

# Интернет-ориентированный учебный курс «Основы параллельных вычислений»: понятно о сложном<sup>\*</sup>

В.П. Гергель, В.Д. Кустикова

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

В работе обсуждается разработанный в Нижегородском университете учебный курс «Основы параллельных вычислений», для построения которого использована современная методика представления образовательных материалов для одновременного обучения большого числа слушателей (Massive Open Online Course, MOOC). В рамках такого подхода учебный курс излагается в максимально простой и понятной форме с широким использованием презентационных и видео материалов. При этом изучаемые темы разбиваются на сравнительно небольшие подтемы, которые не требуют значительных усилий для освоения – тем самым, обеспечивается постоянная успешность обучения, что, безусловно, повышает мотивацию обучаемых для дальнейшего изучения курса. Для понимания уровня освоения изучаемого учебного материала курс содержит большое количество тестовых вопросов и, что самое главное, в рамках курса предусмотрены задания для самостоятельной разработки параллельных программ, которые направляются на сервер учебного курса для автоматической проверки корректности и масштабируемости. В целом, перечисленные принципиальные особенности курса могут привлечь большое число слушателей и, тем самым, привлечь внимание обучаемых к профессиональной деятельности в увлекательной области параллельных вычислений и суперкомпьютерных технологий.

*Ключевые слова:* параллельные вычисления, образовательный курс, системы с общей памятью, OpenMP.

## 1. Введение

Параллельные вычисления – достаточно молодая область компьютерных наук. Проблема выработки эффективной методики обучения основам параллельных вычислений встает особенно остро, когда речь идет о необходимости быстрого перехода от теории к практике, от математических основ разработки параллельных методов к реализации конкретных приложений.

Электронное обучение представляет собой новый этап развития технологий образования, основанных на самостоятельном изучении дисциплины. Цель электронного обучения состоит в том, чтобы предоставить возможность получения необходимых знаний максимально возможному числу заинтересованных лиц независимо от их возраста, социального статуса и местонахождения. При этом базис процесса обучения составляет интенсивная самостоятельная работа учащегося, во многом обусловленная наличием сильной мотивации.

В работе приводится описание электронного учебного курса «Основы параллельных вычислений». Курс разработан на базе системы электронного обучения ННГУ <http://e-learning.unn.ru>. Курс ориентирован на учащихся, имеющих навыки разработки программ на языке программирования C/C++ (реализация, компиляция, отладка). Наряду с этим, предполагается, что студенты имеют базовые математические знания, отвечающие 2-3 курсу университета. Отличительной особенностью курса является возможность быстрого старта в разработке параллельных приложений на системы с общей памятью с использованием технологии OpenMP. При этом обеспечивается автоматический контроль как теоретических знаний, полученных в ходе освоения лекционных материалов, так и разрабатываемых параллельных программ.

Работа построена следующим образом. В разделе 2 рассмотрены аналогичные работы по данной тематике. В разделах 3 и 4 дается характеристика лекционной и практической частей курса. В разделе 5 приводится методика изучения курса. В разделе 6 дается описание методики

---

<sup>\*</sup> Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №16-11-10150).

оценивания знаний слушателя курса. В разделе 7 содержится краткая справочная информация о средствах разработки курса.

## 2. Существующие курсы

Область параллельных вычислений является активно развивающейся. По мере появления новых аппаратных архитектур и технологий параллельного программирования разрабатываются технологии обучения и соответствующие учебные курсы. Структура подобных курсов стандартизирована и описана в ряде рекомендаций [1, 2].

В ходе создания Системы научно-образовательных центров суперкомпьютерных технологий (Системы НОЦ СКТ), охватывающей всю территорию России, разработаны учебные программы подготовки специалистов начального уровня, переподготовки и повышения квалификации профессорско-преподавательского состава, а также программы обучения спецгрупп и программы дистанционного обучения на базе Интернет-университета. Отличительными особенностями проекта Интернет-университет являются реализация классической формы обучения на новой технологической основе и доступность обучения за счет использования сети Интернет [3]. Данный проект можно считать одним из первых шагов в сторону решения задачи массовой популяризации суперкомпьютерных технологий.

В настоящее время все большую известность приобретает новая методика обучения и представления образовательных материалов для одновременного обучения большого числа слушателей (Massive Open Online Course, MOOC) [4]. Данная методика не обошла стороной и область параллельных вычислений. Далее рассматриваются MOOC по параллельным технологиям, поскольку именно данное направление является темой работы.

Среди наиболее релевантных курсов, которые близки по тематике и содержанию к разработанному, на сайте MOOC [4] можно обнаружить курсы «Концепции параллельного программирования» [5], «Параллельное программирование» [6] и «Высокопроизводительные научные вычисления» [7]. Первый из перечисленных курсов [5] рассматривает модели параллельного программирования (параллелизм по данным, передача сообщений, модель функционального программирования), паттерны и некоторые лучшие практики программирования для систем с общей и распределенной памятью. Данный курс представляет собой широкий обзор концепций параллелизма. В [6] рассматриваются фундаментальные основы параллельного программирования и демонстрируется, насколько хорошо идеи функционального программирования ложатся на парадигму параллелизма по данным. В целом [6] ориентирован на специалистов в области функционального программирования. Курс [7] направлен на базовое освоение инструментов и техник параллельного программирования. Включает в себя техническое описание работы в командной строке (Unix, Mac OS), организацию работы с системами контроля версий, базовые материалы по технологиям OpenMP и MPI в языке FORTRAN, возможности параллельного программирования в Python, техники тестирования, верификации и валидации программ, а также другие темы, которые неизбежно возникают в процессе разработки вычислительно-трудоемких приложений. Среди курсов продвинутого уровня можно выделить «Введение в параллельное программирование. Применение CUDA для использования мощности GPU» [8] и «Гетерогенное параллельное программирование» [9]. Оба курса предполагают изучение фундаментальных основ программирования для графических процессоров на примере технологии NVIDIA CUDA.

В разработанном курсе делается попытка изложить основы параллельных вычислений в максимально простой и понятной форме с широким применением презентационных и видео материалов. При этом предусматриваются задания для самостоятельной разработки параллельных программ на примере одной из самых простых технологий параллельного программирования для систем с общей памятью OpenMP. В отличие от курсов, рассмотренных выше, решения практических заданий в ходе изучения курса отправляются на сервер автоматической проверки корректности и масштабируемости программ, что в значительной степени упрощает работу преподавателя. Более того, учащийся получает полный отчет о проверке отправленного задания. Материалы курса разработаны на базе учебного пособия [10], а также ранее использовались в программах повышения квалификации в Нижегородском университете [11] и программах обучения спецгрупп по направлению высокопроизводительные вычисления [12].

### 3. Лекционная часть курса

Теоретическая часть курса включает десять лекций, каждая из которых разбита на небольшие темы. Лекция подкреплена описанием рассматриваемого материала, тема – презентацией и видео-лекцией продолжительностью не более 15 минут с целью повышения качества восприятия и усвоения материала. В конце теоретической части каждой лекции имеется видео, содержащее обсуждение основных вопросов рассмотренной лекции, которое позволяет в очередной раз обратить внимание слушателя на ключевые изученные им моменты.

#### ***Лекция 1. Введение в параллельное программирование.***

Тема 1. Важность параллельных вычислений.

Тема 2. Общая характеристика курса.

#### ***Лекция 2. Основные понятия и определения.***

Тема 1. Понятие параллельных вычислений.

Тема 2. Показатели эффективности.

Тема 3. Суперкомпьютеры сегодня.

#### ***Лекция 3. Параллельное программирование с использованием OpenMP.***

Тема 1. Основы подхода.

Тема 2. Директивы OpenMP. Определение параллельной области.

Тема 3. Директивы OpenMP. Управление областью видимости данных.

Тема 4. Директивы OpenMP. Распределение вычислений между потоками.

Тема 5. Директивы OpenMP. Операция редукции.

#### ***Лекция 4. Принципы разработки параллельных методов.***

Тема 1. Схема разработки параллельных программ.

Тема 2. Этапы разработки параллельных алгоритмов. Разделение вычислений на независимые части.

Тема 3. Этапы разработки параллельных алгоритмов. Выделение информационных зависимостей.

Тема 4. Этапы разработки параллельных алгоритмов. Масштабирование набора подзадач.

Тема 5. Этапы разработки параллельных алгоритмов. Распределение подзадач между вычислительными элементами.

#### ***Лекция 5. Параллельные методы умножения матрицы на вектор.***

Тема 1. Последовательный алгоритм умножения матрицы на вектор.

Тема 2. Оценка времени выполнения последовательного алгоритма умножения матрицы на вектор.

Тема 3. Принципы распараллеливания матричных вычислений.

Тема 4. Ленточная горизонтальная схема разделения данных.

Тема 5. Оценка времени выполнения параллельного метода, основанного на ленточной горизонтальной схеме разделения данных.

Тема 6. Ленточная вертикальная схема разделения данных (для самостоятельного изучения).

#### ***Лекция 6. Параллельные методы матричного умножения.***

Тема 1. Последовательный алгоритм умножения матриц.

Тема 2. Базовый параллельный алгоритм умножения матриц.

Тема 3. Блочный параллельный алгоритм умножения матриц.

Тема 4. Модификация блочного параллельного алгоритма умножения матриц с целью эффективного использования кэш-памяти.

Тема 5. Ленточная схема разделения данных (для самостоятельного изучения).

#### ***Лекция 7. Параллельное программирование с использованием OpenMP (продолжение).***

Тема 1. Директивы OpenMP. Синхронизация вычислений.

Тема 2. Библиотека функций OpenMP.

#### ***Лекция 8. Параллельные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.***

Тема 1. Постановка задачи решения дифференциальных уравнений в частных производных.

Тема 2. Проблема блокировки при взаимоисключении.

Тема 3. Проблема неоднозначности вычислений в параллельных программах.

Тема 4. Исключение неоднозначности вычислений.

Тема 5. Волновые схемы параллельных вычислений.

Тема 6. Блочное представление данных

#### **Лекция 9. Организация параллельных вычислений для систем с общей памятью.**

Тема 1. Параллелизм как основа высокопроизводительных вычислений.

Тема 2. Классификация вычислительных систем.

Тема 3. Параллелизм на основе симметричной мультипроцессорности.

Тема 4. Параллелизм на основе одновременной многопоточности.

Тема 5. Параллелизм на основе многоядерности.

#### **Лекция 10. Моделирование и анализ параллельных вычислений.**

Тема 1. Моделирование параллельных вычислений.

Тема 2. Анализ модели параллельных вычислений.

Тема 3. Показатели эффективности параллельного алгоритма.

Тема 4. Примеры анализа эффективности параллельных вычислений.

Первые две лекции курса формируют общее представление о параллельных вычислениях и позволяют ввести минимально необходимую терминологию для дальнейшего обсуждения вопросов, касающихся эффективности параллельных алгоритмов. Третья лекция обеспечивает технологическую базу для предоставления возможности быстрого старта в разработке параллельных приложений для систем с общей памятью с использованием технологии OpenMP. В лекции приводится характеристика основных директив OpenMP. Четвертая лекция направлена на изучение общей схемы разработки параллельных алгоритмов с целью определения эффективных способов организации вычислений. По существу на данном этапе формируются теоретические основы параллельных вычислений. Пятая и шестая лекции содержат классические примеры распараллеливания вычислений в задачах умножения матрицы на вектор и умножения матриц. В задаче умножения матрицы на вектор детально рассматривается ленточная горизонтальная схема разделения данных и выполняется построение теоретических оценок времени выполнения параллельного метода при использовании указанной схемы. В задаче матричного умножения разбирается блочный параллельный алгоритм умножения и его модификации. Седьмая лекция предполагает более глубокое изучение технологии OpenMP. Рассматриваются различные примитивы синхронизации и функции библиотеки OpenMP. В восьмой лекции приводится еще один классический пример – решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона. Цель лекции – познакомить с основными проблемами, возникающими при распараллеливании вычислений, и способами их решения. В девятой вводится классификация вычислительных систем, рассматриваются понятия параллелизма на основе многопоточности и многоядерности. В десятой объясняются теоретические основы моделирования и анализа параллельных вычислений. Вводится понятие графа «операции–операнды», дается пример построения оценок эффективности параллельных методов.

## **4. Практическая часть курса**

Практическая часть курса предполагает наличие следующих структурных блоков:

**1. Задания для самостоятельной работы.** В состав входят задания, связанные с разработкой параллельных программ с использованием технологии OpenMP. Контроль выполнения указанных заданий осуществляется учащимся самостоятельно. Материал, необходимый для решения заданий, представлен в лекциях.

**2. Проверочные задания.** Курс предусматривает четыре проверочных задания, которые также предполагают разработку параллельных приложений. Контроль выполнения заданий осуществляется с использованием системы автоматической проверки, сопряженной с системой электронного обучения.

**3. Контроль знаний.** Контроль знаний включает в себя прохождение тестов, содержащих вопросы с возможными вариантами ответов, по каждой лекции.

Наряду с этим, для осознания важности и значимости параллельных вычислений в курсе предусмотрена демонстрация примеров реальных проектов, выполняемых в Нижегородском университете, которые привлекают параллельные вычисления для решения сложных практиче-

ских задач. По существу это интервью с руководителями проектов, которые рассказывают о важности применения параллельных вычислений в задачах моделирования динамики сердца, цифровой медицины и ряда других областей. Освоение данного материала не влияет на оценку знаний учащегося, тем не менее, рекомендуется преподавателями с целью расширения собственного кругозора.

## 5. Методика изучения курса

Электронный курс открыт для регистрации с сентября по декабрь. Предполагается, что материалы лекций осваиваются учащимся последовательно в соответствии с предложенной программой. Методика самостоятельного изучения лекций включает выполнение следующих действий:

1. Изучение материалов каждой темы в лекции (презентация, видео). Для получения более подробной информации учащийся может обратиться к текстовому описанию соответствующей лекции, которое представляет собой подробный документ с выделенными разделами по каждой теме лекции.
2. Просмотр видео с обсуждением основных вопросов лекции.
3. Выполнение заданий для самостоятельной работы.
4. Выполнение проверочного задания (при наличии такового).
5. Выполнение соответствующего теста к лекции.
6. Просмотр видео с примерами проектов, выполняемых в Нижегородском университете, которые привлекают параллельные вычисления для решения сложных практических задач (при наличии такового).

Для получения доступа к материалам следующей лекции необходимо успешно выполнить проверочное задание (при наличии такового) и тест текущей лекции. При этом время освоения лекционных материалов и время выполнения практических заданий учащийся выбирает самостоятельно в рамках периода доступности курса для регистрации. Вопросы, возникающие в ходе изучения курса, можно задать преподавателям или другим слушателям на общем форуме. На основании результатов выполнения контролируемых заданий учащийся получает журнал итоговых баллов, по которому можно судить об уровне усвоения материала. В рамках такой методики роль преподавателя сведена к минимуму, что обеспечивает объективность оценки знаний.

## 6. Методика оценки знаний обучаемых

Оценка знаний учащихся выполняется на основании следующей информации:

**1. Результаты прохождения тестов по итогам каждой лекции.** Максимальный балл за каждый вопрос теста равен «1». Если вопрос содержит один правильный ответ, то учащийся получает «1», если дан корректный ответ, «0» – в противном случае. При наличии  $N$  правильных вариантов ответа учащегося за каждый корректный вариант получает балл, равный « $1/N$ ».

**2. Результаты выполнения проверочных заданий.** Максимальное количество баллов за каждое задание составляет «100». Учащийся получает максимальный балл при условии, что программа успешно скомпилирована и пройдены все тесты. Для проверки задания учащийся должен выполнить следующие действия:

- Отправить исходные коды программы.
- Выбрать компилятор для сборки исходных кодов.

Система автоматической проверки при поступлении нового задания выполняет последовательность действий, приведенную ниже.

- Компиляция исходных кодов с использованием указанного компилятора.
- Проверка корректности работы программы на небольших наборах входных данных, подготовленных преподавателем и покрывающих максимально возможное количество особых случаев решения задачи.
- Проверка программы на данных большой размерности, подготовленных преподавателем. Каждый тест включает в себя запуск программы на различном количестве потоков (на-

пример, 1, 2, 4, 8), проверку корректности полученного результата, вычисление ускорения для каждого заданного числа потоков и сравнение полученного значения ускорения с эталонным, определяемым преподавателем согласно теоретическим оценкам.

Следует отметить, что система проверки заданий не предполагает анализ пришедшего исходного кода на предмет технологических дефектов.

## 7. Средства разработки курса

Курс «Основы параллельных вычислений» разработан на базе системы электронного обучения Нижегородского университета <http://e-learning.unn.ru>, которая функционирует на открытой платформе электронного обучения Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment, модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда) [13]. Платформа является широко известной и активно развивается сообществом. Она предоставляет значительный спектр возможностей для разработки и наполнения онлайн-курсов.

Каждый объект на странице курса представляет собой компонент некоторого типа.

1. «Пояснение» для вставки обычного текста на страницу/компоненту курса.
2. «Ссылка» для оформления ссылок на внешние ресурсы, в частности, видео лекций.
3. «Ссылка на файл» для вставки ссылок на файлы курса: программу курса, презентации и текстовые описания лекций.
4. «Страница» для удобного и функционального отображения видео обсуждений основных вопросов лекции и интервью с руководителями проектов, в которых решаются практически важные задачи с использованием параллельных вычислений.
5. «Тест» для наполнения тестов по каждой лекции и формирования системы оценивания вопросов.
6. «Форум» для организации общения учащихся с преподавателями.
7. «Задание» для оформления проверочных заданий.
8. «Глоссарий» для создания терминологического словаря по разработанному курсу.

В случае полной готовности контента курса к публикации, при наличии быстрого доступа в Интернет и должных навыков работы с Moodle наполнение электронной страницы курса занимает не больше одной рабочей недели разработчика курса. Освоение возможностей Moodle не представляет сложности, поскольку в сети Интернет имеется большое число обучающих материалов, которые сопровождаются видеозаписями.

Разработка системы автоматической проверки параллельных программ – это отдельная техническая задача, которая сводится к разработке системы взаимодействующих сервисов, приложений и веб-сервисов. Интеграция системы проверки программ с Moodle также доступная для решения задача вследствие наличия у Moodle открытого программного интерфейса. Разработка системы проверки и организация ее взаимодействия с Moodle выходит за рамки настоящей работы.

## 8. Заключение

В работе представлен учебный курс «Основы параллельных вычислений», для построения которого была использована современная методика представления образовательных материалов для одновременного обучения большого числа слушателей. Представлена программа курса, методика самостоятельного изучения и методика оценивания знаний учащихся. Основная цель курса – самостоятельное изучение основ параллельных вычислений с использованием максимально простой и понятной формы, предполагающей наличие широкого спектра презентационных и видео материалов. Структурированность курса и наличие большого количества заданий для самоконтроля способствуют повышению качества самостоятельного освоения основ параллельных вычислений. Перечисленные принципиальные особенности курса могут привлечь большое число слушателей и, тем самым, привлечь внимание обучаемых к профессиональной деятельности в увлекательной области параллельных вычислений и суперкомпьютерных технологий. Первичную апробацию разработанного курса планируется провести в осеннем семестре текущего года.

## Литература

1. Computer Science Curricula 2013 URL: <https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf> (дата обращения: 14.06.2016).
2. NSF/IEEE-TCPP Curriculum Initiative on Parallel and Distributed Computing – Core Topics for Undergraduates URL: <http://grid.cs.gsu.edu/~tcpp/curriculum/?q=home> (дата обращения: 14.06.2016).
3. Антонов А.С., Воеводин В.В., Гергель В.П., Соколинский Л.Б. Системный подход к суперкомпьютерному образованию // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2013. Т. 2, № 2. С. 5-17.
4. Free Online Courses for everyone! List of MOOCs offered by the Best Universities and Entities <https://www.mooc-list.com> (дата обращения: 14.06.2016).
5. Parallel Programming Concepts. URL: <https://open.hpi.de/courses/2efebcdd-0749-4ca3-8396-58a09e7bf070> (дата обращения: 14.06.2016).
6. Parallel programming. URL: [https://www.coursera.org/learn/parprog1?siteID=.GqSdLGGurk-V9YazzHdzg5C8LLm6cpr8A&utm\\_content=10&utm\\_medium=partners&utm\\_source=linkshare&utm\\_campaign=\\*GqSdLGGurk](https://www.coursera.org/learn/parprog1?siteID=.GqSdLGGurk-V9YazzHdzg5C8LLm6cpr8A&utm_content=10&utm_medium=partners&utm_source=linkshare&utm_campaign=*GqSdLGGurk) (дата обращения: 14.06.2016).
7. High Performance Scientific Computing. URL: <https://www.coursera.org/course/scicomp> (дата обращения: 14.06.2016).
8. Intro to Parallel Programming. Using CUDA to Harness the Power of GPUs. URL: <https://www.udacity.com/course/intro-to-parallel-programming--cs344> (дата обращения: 14.06.2016).
9. Heterogeneous Parallel Programming. URL: <https://www.coursera.org/course/hetero> (дата обращения: 14.06.2016).
10. Гергель В.П. Современные языки и технологии параллельного программирования // М.: Изд-во Московского университета, 2012.
11. Гергель В.П., Линев А.В., Мееров И.Б., Сысоев А.В. Об опыте проведения программ повышения квалификации профессорско-преподавательского состава по направлению высокопроизводительные вычисления // Открытое и дистанционное образование. 2010. № 3. С. 15-20.
12. Баркалов К.А., Гергель В.П., Гергель А.В., Мееров И.Б., Сысоев А.В. Организация и проведение всероссийской школы по суперкомпьютерным технологиям // Открытое и дистанционное образование. 2010. № 2. С. 24-29.
13. Moodle – Open-source learning platform. URL: <https://moodle.org> (дата обращения: 25.07.2016).

## Internet-Oriented Educational Course «Introduction to Parallel Computing»: A Simple Way to Start

V.P. Gergel<sup>1</sup>, V.D. Kustikova<sup>1</sup>

Lobachevski State University of Nizhny Novgorod<sup>1</sup>

Educational course «Basics of Parallel Computing» developed at Nizhny Novgorod State University, in the development of which a modern method of presentation of the educational materials for simultaneous teaching a large number of attendees (Massive Open Online Course, MOOC) has been applied is discussed in this work. Within the framework of this approach, the educational course is delivered in the most simple and clear form with a wide use of the presentational and visual materials. At that, the topics being studied are subdivided into relatively small subtopics, which don't require significant effort to learn – thus, a continuous success of learning is provided that increases the motivation of the students for further studying the course certainly. For evaluation of the progress in the understanding of the educational content being studied, the course includes a large number of the test questionnaire and, which is the most important, the tasks for the development of the parallel software by the students themselves are provided within the framework of the course. The software developed is transferred to the server of the educational course for the automated checking of the correctness. In general, the key features of the course listed above can attract a large number of attendees and, therefore, bring the students' attention to the professional activity in an enthralling field of parallel computing and supercomputer technologies.

*Keywords:* parallel computing, Massive Open Online Course, shared-memory systems, OpenMP.

### References

1. Computer Science Curricula 2013 URL: <https://www.acm.org/education/CS2013-final-report.pdf> (accessed: 14.06.2016).
2. NSF/IEEE-TCPP Curriculum Initiative on Parallel and Distributed Computing – Core Topics for Undergraduates URL: <http://grid.cs.gsu.edu/~tcpp/curriculum/?q=home> (accessed: 14.06.2016).
3. Antonov A.S., Voevodin V.V., Gergel V.P., Sokolinskiy L.B. Sistemnyy podkhod k superkomp'yuternomu obrazovaniyu [A systematic approach to supercomputing education] // Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Vychislitel'naya matematika i informatika [Bulletin of South Ural State University. Series: Computational mathematics and informatics]. 2013. Vol. 2, No 2. P. 5-17.
4. Free Online Courses for everyone! List of MOOCs offered by the Best Universities and Entities <https://www.mooc-list.com> (accessed: 14.06.2016).
5. Parallel Programming Concepts. URL: <https://open.hpi.de/courses/2efebcdd-0749-4ca3-8396-58a09e7bf070> (accessed: 14.06.2016).
6. Parallel programming. URL: [https://www.coursera.org/learn/parprog1?siteID=.GqSdLGGurk-V9YazzHdzg5C8LLm6cpr8A&utm\\_content=10&utm\\_medium=partners&utm\\_source=linkshare&utm\\_campaign=\\*GqSdLGGurk](https://www.coursera.org/learn/parprog1?siteID=.GqSdLGGurk-V9YazzHdzg5C8LLm6cpr8A&utm_content=10&utm_medium=partners&utm_source=linkshare&utm_campaign=*GqSdLGGurk) (accessed: 14.06.2016).
7. High Performance Scientific Computing. URL: <https://www.coursera.org/course/scicomp> (accessed: 14.06.2016).
8. Intro to Parallel Programming. Using CUDA to Harness the Power of GPUs. URL: <https://www.udacity.com/course/intro-to-parallel-programming--cs344> (accessed: 14.06.2016).
9. Heterogeneous Parallel Programming. URL: <https://www.coursera.org/course/hetero> (accessed: 14.06.2016).

10. Gergel V.P. *Sovremennye yazyki i tekhnologii parallel'nogo programmirovaniya* [Modern languages and technologies of parallel programming] // M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta [M.: Publishing of Moscow State University], 2012.
11. Gergel V.P., Linev A.V., Meerov I.B., Sysoev A.V. *Ob opyte provedeniya programm povysheniya kvalifikatsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava po napravleniyu vysokoproizvoditel'nye vychisleniya* [On the experience of the training programs for the teaching staff towards high performance computing] // *Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie* [Open and distance education]. 2010. No. 3. P. 15-20.
12. Barkalov K.A., Gergel V.P., Gergel A.V., Meerov I.B., Sysoev A.V. *Organizatsiya i provedenie vserossiyskoy shkoly po superkomp'yuternym tekhnologiyam* [Organization and holding of the All-Russia School on supercomputer technologies] // *Otkrytoe i distantsionnoe obrazovanie* [Open and distance education]. 2010. No. 2. P. 24-29.
13. Moodle – Open-source learning platform. URL: <https://moodle.org> (accessed: 25.07.2016).