

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Л. В. Гензе

Оценочные материалы по дисциплине

**Параллельное программирование**

по направлению подготовки

**01.04.01 Математика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Моделирование и цифровые двойники**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

Е.И. Гурина

Председатель УМК

Е.А. Тарасов

Томск – 2025

## 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.

ОПК-2 Способен строить и анализировать математические модели в современном естествознании, технике, экономике и управлении.

ПК-1 Способен разрабатывать и внедрять цифровые двойники, используя современные технологии, методы и инструменты, с учетом технических требований заказчика и специфики моделируемых объектов и процессов..

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

ИОПК 2.1 Анализирует, выбирает и обосновывает математические модели для решения задач в области современного естествознания, техники, экономики и управления.

ИОПК 2.2 Разрабатывает новые и/или адаптирует/совершенствует математические модели для задач современного естествознания, техники, экономики и управления под руководством более квалифицированного работника.

ИПК 1.1 Анализирует и выбирает современные технологии, методы и инструменты для проектирования и разработки цифровых двойников с учетом специфики решаемых задач.

ИПК 1.3 Разрабатывает математические модели и алгоритмы для создания математической основы цифровых двойников изделий и технических систем.

ИПК 1.4 Применяет современные программные продукты и среды для моделирования и симуляции цифровых двойников.

## 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 2.1)

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 2.2)

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 schedule и различных значений  $m$  распечатать распределение выполняемых циклов по нитям при трехъядерном выполнении задачи. Построить таблицу.

#### Задача 7. (ИПК 1.1, ИПК 1.3, ИПК 1.4)

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, ИПК 1.3, ИПК 1.4)

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 неправильно.

### **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, ИПК 1.3, ИПК 1.4.
- 2) Теоретическая часть (письменный зачет) содержит десять вопросов, проверяющий ИОПК 1.1, ИОПК 2.1, ИОПК 2.2:  
вопросы по технологии параллельного программирования MPI;  
вопросы по технологии OpenMP.

Ответы на вопросы второй части даются в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов (ИОПК 1.1, ИОПК 2.1, ИОПК 2.2)

#### Вопросы 1

1. Дайте современную классификацию суперкомпьютеров.
2. Каких суперкомпьютеров больше: кластеров или MPP-машин?
3. Что такое тест Linpack? Каков его результат?

4. Что такое флопс?
5. Какая операционная система чаще используется на вычислительных кластерах?
6. Какая страна произвела больше всех самых производительных суперкомпьютеров в мире?
7. Какова производительность самого мощного суперкомпьютера в мире?
8. Как называется самый производительный суперкомпьютер в России?
9. Что такое top500? Сколько электроэнергии (Вт) потребляет самый мощный суперкомпьютер?
10. Какова производительность в флопсах кластера ТГУ Cyberia?
11. Самый мощный суперкомпьютер в мире имеет производительность: 1 Exaflops или 1 Petaflops? Дайте правильный ответ.
12. Нарисуйте архитектуру суперкомпьютера с общей памятью.
13. Нарисуйте архитектуру суперкомпьютера с распределенной памятью.

#### Вопросы про MPI

1. Что означает термин «процесс» в MPI?
2. Как нумеруются процессы при запуске MPI-программы?
3. Что такое коммуникатор? Дайте определение.
4. Как производится запуск mpi-программы с помощью команды mpirun?
5. Можно ли в качестве значения тэга в команде отправки сообщения (двухточечный обмен) передать значение номера процесса в коммуникаторе? Как выполнить приём данного сообщения?
6. Какие группы функций обмена сообщениями существуют в MPI?
7. Может ли размер буфера приёма быть меньше буфера отправки?
8. Может ли начальный адрес буфера рассылки совпадать с адресом буфера процесса-получателя при вызове функции MPI Scatter?
9. Можно ли обращаться к MPI - функциям после вызова MPI\_Finalize?
10. Возвращает ли функция MPI\_Send код ошибки, номер процесса, которому адресована передача?
11. В чем различие между блокирующим и неблокирующим обменом?
12. Можно ли в качестве тегов при отсылке различных сообщений в программе использовать одно и то же число?
13. Как избежать тупиковые ситуации при использовании функций обмена?
14. В каком порядке располагаются сообщения корневой процесс при выполнении операции сборки данных MPI\_Gather?
15. Назовите и опишите состав и назначение параметров функций двухточечного обмена MPI.
16. В каком порядке производится операция редукции над данными из разных процессов при вызове функции MPI\_Reduce?
17. Что понимается под «сообщением» в MPI? Какими атрибутами обладает сообщение?
18. Как в MPI определить номер процесса? Количество процессов?
19. Что такое MPI\_COMM\_WORLD?
20. Сколько процессов получают данные при использовании MPI Allreduce?
21. Как задается число процессов при запуске с mpirun?
22. Назовите базовые типы данных в MPI (для языка C).
23. Какой коммуникатор определен после выполнения функции MPI\_Init?
24. Может ли значение переменной size после вызова функции MPI\_Comm\_Size быть равным нулю?
25. Что означает блокирующий обмен сообщениями?
26. Какими атрибутами обладает каждое посылаемое сообщение в MPI?
27. После вызова какой MPI-функции начинается параллельная часть программы?
28. Укажите синтаксические отличия MPI-программы от обычной

последовательной на языке C/C++.

29. В каком случае использование функций MPI\_Send и MPI\_Recv приведет к дедлоку (тупиковой ситуации)?
30. Что означает асинхронный обмен сообщениями?
31. Что происходит при вызове функции MPI\_Barrier? Опишите работу процессов.
32. Какие коммутаторы всегда создаются при старте MPI - программы?
33. Как узнать число запущенных процессов приложения?
34. Как можно принять любое сообщение от любого процесса?
35. Что гарантирует блокировка при передаче/приеме сообщений?
36. Можно ли использовать функцию MPI\_Recv, если не известен отправитель сообщения или тэг сообщения?
37. С помощью какой функции MPI можно определить ранг процесса?
38. Можно ли использовать функции MPI до вызова MPI\_Init?
39. Назовите основные коллективные операции передачи и приема в MPI.
40. Назовите основные коллективные операции редукции в MPI.
41. Сколько процессов коммутатора участвуют в коллективных операциях?
42. Может ли MPI-программа продолжать работу после аварийного завершения одного из процессов?
43. Что такое стандарт MPI?
44. Что выполняет функция MPI\_Scan?
45. Как откомпилировать MPI-программу на языке C/C++?
46. Что такое SPMD?
47. Как засечь время работы MPI-программы?
48. Что выполняет функция MPI\_Sendrecv?
49. Что выполняет функция MPI\_Bcast?
50. Что выполняет функция MPI\_Scatter?
51. Какие операции редукции в функции MPI\_Reduce известны вам?
52. Есть ли функция MPI\_Reduce\_scatter?

#### Вопросы OpenMP

1. На вычислительные системы какого типа ориентирован стандарт OpenMP?
2. Если в программе есть несколько вложенных циклов, и директива #pragma omp for относится к внешнему циклу, как будет выполняться параллельная программа? Приведите пример и опишите работу программы при запуске на 2 нитях.
3. Какой параметр необходимо указывать компилятору для компиляции OpenMP программ?
4. Что такое «инкрементальное распараллеливание»?
5. У каких компонент OpenMP выше приоритет: у функций или переменных окружения? Приведите пример функции, опции и переменной окружения, с помощью которых можно задать количество порождаемых нитей для OpenMP программы.
6. Может ли нить-мастер выполнить область, ассоциированную с директивой single?
7. Что произойдет, если несколько нитей одновременно обратятся к чтению к общей переменной?
8. Можно ли одной директивой распределить между нитями итерации сразу нескольких вложенных циклов?
9. Какое количество потоков выполняют OpenMP-программу при старте?
10. Может ли произойти конфликт, если несколько нитей одновременно обратятся к одной и той же локальной переменной, описанной как private?
11. С помощью какой директивы порождается параллельная область?
12. Что такое общая (shared) память и собственная (private) память? Опишите особенности этих видов памяти.

13. Потоки с какими номерами могут выполнить директивы single и master? Какие не могут выполнить?
14. Какие номера имеют потоки-нити в параллельной области?
15. Как откомпилировать OpenMP-приложение?
16. Напишите OpenMP функцию для определения номера нити.
17. Чем отличаются директивы single и master?
18. Чем отличается нить-мастер от всех остальных нитей?
19. Может ли нить с номером 1 выполнить область, ассоциированную с директивой master?

При ответе на теоретические вопросы оценивается полнота, точность, логичность и аргументированность изложения материала.

#### **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, ИПК 1.3, ИПК 1.4)

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 с помощью какой функции определяется номер нити в параллельной области:
  - а) omp\_get\_num\_threads();
  - б) omp\_threads\_num();
  - в) omp\_get\_wtime();
4. Укажите какого типа может быть параметр цикла в параллельной области:
  - а) char
  - б) float
  - в) int
5. 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: 3б, 4в, 5в.

Теоретические вопросы (ИОПК 1.1, ИОПК 2.1, ИОПК 2.2):

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. 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.

4. Общие и локальные переменные OpenMP.

Ответ должен содержать понятие области видимости и класса переменных, определение общих и локальных переменных.

5. 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.