблемы математики.

ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Формулирует поставленную задачу, пользуется языком предметной области, обоснованно выбирает метод решения задачи.

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания

Элементы текущего контроля:

– выполнение индивидуальных заданий.

Индивидуальное задание состоит из двух частей:

- 1). Решение задач с помощью технологии MPI.
- 2). Решение задач с помощью технологии OpenMP.

Пример индивидуального задания

Задача 1. (ИОПК 1.1)

На процессе **size-1** задать вещественный массив **X** размерности **n**. Для инициализированных процессов организовать передачу этого массива по кольцу: '**size-1**'->'**size-2**'->...->'**2**'->'**1**'->'**0**' с помощью блокирующих двухточечных функций обмена. На 0-ом процессе распечатать массив **X**.

Задача 2. (ИОПК 1.1)

На процессе с номером '0' задать целочисленный массив **X** размерности  $n=16$ . С помощью функций `MPI_SCATTER` разослать по 4-м процессам фрагменты этого массива. Каждый процесс печатает полученные данные. Произвести сложение всех элементов массива, распределенных по процессам, с помощью функций `MPI_REDUCE` на процессе с номером '2'. Результат напечатать.

Задача 3. (ИОПК 1.1)

С помощью `MPI_Comm_split` создать новые коммуникаторы, содержащие группы процессов  $0 \leq rank \leq m$  и  $m < rank \leq size - 1$  ( $m = size / 2$ ). На каждом процессе нового коммуникатора сформировать блоки из **p** чисел двойной точности (на каждом процессе свое значение **p**) и собрать блоки на всех процессах функцией `MPI_Allgatherv`.

Задача 4. (ИОПК 1.1)

На процессе 0 коммуникатора `MPI_COMM_WORLD` сформировать матрицу размерности  $m \times m$ . Создать производный тип данных функцией – конструктором `MPI_Type_hindexed` и послать всем остальным процессам с помощью функций `MPI_Isend` и `MPI_Irecv` четные строки матрицы.

Задача 5. (ИОПК 1.1)

Написать OpenMP–программу, в первой параллельной области которой определяется значение глобальной целочисленной переменной, равное количеству активных параллельных нитей. Распечатать значение переменной в параллельной области и после ее завершения. Во второй параллельной области умножить значение этой переменной на номер нити и результат распечатать. После второй параллельной области вновь распечатать значение переменной. Дать объяснения.

Задача 6. (ИОПК 1.1)

Для различных типов ключа `shedule` и различных значений `m` распечатать распределение выполняемых циклов по нитям при трехъядерном выполнении задачи. Построить таблицу.

Задача 7. (ИПК 1.1)

Исследовать время счета, ускорение и эффективность OpenMP-программ умножения матриц для вариантов циклов `i-j-k` и `k-i-j`. С помощью ключей `static` для директивы `for` найти распределение итераций по нитям с минимальным временем выполнения. Оценку времени работы программы проводить минимум по трем ее запускам. Обосновать полученные результаты.

Задача 8. (ИПК 1.1)

Написать OpenMP-программу вычисления приближенного значения интеграла  $\iint_D f(x, y) dy dx$  с помощью метода (ячеек, повторного интегрирования, Монте-Карло). С помощью OpenMP-функций, замеряющих время выполнения программы, исследовать ускорение полученных параллельных программ на узле кластера ТГУ Cyberia на двух, трех и четырех ядрах.

Критерии оценивания текущей аттестации.

Результаты выполнения поставленной задачи определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено», если программа работает правильно.

Оценка «не зачтено», если нет программы или программа работает не правильно.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Итоговая аттестация состоит из двух частей.

- 1) Отчет по выполненному индивидуальному заданию, проверяющий ИОПК 1.1 и ИПК 1.1.
- 2) Теоретическая часть (экзамен) содержит два вопроса, проверяющий ИОПК 1.1:  
вопрос 1 - по технологии параллельного программирования MPI;  
вопрос 2 - по технологии OpenMP.

Ответы на вопросы второй части даются в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов (ИОПК 1.1)

1. Топология графа. Функция создания коммуникатора с топологией графа. Вспомогательные функции.
2. Основные понятия технологии OpenMP.
3. Декартова топология. Функция создания коммуникатора с декартовой топологией. Функция расщепления декартовой решетки. Вспомогательные функции.
4. Модель данных. Общие и локальные переменные OpenMP.
5. Производные типы данных. Функции – конструкторы производных типов. Регистрация и удаление производных типов.
6. Синхронизация в OpenMP.
7. Блокирующий двухточечный обмен. Функции передачи сообщения. Функция приема сообщения.
8. Директивы OpenACC для параллельного выполнения. Задание типа параллелизма в директиве `loop`.
9. Коллективные взаимодействия процессов. Синхронизация процессов.
10. Ключи директивы `for` OpenMP.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

При ответе на вопросы оценивается полнота, точность, логичность и аргументированность изложения материала. Система оценивания ответа на теоретические вопросы дана в Таблице.

*Таблица Система критериев при оценивании ответов на вопросы экзамена*

Критерии соответствия	Оценка
Студент полно, четко и логично излагает материал экзаменационного билета	отлично
Ответ не является полным, но изложенная часть логически не противоречива и изложена ясно и понятно.	хорошо
Ответ является неполным, изложение носит поверхностный характер, логически противоречиво, но понятно.	удовлетворительно
Неполный логически противоречивый недоказательный ответ или ответ отсутствует.	неудовлетворительно

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

*Оценочные материалы для проверки остаточных знаний могут быть использованы для формирования программы ГИА (программы государственного экзамена), а также экспертом Рособнадзора при проведении проверки диагностической работы по оценке уровня сформированности компетенций обучающихся (при контрольно-надзорной проверке). Вопросы данного раздела показывают вклад дисциплины в образовательный результат образовательной программы. Объем заданий в данном разделе зависит как от количества формируемых индикаторов достижения компетенций, так и от объема дисциплины по учебному плану.*

##### Тест (ИПК 1.1)

1. Можно ли сообщение, отправленное с помощью блокирующей отправки двухточечного обмена, принять неблокирующей функцией приема?
  - а). да
  - б). нет
2. Какие коллективные функции выполняют взаимно противоположные операции обмена?
  - а). MPI\_Bcast и MPI\_Scatter
  - б). MPI\_Allreduce и MPI\_Reduce
  - в). MPI\_Gather и MPI\_Scatter
  - г). MPI\_Gather и MPI\_Scan
3. Укажите MPI-функции, которые в топологии графа определяют номера процессов связанных с данным процессом?
  - а). MPI\_Graph\_get
  - б). MPI\_Graph\_neighbors
  - в). MPI\_Graph\_neighbors\_count
  - г). MPI\_Graphdims\_getКлючи: 1 а), 2 в), 3 б).
4. Укажите с помощью какой функции определяется номер нити в параллельной области:
  - а) omp\_get\_num\_threads();
  - б) omp\_threads\_num();

в) `omp_get_wtime()`;

5. Укажите какого типа может быть параметр цикла в параллельной области:
- а) `char`
  - б) `float`
  - в) `int`
6. Как производится распределение итераций цикла в параллельной области при использовании ключа `schedule (guided)`?
- а) равномерно между всеми нитями
  - б) только для нити-мастера
  - в) динамически между всеми нитями

Ключ: 4б, 5в, 6в.

Теоретические вопросы (ИОПК 1.1):

1. Основные понятия технологии MPI.  
В ответе нужно указать тип многопроцессорных вычислительных систем, для которых разработана технология, дать описание общей структуры параллельной программы MPI и определения основных понятий: процесса, коммуникатора, сообщения.
2. Функции коллективного обмена MPI.  
Ответ должен содержать основные особенности, характеристики и примеры функций.
3. Топология графа MPI.  
В ответе должно быть дано понятие виртуальной топологии, приведены функции топологии графа.
4. Основные понятия технологии OpenMP  
В ответе нужно указать тип многопроцессорных вычислительных систем, для которых разработана технология, дать описание общей структуры параллельной программы OpenMP и базовых типов конструкций.
5. Общие и локальные переменные OpenMP.  
Ответ должен содержать понятие области видимости и класса переменных, определение общих и локальных переменных.
6. Ключи директивы `for` OpenMP.  
В ответе нужно привести директиву для задания параллельного выполнения циклов и дать описание специфических ключей для данной директивы.

### **Информация о разработчиках**

Старченко Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, кафедра вычислительной математики и компьютерного моделирования ММФ ТГУ, профессор;

Лаева Валентина Ивановна, кафедра вычислительной математики и компьютерного моделирования ММФ ТГУ, старший преподаватель.