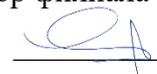


Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в городе Сарове

 /В.В. Воеводин/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Естественные модели параллельных вычислений

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки / специальность:

01.04.02 "Прикладная математика и информатика"

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных

Форма обучения:

очная

Саров 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Естественные модели параллельных вычислений

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в магистратуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». Направленность (профиль) «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных».

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в вариативную часть магистерской образовательной программы «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных», изучается в 1-м семестре.

5 АННОТАЦИЯ

Курс «Естественные модели параллельных вычислений» посвящен описанию классических и современных распределенных вычислительных моделей и алгоритмов – клеточных автоматов, нейронных сетей, генетических алгоритмов, методов роевого интеллекта и т.д. Большая часть рассматриваемого в курсе материала относится к таким актуальным в настоящее время научным направлениям, как естественные вычисления (Natural Computing) и биологически инспирированные вычисления (Bio-Inspired Computing), ориентированных, в частности, на исследование вычислительных возможностей различных природных (в том числе физических и биологических) систем. Популярность рассматриваемых в курсе моделей, их высокая вычислительная сложность и высокая степень встроенного параллелизма определяют широкий интерес к эффективной параллельной реализации данных моделей на современных массивных параллельных вычислительных системах. Теоретические занятия по курсу сопровождаются двумя видами практикума – построение и визуализация моделей и алгоритмов в системе многоагентного моделирования NetLogo и разработка параллельных приложений для рассматриваемых моделей с использованием технологии параллельного программирования MPI.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>способность разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, участвовать в междисциплинарных исследованиях с применением суперкомпьютерных систем (МПК-2);</p> <p>Способен представлять результаты профессиональной деятельности в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе (ОПК-5)</p>	<p>З1 Знать: классические распределенные и современные распределенные вычислительные модели, базовые алгоритмы распределенной обработки информации</p> <p>У1 Уметь: моделировать сложные распределенные системы, разрабатывать параллельные алгоритмы для распределенных алгоритмических моделей, оценивать эффективность распределенных алгоритмов</p> <p>В1 Владеть: навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации</p>

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 36 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 0 часов групповых консультаций, 0 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 4 часа промежуточной аттестации.

72 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, дискретной математике, программированию на языке C/C++, алгоритмам и структурам данных, основам параллельного программирования.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются элементы дистанционных технологий обучения: все материала курса (презентации лекций, теоретические задания в форме тестов с автоматической проверкой ответов, практические задания по программированию и т.д.) доступны всем студентам в сети Интернет. Практические задания выполняются 1) в среде многоагентного моделирования NetLogo; 2) с использованием технологии параллельного программирования MPI. По результатам практических заданий студенты оформляют отчеты.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
Тема 1. Естественные вычислительные модели	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 2. Методы Монте-Карло	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 3. Клеточные автоматы	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 4. Системы Линденмайера	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 5. Марковские системы	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4
Тема 6. Сети Петри	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4

Тема 7. Нейронные сети	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 8. Генетические алгоритмы	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 9. Муравьиные алгоритмы	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 10. Модели роевого интеллекта	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 11. Метод роя частиц	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 12. Алгоритм бактериального поиска	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 13. Алгоритмы роевой робототехники	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 14. Мембранные системы	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Тема 15. ДНК-вычисления	8	2	2	-	-	-	4	4	-	4	
Промежуточная аттестация – практическое контрольное задание + индивидуальное собеседование	24	6	6	-	-	-	12	12	-	12	
Итого	144						72	72			

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература:

- 1) Ершов Н. М., Попова Н. Н. Естественные модели параллельных вычислений. — МАКС Пресс М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. — С. 152.
- 2) Ершов Н.М. Введение в распределенное моделирование в среде NetLogo. — М.: ДМК Пресс, 2018.

Дополнительная учебно-методическая литература:

- 1) Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Данута, Пилиньский Мачей, Рутковский Лешек; Пер.с пол. И.Д.Рудинского. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 452с.
- 2) Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование: Вводный курс: Учебное пособие для вузов / Тарасевич Юрий Юрьевич. - 4-е изд.,испр. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 152с.
- 3) Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / Емельянов Виктор Владимирович, Курейчик Владимир Викторович, Курейчик Виктор Михайлович. - М.: Физматлит, 2003. - 432с.
- 4) Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории / Галушкин Александр Иванович. - М.: Горячая линия - Телеком, 2012. - 496с.
- 5) Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: Учебное пособие для студентов вузов / Ясницкий Леонид Нахимович. - М.: Академия, 2005. - 176с.
- 6) Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Джонс М.Тим; Пер.с англ. А.И.Осипова. - М.: Пресс, 2006. - 312с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <https://stackoverflow.com>
- 2) <https://habrahabr.ru/>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения: в процессе обучения используются приложения Google Docs, среда разработки MS Visual Studio, библиотеки параллельного программирования MPI, OpenMP, CUDA, среда многоагентного моделирования NetLogo.

Лицензионное программное обеспечение, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.

6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrainsPyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrainsCLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit)Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продуктCodeBlocksThe Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit)Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продуктHaskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
26. Программный продуктMicrosoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования

4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации

5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

Материально-техническая база: для преподавания дисциплины аудитория, оборудованная проектором.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

к.ф.- м.н., с.н.с. Ершов Николай Михайлович (ershov@cs.msu.ru)

Приложение

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Естественные модели параллельных вычислений»

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – итогового письменного теста и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	из соответствующих карт компетенций					
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
УК-1 Способен формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
ОПК-3 Способен создавать и анализировать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
ОПК-4 Способен комбинировать и адаптиро-	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но не-	Сформированные, но содержащие	Сформированные систематические	Письменный тест

<p>вать современные информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности</p>			полные знания	отдельные проблемы знания	знания	
<p>ПК-7 Способен структурировать общую схему решения прикладной задачи в соответствии с ее спецификой, а также определить совокупность и особенности применения математических методов для каждого из этапов полученной схемы</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
<p>МПК-1 Способность понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест

высокопроизводительных вычислительных системах						
МПК-2 Способность разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, участвовать в междисциплинарных исследованиях с применением суперкомпьютерных систем	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест

Фонды оценочных средств

Примерный письменный тест для текущего контроля успеваемости.

Задание №3. Метод роя частиц

1 Какие из следующих «колоний» могут служить моделями роевого поведения? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) колония тараканов;
- (b) львиный прайд;
- (c) стая рыб;
- (d) толпа людей.

2 Какое из следующих правил *не является* правилом Рейнолдса?

- (a) Каждая птица старается не приближаться к другим птицам на расстояние, меньшее некоторой заданной величины.
- (b) Каждая птица старается выровнять свою скорость согласно скоростям своих соседей.
- (c) Каждая птица старается максимально отдалиться от своих соседей.
- (d) Каждая птица старается расположиться в геометрическом центре масс своей локальной окрестности.

3 Моделированию какого рода систем была посвящена работа Кеннеди и Эберхарта, в которой они ввели понятие метода роя частиц?

- (a) Социальные системы.
- (b) Стаи птиц.
- (c) Эволюционные вычисления.
- (d) Гравитационные системы.

4 Принцип *простой ностальгии* означает, что частица старается

- (a) попасть в точку глобального максимума целевой функции
- (b) не приближаться к другим частицам
- (c) сохранить текущую скорость
- (d) вернуться в точку, в которой ею было достигнуто лучшее значение целевой функции

5 По каким правилам обновляются состояния (положение и скорость) частиц в методе роя частиц (полагая $\tau = 1$)?

- (a)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i + \alpha(p_i - x_i) + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

- (b)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + \alpha(p_i - x_i), \\ v_i \leftarrow v_i + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

- (c)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i + \alpha(p_i - x_i) + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

- (d)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i - \alpha(p_i + x_i) - \beta(g + x_i); \end{cases}$$

6 Рассмотрим задачу минимизации функции $F(x) = |x_1| + |x_2|$ с помощью метода роя частиц. Пусть рой состоит из двух частиц, заданы их текущие координаты $x_{1,2}$, скорости $v_{1,2}$ и координаты лучших точек их траекторий $p_{1,2}$:

$$x_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, v_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, p_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ и } x_2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}, v_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, p_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Полагая $\alpha = \beta = \tau = 1$, вычислите положение второй частицы на следующем шаге эволюции системы (сначала обновляется скорость, затем координаты).

7 Какими свойствами *может* обладать целевая функция в метод роя частиц (без его специальной адаптации)? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) непрерывная область определения
- (b) дискретная область определения
- (c) динамическая (зависит от времени)
- (d) стохастическая

8 Какие имеются методы решения проблемы бесконечного ускорения частиц в методе роя частиц? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) введение максимально допустимой скорости (скорости «света»)
- (b) штраф частицам, превышающим установленный лимит скорости
- (c) введение коэффициента сопротивления среды
- (d) включение в систему силы притяжения между частицами

9 Преобразуйте вектор $(34, -12, 7, 87, 1, -33, 8, 14)$ в перестановку чисел от 1 до 8.

10 Укажите отличия метода CSO от метода роя частиц? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) решается задача минимизации, а не максимизации
- (b) не используются принципы Рейнолдса
- (c) не используется принцип простой ностальгии
- (d) для обновления скорости применяется турнирная схема

Примерное практическое задание по параллельному программированию.

Задание 2 MPI: Генетические алгоритмы

Для каждого практического задания по результатам расчетов необходимо подготовить краткий отчет, в который должна быть включена следующая информация:

- ФИО, email;
- название задания;
- графики указанных в задании зависимостей;
- полный код параллельной программы.

Задание 2. Генетические алгоритмы

Решается задача минимизации непрерывной n -мерной функции $f(x)$ с помощью генетического алгоритма. В качестве целевых функций выступают сферическая функция (f_0), функция Розенброка (f_1) и функция Растригина (f_2):

$$\begin{aligned}f_0(x) &= \sum_{i=1}^n x_i^2, \\f_1(x) &= \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_i^2 - x_{i+1})^2 + (x_i - 1)^2], \\f_2(x) &= \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10].\end{aligned}$$

Начальная область поиска $x_i \in [-100, 100]$, $i = 1, \dots, n$.

Имеется последовательная версия генетического алгоритма, в которой используются следующие генетические операторы:

- Турнирная схема отбора — все особи разбиваются на пары, в каждой паре с некоторой вероятностью производится турнир, в котором с заданной вероятностью побеждает особь с меньшим значением целевой функции. Победитель удаляется из популяции, вместо него помещается копия победителя.
- Три варианта оператора скрещивания — одноточечное, двухточечное и равномерное.

- Мутация — с некоторой вероятностью к каждой компоненте решения (гену) прибавляется небольшое случайное число.

Для распараллеливания заданного генетического алгоритма предлагается использовать *островную* модель, когда вся популяция разбивается на субпопуляции (острова), внутри каждой субпопуляции реализуется описанный генетический алгоритм (см. главу 6 пособия). С некоторой частотой между субпопуляциями выполняется миграция — две субпопуляции обмениваются частью своих особей.

В настоящем задании предлагается использовать циклическую миграцию, при которой взаимодействуют соседние субпопуляции с номерами i и $i+1$ (при этом первая субпопуляция взаимодействует с последней).

Два параметра управляют работой миграции: *размер миграции* — сколько особей пересылается из одной субпопуляции в другую, и *частота миграции* — количество итераций генетического алгоритма, после выполнения которых к субпопуляции применяется оператор миграции.

Вашей задачей является MPI-реализация описанной островной модели. Параллельная программа должна корректно реализовывать генетический алгоритм и на выходе выдавать зависимость средней погрешности (т.е. разности между достигнутым минимальным значением целевой функции и значением ее глобального минимума) по популяции от номера итерации.

По результатам выполнения задания необходимо подготовить графики сходимости алгоритма (средняя ошибка по популяции и лучшая ошибка в популяции от номера итерации) для *всех* трех заданных целевых функций.

Примерные вопросы для итогового письменного теста и индивидуального собеседования на промежуточной аттестации.

1. Одномерные клеточные автоматы
2. Двумерные двоичные клеточные автоматы
3. Клеточный автомат Конвея
4. Алгоритмическая универсальность клеточных автоматов
5. Одномерные Марковские автоматы
6. Алгоритмическая универсальность Марковских автоматов
7. Двумерные Марковские автоматы
8. Алгоритмы параллельных подстановок
9. Мембранные системы
10. Алгоритмическая универсальность мембранных систем
11. Решение задачи о гамильтоновом пути с помощью мембранных систем
12. ДНК вычисления
13. Опыт Адлемана
14. Решение задачи SAT3 с помощью ДНК-вычислений
15. Сети Петри
16. Временные сети Петри
17. Ингибиторные сети Петри
18. Цветные сети Петри
19. Искусственные нейронные сети
20. Персептрон Розенблатта
21. Многослойные нейронные сети, алгоритм обучения Error Back Propagation
22. Рекуррентные нейронные сети

23. Генетические алгоритмы
24. Решение задач комбинаторной оптимизации с помощью генетических алгоритмов
25. Муравьиные алгоритмы
26. Роевые алгоритмы

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль выполняется в виде защит практических и индивидуальных работ, проверки домашних заданий. Промежуточный контроль проводится в виде экзамена, на котором обсуждаются теоретические вопросы курса. Оценивание знаний, умений и навыков производится на основе балльно-рейтинговой системы. При рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах. Предполагается 6 форм контроля, по которым студенты получают баллы:

1. Посещаемость лекций (макс. 10 баллов).
2. Посещаемость семинаров (макс. 10 баллов).
3. Выполнение домашних заданий к каждой лекции (макс. 20 баллов).
4. Выполнение практических заданий по параллельному программированию (макс. 20 баллов).
5. Выполнение практических заданий по моделированию в среде NetLogo (макс. 20 баллов).
6. Экзамен (макс. 20 баллов).

Итоговая оценка за курс рассчитывается исходя из набранных студентом баллов (от 0 до 100 баллов). Критерии оценок:

- «5» \geq 90 баллов;
- «4» \geq 70 баллов;
- «3» \geq 50 баллов;
- «2» $<$ 50 баллов.