

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФТФ

к.ф-м.н. Корель И. И.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Параллельные вычислительные технологии

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Ядерная физика и ядерные технологии

Курс: 4, семестр : 8

Физико-технический факультет,

		Семестр
№	Вид деятельности	8
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	3
2	Всего часов	108
3	Всего занятий в контактной форме, час.	34
4	Лекции, час.	16
5	Практические занятия, час.	16
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	0
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	
10	Самостоятельная работа, час.	74
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	контр.
12	Вид аттестации	3

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

ФГОС введен в действие приказом №937 от 07.08.2014 г. , дата утверждения: 25.08.2014 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 03.03.02 Физика

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ЭФУиУ, протокол заседания кафедры №4 от 20.06.2017

Утверждена на совете физико-технического факультета, протокол № 3 от 21.06.2017

Программу разработал:

профессор, д.ф-м.н. Лазарева Г. Г.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Бурдаков А. В.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Бурдаков А. В.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей; в части следующих результатов обучения:
у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов
Компетенция ФГОС: ОПК.4 способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности; в части следующих результатов обучения:
у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач
Компетенция ФГОС: ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин; в части следующих результатов обучения:
у2. уметь применять механизмы параллельных вычислительных технологий для решения физических задач

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Параллельные вычислительные технологии</i>	
ПК.1.у2 уметь применять механизмы параллельных вычислительных технологий для решения физических задач	
1. применять механизмы параллельных вычислительных технологий для решения физических задач	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.2.у1 уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	
2. некоторые общие методы распараллеливания последовательных алгоритмов и построения параллельных алгоритмов	Лекции; Практические занятия; Самостоятельная работа
3. Осуществлять прием и передачу сообщений, определять параметры полученного сообщения, осуществлять взаимный обмен данными между процессами, применять функцию отсчета времени.	Практические занятия; Самостоятельная работа
ОПК.4.у2 уметь использовать информационные технологии для решения физических задач	
4. Работать с многопроцессорным вычислительным комплексом.	Практические занятия; Самостоятельная работа
5. Работать с прикладными программами UNIX, MPI	Практические занятия; Самостоятельная работа
6. Запрограммировать заданный параллельный алгоритм, отладить его и получить конкретные результаты.	Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения
Семестр: 8			
Дидактическая единица: Основные понятия теории параллельных алгоритмов			

1. Методы повышения производительности компьютеров. Краткий обзор достоинств и недостатков применения современных параллельных ЭВМ для математического моделирования. Параллельный и конвейерный способы обработки данных. Основные топологии многопроцессорных компьютерных систем. Три принципа декомпозиции. Закон Амдала.	0	2	1, 2
2. Примеры параллельных алгоритмов. Пример параллельного алгоритма Левиалди. Пример программы, реализующий алгоритм Левиалди. Пример распараллеливания пузырькового алгоритма сортировки. Пример последовательного и параллельного алгоритмов для решения задачи суммирования чисел. Сравнение количества времени, необходимого для решения задач с помощью последовательного и параллельного алгоритмов.	0	2	1, 2
3. Общие параллельные алгоритмы. Определение общих и составных параллельных алгоритмов. Примеры представления некоторых параллельных алгоритмов в форме двух общих параллельных алгоритмов. Теорема о перестановке, обращающей порядок входных данных. Теорема об алгоритме слияния Батчера. Теорема об операции циклического сдвига.	0	2	1, 2
Дидактическая единица: Параллельные численные методы для решения типовых задач вычислительной математики			
4. Алгоритм сортировки Батчера. Определения компаратора, компараторной, сортирующей и объединяющей сетей. Определения битонической последовательности и битонического делителя. Теорема о битоническом делителе. Битонический алгоритм сортировки. Алгоритмы слияния Батчера сортировки Батчера. Время выполнения алгоритма.	0	2	1, 2
5. Схемы суммирования и их параллельные модификации. Вычисление частичных сумм последовательности числовых значений. Последовательная, каскадная и модифицированная каскадная схемы суммирования.	0	4	1, 2
6. Параллельные алгоритмы умножения матрицы на вектор. Достижение максимально возможного быстродействия. Использование параллелизма среднего уровня. Организация параллельных вычислений в случае равенства количества процессоров порядку матрицы. Использование ограниченного набора процессоров.	0	4	1, 2

Таблица 3.2

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 8				
Дидактическая единица: Лабораторные работы				
1. Выход и регистрация на многопроцессорном вычислительном кластере ССКЦ СО РАН. Написание параллельной программы. Получение выдачи отчетов процессоров.	0	2	1, 2, 4, 5	

2. Написание параллельной программы передачи числа с процессора на процессор. Получение выдачи отчетов процессоров.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	
3. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами. Получение выдачи отчетов процессоров.	0	2	1, 2, 3, 4, 5	
4. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами по схеме "кольцо". Получение выдачи отчетов процессоров.	0	4	1, 2, 3, 4, 5, 6	
5. Запрограммировать заданный параллельный алгоритм, отладить его и получить конкретные результаты. Получить характеристики параллельного алгоритма	0	6	1, 2, 6	

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 8				
1	Контрольные работы	1, 3, 4, 5, 6	2	0
: Вшивков В. А. Параллельные вычислительные методы [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. А. Вшивков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2011]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000161040 . - Загл. с экрана.				
2	Подготовка к занятиям	1, 2	64	0
: Вшивков В. А. Параллельные вычислительные методы [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. А. Вшивков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2011]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000161040 . - Загл. с экрана.				
3	Подготовка к аттестации	1, 2, 3, 4, 5, 6	8	0
: Вшивков В. А. Параллельные вычислительные методы [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. А. Вшивков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2011]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000161040 . - Загл. с экрана.				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Портал НГТУ
Консультирование	Портал НГТУ
Контроль	Портал НГТУ
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Максимальный балл
Семестр: 8	
<i>Практические занятия:</i>	60
Контролирующие материалы - темы лабораторных работ	
<i>Контрольные работы:</i>	20
<i>Зачет:</i>	20

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля	
		Контр. раб.	Зачет
ОПК.2	у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	+	+
ОПК.4	у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач		+
ПК.1	у2. уметь применять механизмы параллельных вычислительных технологий для решения физических задач	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Корнеев В. Д. Параллельное программирование в MPI / В. Д. Корнеев. - М. :, 2003. - 303 с. : ил.
2. Гергель В. П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем : [учебник для вузов по направлениям ВПО 010400 "Прикладная математика и информатика" и 010300 "Фундаментальная информатика и информационные технологии"] / В. П. Гергель ; Б-ка Нижегород. гос. ун-та им. Н. И. Лобачевского. - М., 2010. - 539, [4] с. : ил., схемы, табл.. - На обл. в вых. дан.: Суперкомпьютерный консорциум университетов России.
3. Немнюгин С. А. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем / Сергей Немнюгин, Ольга Стесик. - СПб., 2002. - 396 с. : ил.
4. Ортега . Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем : [учебник] / Дж. Ортега ; пер. с англ. Х. Д. Икрамова, И. Е. Капорина, ред. пер. Х. Д. Икрамов. - М., 1991. - 364, [1] с. : ил., схемы, табл.

Дополнительная литература

1. Воеводин В. В. Параллельные вычисления : [учебник для вузов по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика"] / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. - СПб., 2004. - 599 с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniium.com" : <http://znaniium.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Вшивков В. А. Параллельные вычислительные методы [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / В. А. Вшивков ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2011]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000161040. - Загл. с экрана.

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Презентационное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных и практических занятий

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра электрофизических установок и ускорителей

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФТФ
к.ф.-м.н., доцент И.И. Корель
“ ” _____ Г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Параллельные вычислительные технологии

Образовательная программа: 03.03.02 Физика, профиль: Ядерная физика и ядерные технологии

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Параллельные вычислительные технологии приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.2 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	у1. уметь использовать математический аппарат для освоения теоретических основ и практического использования физических методов	Выход и регистрация на многопроцессорном вычислительном кластере ССКЦ СО РАН. Написание параллельной программы. Получение выдачи отчетов процессоров. Запрограммировать заданный параллельный алгоритм, отладить его и получить конкретные результаты. Получить характеристики параллельного алгоритма Методы повышения производительности компьютеров. Краткий обзор достоинств и недостатков применения современных параллельных ЭВМ для математического моделирования. Параллельный и конвейерный способы обработки данных. Основные топологии многопроцессорных компьютерных систем. Три принципа декомпозиции. Закон Амдала. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами по схеме "кольцо". Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами. Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы передачи числа с процессора на процессор. Получение выдачи отчетов процессоров. Общие параллельные алгоритмы. Определение общих и составных параллельных алгоритмов. Примеры представления некоторых параллельных алгоритмов в форме двух общих параллельных алгоритмов. Теорема о перестановке, обращающей порядок входных данных.	Контрольная работа	Зачет, вопросы теста 1 - 10

		Теорема об алгоритме слияния Батчера. Теорема об операции циклического сдвига. Примеры параллельных алгоритмов. Пример параллельного алгоритма Левиалди. Пример программы, реализующий алгоритм Левиалди. Пример распараллеливания пузырькового алгоритма сортировки. Пример последовательного и параллельного алгоритмов для решения задачи суммирования чисел. Сравнение количества времени, необходимого для решения задач с помощью последовательного и параллельного алгоритмов.		
ОПК.4 способность понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности	у2. уметь использовать информационные технологии для решения физических задач	Выход и регистрация на многопроцессорном вычислительном кластере ССКЦ СО РАН. Написание параллельной программы. Получение выдачи отчетов процессоров. Запрограммировать заданный параллельный алгоритм, отладить его и получить конкретные результаты. Получить характеристики параллельного алгоритма. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами по схеме "кольцо". Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами. Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы передачи числа с процессора на процессор. Получение выдачи отчетов процессоров.		Зачет, вопросы теста 1 - 10
ПК.1/НИ способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	у2. уметь применять механизмы параллельных вычислительных технологий для решения физических задач	Выход и регистрация на многопроцессорном вычислительном кластере ССКЦ СО РАН. Написание параллельной программы. Получение выдачи отчетов процессоров. Запрограммировать заданный параллельный алгоритм, отладить его и получить конкретные результаты. Получить характеристики параллельного алгоритма. Написание параллельной программы обмена данными между процессорами по схеме "кольцо". Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы обмена данными	Контрольная работа	Зачет, вопросы теста 1 - 10

		между процессорами. Получение выдачи отчетов процессоров. Написание параллельной программы передачи числа с процессора на процессор. Получение выдачи отчетов процессоров.		
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 8 семестре - в форме зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.4, ПК.1/НИ.

Зачет проводится в форме письменного тестирования, варианты теста составляются из вопросов, приведенных в паспорте зачета, позволяющих оценить показатели сформированности соответствующих компетенций

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 8 семестре обязательным этапом текущей аттестации является контрольная работа. Требования к выполнению контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.2, ОПК.4, ПК.1/НИ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра электрофизических установок и ускорителей

Паспорт зачета

по дисциплине «Параллельные вычислительные технологии», 8 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в письменной форме, по тестам.

Пример теста для зачета

Вариант 1

Дайте определения следующим понятиям.

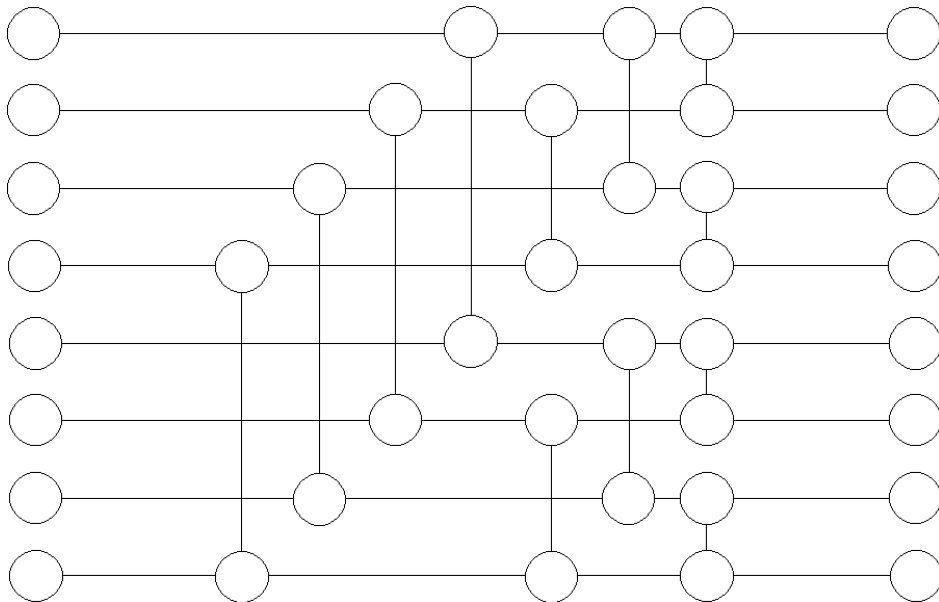
1. Компаратор.
2. Сортирующая сеть.
3. Сливающая сеть.
4. В чем состоит Принцип 0–1?
5. Чистая последовательность.
6. Битоническая последовательность чисел.
7. Битонический делитель.
8. Битонический алгоритм сортировки правильно сортирует:

Любые последовательности чисел	
Чистые последовательности чисел	
Битонические последовательности чисел	
Последовательности четных чисел	

9. Отметить битонические последовательности:

(01010100001)	(12344550000)
(01111110000)	(98761234500)
(11111111000)	(98765678999)
(11110000111)	(06667788899)
(11110001100)	(66666778900)

10. Придумать последовательность из 8 чисел и отсортировать ее с помощью битонического сортирующего алгоритма (вписывая числа в кружочки):



2. Критерии оценки

- Ответ на тест для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент ответил верно менее чем на 4 вопроса теста, оценка составляет *менее 5 баллов*.
- Ответ на тест для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент ответил верно на 6 вопросов теста, оценка составляет *от 6 до 10 баллов*.
- Ответ на тест для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если студент ответил верно на 8 вопросов теста, оценка составляет *от 11 до 15 баллов*.
- Ответ на тест для зачета засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент ответил верно на 10 вопросов теста, оценка составляет *от 16 до 20 баллов*.

3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям теста оставляет не менее 6 баллов (из 20 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Параллельные вычислительные технологии»

1. Компаратор.
2. Сортирующая сеть.
3. Сливающая сеть.
4. В чем состоит Принцип 0–1?
5. Чистая последовательность.
6. Битоническая последовательность чисел.
7. Битонический делитель.
8. Битонический алгоритм сортировки правильно сортирует:

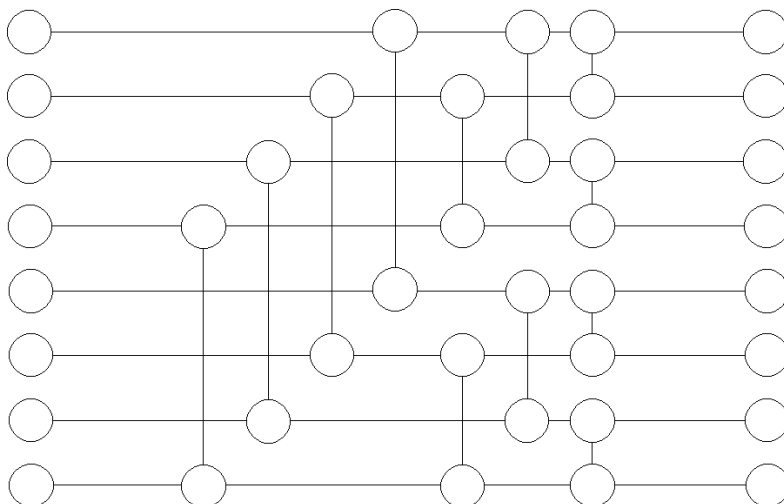
Любые последовательности чисел	
Чистые последовательности чисел	
Битонические последовательности чисел	
Последовательности четных чисел	

9. Отметить битонические последовательности:

(01010100001)	(12344550000)
---------------	---------------

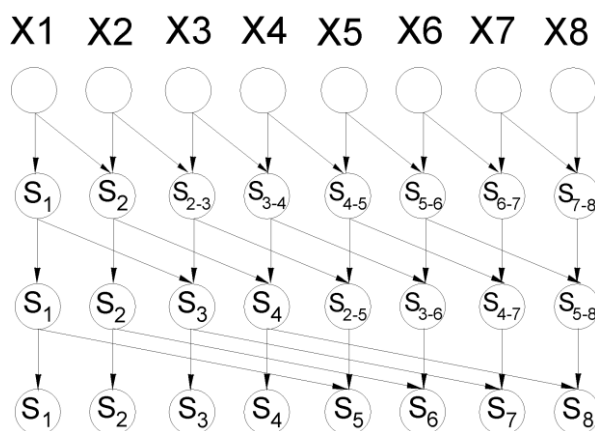
(01111110000)	(98761234500)
(11111111000)	(98765678999)
(11110000111)	(06667788899)
(11110001100)	(66666778900)

10. Придумать последовательность из 8 чисел и отсортировать ее с помощью битонического сортирующего алгоритма (вписывая числа в кружочки):



11. Параллельный вариант алгоритма суммирования.

12. Общее количество операций суммирования для параллельного варианта.
13. Модифицированная каскадная схема суммирования.
14. Параллельный алгоритм вычисления всех частичных сумм.
15. Параллельный алгоритм умножения матрицы на вектор, когда количество процессоров равно квадрату порядка матрицы ($p = n^2$).
16. Ускорение вычислений, получаемое при использовании параллельного алгоритма.
17. Чему равно максимальное ускорение.
18. Эффективность использования параллельной версии алгоритма.
19. Чему равна эффективность при максимальном ускорении.
20. Придумать последовательность из 8 чисел и решить задачу вычисления всех частичных сумм (вписывая числа в кружочки):



Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Параллельные вычислительные технологии», 8 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по теме «Параллельные алгоритмы умножения матрицы на вектор», включает одно задание. Выполняется письменно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если не дано определений основных понятий, не показаны причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допущены принципиальные ошибки. Оценка составляет *от 0 до 5* баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если сформулированы основные понятия, законы, даны качественные характеристики процессов, нет ошибок при решении. Оценка составляет *от 6 до 10* баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если сформулированы основные понятия, законы, допущены не принципиальные ошибки при решении. Оценка составляет *от 11 до 15* баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если проведен сравнительный анализ подходов, представлены количественные характеристики определенных процессов, нет ошибок и обоснован выбор метода решения. Оценка составляет *от 16 до 20* баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

Контрольная работа. Вариант 1. Параллельные методы решения систем линейных алгебраических уравнений с разреженными матрицами.

Цель работы.

Разработать параллельную программу решения СЛАУ с разреженной матрицей итерационным методом. Исследовать число операций параллельного метода, определить ускорение.

Постановка задачи.

Пусть дана система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$Ax = f,$$

которая получается в результате конечно-элементной, конечно-разностной, конечно-объемной аппроксимации. В результате такой аппроксимации матрица A имеет большое количество нулевых элементов, поэтому матрицу необходимо хранить в каком-либо

разреженном формате. Такой формат будет выбираться из вида итерационного метода решения СЛАУ. Будем рассматривать локально-оптимальную схему.

Локально-оптимальная схема:

$$r^0 = f - Ax^0$$

$$z^0 = r^0$$

$$p^0 = d^{-1}Az^0$$

Далее для $k=1,2,\dots$ производятся следующие вычисления:

$$\alpha_k = \frac{(p^{k-1}, r^{k-1})}{(p^{k-1}, p^{k-1})}$$

$$x^k = x^{k-1} + \alpha_k z^{k-1}$$

$$r^k = r^{k-1} - \alpha_k p^{k-1}$$

$$\beta_k = -\frac{(p^{k-1}, d^{-1}Ar^k)}{(p^{k-1}, p^{k-1})}$$

$$z^k = r^k + \beta_k z^{k-1}$$

$$p^k = d^{-1}Ar^k + \beta_k p^{k-1}$$

Выход из итерационного процесса осуществляется либо аварийно по достижению максимального числа итераций, либо по достижению достаточной малости невязки $\|r^k\| < \varepsilon$.

Поставим дифференциальную задачу. Будем рассматривать стационарную задачу распределения температуры в области, куда помещён инородный объект с отличной от области теплопроводности. Таким образом, решаемое уравнение имеет вид:

$$-\operatorname{div}(\mu \operatorname{grad} T) = Q,$$

в расчётной области $[0;1] \times [0;1]$, с областью объекта $[0;0.5] \times [0.2;0.4]$, где коэффициенты теплопроводности имеют значения: $\mu_{ar}=1$ для области, $\mu_{ob}=10$ для объекта, объект выделяет тепло с интенсивностью $Q_{ob}=10$,

краевые условия $T|_{x=0}=1$, $T|_{x=1}=0$, $\frac{\partial T}{\partial n}\bigg|_{y=0} = 0$, $\frac{\partial T}{\partial n}\bigg|_{y=1} = 0$.

Описание формата хранения матрицы:

Основной матрично-векторной операцией в итерационных методах является умножение матрицы на вектор. Поэтому для хранения матрицы будем выбирать такой формат, чтобы матрицу хранить по строкам, так как этот вариант разрезания матрицы наиболее перспективен для распараллеливания умножения матрицы на вектор. Хранить мы будем только ненулевые элементы для каждой строки. Поясним формат на примере следующей матрицы размером $N = 5$:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 & 3 \\ 4 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 7 & 8 & 0 & 9 \\ 0 & 0 & 0 & 10 & 0 \\ 11 & 0 & 0 & 0 & 12 \end{pmatrix}$$

Для хранения матрицы определим следующие массивы:

- **row_ptr[6]** – массив номеров первых элементов в каждой строке в общей нумерации ненулевых элементов матрицы,

- **val[12]** – массив значений элементов матрицы,
- **col_ind[12]** – массив номеров столбцов для каждого элемента.

Таким образом, для данной матрицы получим следующие массивы:

real val[12] = {1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0};

integer col_ind[12] = {0, 1, 4, 0, 1, 2, 1, 2, 4, 3, 0, 4};

integer row_ptr[6] = {0, 3, 6, 9, 10, 12};

Задание.

1. Реализовать последовательный вариант программы для указанного варианта,
2. Реализовать параллельный вариант программы,
3. Оценить количество арифметических операций в последовательном и параллельном варианте,
4. Посчитать теоретическое и практическое ускорение параллельной программы.