

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

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ННГУ
протокол № 15 от 24.12.2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Программирование для гетерогенных вычислительных систем

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Системное программирование

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2026 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.03 Программирование для гетерогенных вычислительных систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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 | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение | <p>ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения</p> <p>ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.3: Знает методы и средства проектирования баз данных</p> <p>ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.5: Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных</p> | <p>ПК-4.1: Знать архитектуру и принципы работы графических процессоров;</p> <p>ПК-4.2: Знать современные подходы к разработке, анализу и отладке программных систем на GPU.</p> <p>ПК-4.3: Знать архитектуру и принципы работы графических процессоров</p> <p>ПК-4.4: Уметь оценивать целесообразность применения графического процессора для решения конкретных прикладных задач</p> <p>ПК-4.5: Уметь проектировать, разрабатывать и реализовывать программное обеспечение для графических процессоров</p> <p>Уметь пользоваться навыками и методиками анализа и оптимизации производительности приложений на GPU</p> | Тест | <p>Зачёт:</p> <p>Задачи</p> <p>Контрольные вопросы</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 2 |
| Часов по учебному плану | 72 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 16 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 39 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|---|--------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 |
| Введение в вычисления общего назначения на GPU | 15 | 3 | 3 | 6 | 9 |
| Введение в архитектуру GPU | 12 | 3 | 3 | 6 | 6 |
| Язык CUDA C | 12 | 3 | 3 | 6 | 6 |
| Оптимизация приложений на CUDA | 12 | 3 | 3 | 6 | 6 |
| Использование стандартных библиотек CUDA | 10 | 2 | 2 | 4 | 6 |
| Программирование с использованием технологии OpenCL | 10 | 2 | 2 | 4 | 6 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 72 | 16 | 16 | 33 | 39 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в вычисления общего назначения на GPU

Введение в архитектуру GPU

Язык CUDA C
Оптимизация приложений на CUDA
Использование стандартных библиотек CUDA
Программирование с использованием технологии OpenCL

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Денисенко М. В. Применение распределенных вычислительных систем и технологии cuda для моделирования физических процессов : учебно-методическое пособие / Денисенко М. В., Муняев В. О., Сатанин А. М. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. - 81 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов и аспирантов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.02 «Физика», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 09.03.02 «Информационные системы и технологии». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Информатика.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. RAM память современных графических процессоров:
 - a. Размещена отдельно от основной памяти CPU
 - b. Совмещена с RAM памятью CPU
 - c. +Возможны оба варианта
2. Современные графические процессоры в сравнении с центральными процессорами характеризуются:
 - a. Большим объемом кэш памяти на ядро и большим объемом управляющей логики на кристалле GPU
 - b. Малым объемом кэш памяти на ядро и большим объемом управляющей логики на кристалле GPU
 - c. +Малым объемом кэш памяти на ядро и малым объемом управляющей логики на кристалле GPU
 - d. Большим объемом кэш памяти на ядро и малым объемом управляющей логики на кристалле GPU
3. Латентность доступа к памяти GPU покрывается за счет:
 - a. Большой пропускной способности шины PCI-E

- b. +Большим количеством легковесных потоков на ядро
 - c. Большим количеством кэш памяти на ядро
4. С какой технологии программирования графических процессоров началась эра вычислений общего назначения на GPU:
- a. CUDA
 - b. +Шейдерные языки (shaders)
 - c. OpenCL
5. Технология OpenCL характеризуется:
- a. Относительной универсальностью (подходит только для GPU но всех основных производителей)
 - b. Не универсальностью (подходит только для GPU от конкретного производителя) и легкостью изучения
 - c. +Универсальностью (подходит для разных типов вычислителей) и поддержкой гетерогенных вычислений
6. Какой тип памяти GPU в терминологии CUDA является самым медленным:
- a. +Глобальная
 - b. Разделяемая
 - c. Регистровая
 - d. Текстурный кэш
7. Какой тип памяти GPU в терминологии CUDA полностью размещается в кэше:
- a. Глобальная
 - b. +Разделяемая
 - c. Регистровая
 - d. Текстурная
8. Идентификатор CUDA Compute Capability определяет:
- a. Максимальное энергопотребление GPU
 - b. Количество CUDA ядер
 - c. +Архитектуру GPU и набор функциональных возможностей, доступных программисту
9. Каким идентификатором должна обладать CUDA функция, вызываемая с CPU и работающая на GPU:
- a. __host__
 - b. +__global__
 - c. __device__

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---------------------|
| зачтено | Балл от 51 до 100% |
| не зачтено | Балл менее 50 % |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|--|---|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|----------------|--------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше |

| | | |
|-------------------|----------------------------|--|
| | | предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Выполнить реализацию алгоритма решения задачи на GPU с использованием технологии CUDA (либо OpenCL):

1. Скалярное умножение векторов;
2. Умножение матрицы на вектор;
3. Простое умножение матриц;
4. Блочное умножение матриц;
5. Численное вычисление интеграла методом прямоугольников;
6. Численное вычисление интеграла методом трапеций;
7. Численное вычисление интеграла методом Монте-Карло;
8. Решение системы линейных уравнений методом Якоби;
9. Решение системы линейных уравнений методом Зейделя;
10. Решение системы линейных уравнений методом верхней релаксации;

Проверить корректность результатов. Сравнить время работы алгоритма на GPU со времени работы на центральном процессоре.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Реализация алгоритма дает корректные результаты |
| не зачтено | Алгоритм не реализован или содержит ошибки |

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Гетерогенные вычисления. Типы ускорителей для гетерогенных вычислений.
2. Методы и технологии для программирования на графических процессорах.
3. Архитектура графических процессоров от NVidia. Общее описание.
4. Иерархия памяти графических процессоров.
5. Технология CUDA. Host API.
6. Технология CUDA. Программирование на стороне GPU.
7. Технология CUDA. Иерархия памяти.
8. Подходы к оптимизации приложений на CUDA.
9. Оптимальные шаблоны доступа к памяти на GPU (разделяемой и глобальной).
10. Библиотека cuBLAS.
11. Библиотека cuFFT.
12. Библиотека cuRAND.
13. Библиотека cuSPARSE.
14. Технология OpenCL. Host API.
15. Технология OpenCL. Программирование на стороне GPU.
16. Технология OpenCL. Иерархия памяти.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--------------------------|
| зачтено | Полный, правильный ответ |
| не зачтено | Неправильный ответ |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Основы работы с технологией CUDA / Боресков А.В., Харламов А.А. - Москва : ДМК-пресс, 2010., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636496&idb=0>.
2. Сандерс Дж. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров : монография / Сандерс Дж.; Кэндрот Э. - Москва : ДМК-пресс, 2013. - 232 с. - ISBN 978-5-94074-889-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=772935&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. CUDA Fortran для инженеров и научных работников. Рекомендации по эффективному программированию на языке CUDA Fortran / Рутш Г., Фатика М. - Москва : ДМК-пресс, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647214&idb=0>.
2. Денисенко М. В. Применение распределенных вычислительных систем и технологии cuda для моделирования физических процессов : учебно-методическое пособие / Денисенко М. В., Муняев

В. О., Сатанин А. М. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2017. - 81 с. - Рекомендовано методической комиссией физического факультета для студентов и аспирантов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.02 «Физика», 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и 09.03.02 «Информационные системы и технологии». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Информатика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729718&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

CUDA Toolkit: <https://developer.nvidia.com/cuda-downloads> (свободно распространяемое ПО, лицензия: <http://docs.nvidia.com/cuda/eula/index.html>)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Горшков Антон Валерьевич, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.12.2025, протокол № протокол №6.