

ОПЫТ ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Бухановский, А.В. Духанов, А.С. Климова, А.В. Рыбин

Введение

Современные тенденции развития отечественного высшего образования ориентированы на всестороннюю интернационализацию, следствием которой должно стать международное признание ведущих российских университетов, в частности, в рейтинговых перечнях сотни ведущих вузов мира [1]. Это включает в себя интернационализацию научно-исследовательской деятельности, совместные магистерские и PhD-программы по приоритетным направлениям, организацию международной мобильности, стимулирование публикационной активности в международных изданиях, а также технологической и инфраструктурной базы для поддержки международной мобильности для поддержки данных направлений продвижения отечественных разработок (в том числе, и в образовательной сфере) на зарубежном рынке.

В целом потенциал интернационализации образования применительно к конкретным направлениям подготовки и предметным областям различен в силу объективных причин. Потому для отработки ключевых механизмов целесообразно рассматривать пилотные направления, которые (а) являются динамичными, достаточно перспективными и широко востребованными в мире в целом, (б) во многом развиваются благодаря зарубежным результатам научных исследований и разработок, и (в) являются диффузными по отношению к другим областям знания. Характерным примером такого направления являются суперкомпьютерные технологии (включая также технологии распределенных высокопроизводительных вычислений и систем). Потенциал интернационализации в данном случае определяется следующими тенденциями [2]:

- Суперкомпьютерные технологии (СКТ) являются интеграционным направлением, обеспечивающим инструментарий для исследований и производства в различных предметных областях (например, в рамках концепций eScience и eEngineering). Это позволяет тиражировать приобретаемый опыт интернационализации в рамках мультидисциплинарных программ подготовки и в программах обучения специалистов-предметников.
- СКТ развиваются достаточно динамично и требуют расширения образовательных программ новыми СКТ-курсами, охватывающими передовые направления развития отрасли. Это делает необходимым постоянное приведение образовательных программ к актуальному уровню, что обеспечивает в целом безболезненные процессы модернизации учебного процесса в соответствии с мировым уровнем.
- СКТ подразумевают существенное многообразие областей применения; при этом специфика предметной области во многом отражается на применяемых подходах, методах и алгоритмах. Потому формирование и проведение полноценных образовательных программ в области СКТ на мировом уровне, по-видимому, нецелесообразно, и требует привлечения консорциумов отечественных и зарубежных университетов. В свою очередь, это позволяет эффективно реализовать мобильность студентов, аспирантов и молодых ученых, а также сформировать основы для франчайзинга образовательных программ отечественных университетов в ближнее зарубежье (страны СНГ).

В данной статье обсуждаются результаты пилотных мероприятий в области интернационализации СКТ-образования, выполняемых НИУ ИТМО в 2010-2013 г. в целях отработки основных механизмов, допускающих последующее тиражирование в рамках отечественной системы суперкомпьютерного образования [3].

Совместная магистерская образовательная программа

Совместная магистерская образовательная программа (СОП) предусматривает параллельное обучение магистранта в двух университетах-партнерах с возможностью получения двух дипломов (российского и зарубежного образца) в один и тот же срок. Это достигается за счет обеспечения эквивалентности образовательных программ обоих вузов и взаимозачета кредитов, полученных в ходе обучения.

СОП «Суперкомпьютерные технологии в междисциплинарных исследованиях» («Computational Science in Multidisciplinary Research») разработана и внедрена НИУ ИТМО и Университетом Амстердама (Нидерланды, далее - УА). Выбор партнера обусловлен не только географической близостью, но и наличием у УА большого опыта в реализации международных образовательных программ (более 70), достойным местом в рейтинге 100 лучших университетов в мире, а также традиционной ориентацией на исследования и подготовку магистров и аспирантов в области распределенных вычислений и eScience. СОП полностью соответствует государственному образовательному стандарту третьего поколения направления «Прикладная математика и информатика». Программу реализует кафедра высокопроизводительных вычислений и научно-образовательный центр «Суперкомпьютерные технологии Северо-Западного Федерального округа» (НОЦ СКТ-СЗ) [4].

Учебный план программы рассчитан на 120 зачетных единиц (ЗЕ), которые эквивалентны кредитам ECTS (European Credit Transfer and Accumulation System) и определяет подготовку магистров по 17 учебным дисциплинам – 60 ЗЕ (в том числе дисциплины по выбору). Также в программу включено прохождение

практики и выполнение научно-исследовательской работы – 36 ЗЕ, сдачу государственных экзаменов – 3 ЗЕ, подготовку и защиту магистерской диссертации – 21 ЗЕ.

Учебные дисциплины, осваиваемые магистрантами в течение первых трех семестров, формируют три уровня компетенций:

Базовый – на данном уровне магистранты совершенствуют свои знания, навыки и умения в базовых направлениях, соответствующих прикладной математике и информатике, в том числе проектирования и разработки программного обеспечения для научных расчетов. Достижение компетенций базового уровня обеспечивается следующими дисциплинами (в основном – первый семестр):

- Современные проблемы прикладной математики и информатики;
- Технологии параллельного программирования;
- Современная теория информации;
- Математические модели комплексов программ;
- Анализ и разработка алгоритмов.

Общенаучный – данный уровень определяет компетенции применять математический аппарат в научных исследованиях и разрабатывать программное обеспечение для научных расчетов с применением технологий высокопроизводительных и распределенных вычислений. Освоение компетенций общенаучного уровня обеспечивается следующими дисциплинами второго учебного семестра:

- Непрерывные математические модели;
- Дискретные математические модели;
- Вероятностные математические модели;
- Модели и методы высокопроизводительных вычислений.

Профессиональный – данный уровень определяет в основном профессиональные компетенции как в проектировании, создании и модернизации высокотехнологичных распределенных инфраструктур электронной науки (eScience) в том числе с применением облачных вычислений, так и решении предметных задач с применением высокопроизводительных вычислений. Для освоения таких возможностей студентам предложены следующие дисциплины:

- Моделирование сложных систем;
- Эволюционные вычисления;
- Научная компьютерная графика и виртуальная реальность;
- Геоинформатика и моделирование геоэкологических систем;
- Биоинформатика;
- Моделирование финансовых процессов.

Для обеспечения студентов необходимыми знаниями для сдачи государственных экзаменов по философии и иностранному языку в учебный план СОП со стороны НИУ ИТМО включены две дисциплины: «Философская антропология и социальная философия», «Иностранный язык» (в учебном плане УА не требуются).

В соответствии с Приложением к договору об академическом и научном сотрудничестве между университетом Амстердама (УА) и НИУ ИТМО от 9 апреля 2013 г. [5] УА в полном объеме признает первый год СОП, реализуемой в соответствии с учебным планом НИУ ИТМО, и обеспечивает ее реализацию в третьем семестре, в том числе проводит дисциплины, которые соответствуют профессиональному уровню. В заключительном (четвертом) семестре студенты сдают государственные экзамены в НИУ ИТМО, готовят магистерскую диссертацию под руководством как представителя УА, так и представителя НИУ ИТМО, оформляют ее в форме двух отдельных документов в соответствии с требованиями обоих университетов. Защита может проводиться одновременно по двум вузам, или последовательно (с интервалом в несколько дней), что зависит от процедуры формирования экзаменационной комиссии. Благодаря функционированию в НИУ ИТМО лаборатории экстренных вычислений (Advanced Computing Laboratory) под руководством профессора УА Петруса М.А. Слоота [6], подготовка магистерской диссертации возможна не только в УА, но и в НИУ ИТМО, что существенно снижает издержки студентов в освоении СОП (оплачивается только один семестр из четырех). При этом, плата за обучение в УА в рамках СОП уменьшена с 12000 до 1713 евро в соответствии со специальным решением администрации УА [7].

С 2012 года открыт набор абитуриентов на вышеописанную СОП и в рамках приемной комиссии 2012 года было зачислено 17 магистрантов из 10 различных городов России и Казахстана. Вступительные испытания и начальное тестирование выявили разный уровень подготовки студентов в области математического моделирования, программирования и владения английским языком. По этой причине в осеннем семестре в факультативном порядке были организованы соответствующие дополнительные занятия. Для снятия языкового барьера в весеннем семестре организован и проведен уникальный курс английского языка «English: Scientific Background» (Английский язык: научный контекст). Курс провел сертифицированный преподаватель, носитель языка, доктор философских наук университета Вашингтона Кристофер Лундвалл (международный сертификат TESOL). Выполнены все предварительные организационные мероприятия для осуществления поездки магистрантов в Амстердам осенью 2012 года.

В рамках приемной кампании НИУ ИТМО 2013 года количество зарезервированных бюджетных мест на СОП увеличено на 30%.

Конечной целью разработки и реализации СОП является не только обеспечение условий получения образования в европейском университете для российских студентов, но обучение иностранных студентов, в том числе из развитых стран. Обеспечить такой процесс не возможно без преподавания на английском языке и разработки соответствующих материалов учебно-методического комплекса. Потому в рамках реализации программы национального исследовательского университета ИТМО осуществляет разработку полного комплекса документов и учебно-методических материалов на английском языке для вышеприведенной СОП, которые бы позволили, начиная с 2014 г., начать реализацию на территории НИУ ИТМО дополнительной программы, полностью соответствующей по своим характеристикам требованиям УА. Это включает в себя справку о программе, содержащую общие сведения о программе: цель программы, перечень дисциплин, результаты образования (Learning Outcomes); расширенные силлабусы дисциплин с перечнем лекционных и лабораторных занятий; методические материалы по каждой дисциплине, содержащие конспекты лекций, слайды презентаций, указания к выполнению лабораторных работ.

Тем самым, преподаватели отечественных вузов получают необходимые материалы для успешной реализации СОП на английском языке, как для иностранных студентов, так и для соотечественников (для которых такой стиль обучения может быть полезен с точки зрения языковой практики).

Основываясь на успешном опыте реализации СОП «Суперкомпьютерные технологии в междисциплинарных исследованиях», в НИУ ИТМО с 2013 г. дополнительно запущены разработки 6 новых СОП, в том числе по направлениям: «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», «Фотоника и оптоинформатика», «Мехатроника и робототехника».

Организация мобильности: молодежные школы и конференции

Организация международной мобильности молодых ученых и специалистов на системном уровне может быть реализована в рамках международных молодежных школ и конференций. Смысл таких мероприятий состоит в привлечении не только ведущих зарубежных ученых к проведению лекций и мастер-классов, но и в «полном погружении» российских участников в стиль проведения международных научных мероприятий – за счет приглашения их сверстников - молодых ученых из ведущих зарубежных университетов в области СКТ.

НИУ ИТМО и УА совместно организовали и провели первую и вторую международные молодежные школы «High Performance Computing and Simulation» (Высокопроизводительные вычисления и компьютерное моделирование). Школы прошли в 2012 и 2013 годах в Амстердаме (Нидерланды) и Барселоне (Испания) соответственно. Этим мероприятиям предшествовали конкурсы статей и презентаций, в которых молодые ученые и специалисты предоставляли свои работы в соответствии с международными требованиями по оформлению статей и рекомендациями к составлению и публичному представлению научного доклада. В 2013 году конкурс презентаций (научных докладов) был проведен в рамках отдельного мероприятия – молодежной школы-практикума «Технологии высокопроизводительных вычислений и компьютерного моделирования: технологии eScience», прошедшей в Санкт-Петербурге на базе НИУ ИТМО.

По итогам конкурсов было отобрано около 40 работ. Их авторы – победители конкурсов – откликнувшись на предложение НИУ ИТМО, представили свои работы на английском языке: в 2012 году в университете Амстердама, в 2013 года на международной научной конференции ICCS-2013 (International Conference on Computational Science: Computation at the Frontiers of Science – международная конференция по вычислительным наукам: вычисления на переднем крае науки) [8]. В рамках молодежных школ молодые ученые и специалисты имели редкую возможность живого общения мировых лидеров в области высокопроизводительных вычислений, включая проф. Дж. Донгара, проф. Дэвида Де Рур, проф. Бастиента Чопарда и доктора Терри Ван дер Пила (рис. 1).

Другим инструментом организации мобильности (в данном случае – внутривосточной) являются школы-практикумы «Технологии высокопроизводительных вычислений и компьютерного моделирования», традиционно проводимые на базе НИУ ИТМО в Санкт-Петербурге с 2008 года. Каждый год тематика школы меняется в соответствии с мировыми трендами в области СКТ и их приложений (что отражается в проектной деятельности НИУ ИТМО). Так, в 2012-2013 гг. рассматривались вопросы, связанные с сопряжением СКТ, технологий виртуальной реальности и визуализации больших объемов данных. Вся занятия сопровождаются демонстрационными примерами с применением уникального оборудования, включая интерактивный стол, профессиональную систему захвата движения и 3D стены (3D Wall).

В 2012-2013 гг. в школах-практикумах приняло участие более 50 молодых учёных и специалистов из 20 городов России и Белоруссии, лекции провели 6 ведущих учёных – докторов наук, в том числе проф. Нечаев Юрий Иванович, проф. Клименко Станислав Владимирович, проф. Штейнберг Борис Яковлевич (рис. 2).



Рис. 1. Международная молодежная школа-конференция «HPC Technologies and computer modeling», Амстердам, Нидерланды (2012 г.), Барселона, Испания (2013 г.)



Рис. 2. Молодежная школа-практикум «Технологии высокопроизводительных вычислений и компьютерного моделирования», НИУ ИТМО, Санкт-Петербург, 2012, 2013 гг.

Кроме вышеприведенных мероприятий в рамках деятельности НОЦ СКТ по Северо-Западному Федеральному округу, НИУ ИТМО в 2011-2012 г. провел курсы по параллельным вычислениям, облачным вычислениям, технологиям распределенной обработки данных не только на базе НИУ ИТМО, но и на площадках других вузов Северо-Западного федерального округа. В частности в 2012 году в Северном Арктическом государственном университете имени М. В. Ломоносова (г. Архангельск) проведены курсы «Параллельные вычислительные технологии», «Технология Windows Communication Foundation (WCF) и ее использование для создания распределенных приложений». За весь период своей образовательной деятельности НОЦ «СКТ-СЗ» подготовил более 400 специалистов.

Рассмотренные выше российские мероприятия по мобильности молодых ученых и специалистов используются как инструменты для первичного отбора потенциальных кандидатов для участия в международных школах-конференциях в области СКТ. Третья Международная молодежная школа-конференция «HPC Technologies and computer modeling» пройдет в июне 2014 г. в г. Санкт-Петербург.

По результатам работ молодежных школ в 2012 г. был издан специальный выпуск журнала *Journal of Computational Science* (Elsevier) [9].

Учебно-методическое обеспечение мобильности с применением облачных вычислений

Организация мобильности молодых ученых и специалистов (как внутри России, так и за рубежом) требует развития специальных инструментов для коллаборативной работы с различными высокопроизводительными вычислительными системами, устройствами ввода, хранения и отображения данных, экспериментальными установками и пр. Их использование позволяет существенно сократить время и затраты на командировки ученого, обеспечивая его присутствие *in situ* лишь на ключевых этапах выполнения проекта. Для этого в НИУ ИТМО внедрена методика автоматизации процесса разработки виртуальных сред на основе технологий облачных вычислений [10] с применением платформы CLAVIRE. Она основывается на применении модели AaaS (Application as a Service) облачных вычислений и позволяет конструировать композитные приложения. При этом само композитное приложение является совокупностью

взаимодействующих облачных сервисов (в том числе вычислительных пакетов), ориентированных на решение общей междисциплинарной задачи. Таким образом, удаленным пользователям представляется своего рода виртуальная лаборатория ВЛ, обеспечивающая не только проведение научных исследований, но и собственно учебный процесс на основе новых моделей обучения, которые отличаются полнотой положительных дескрипторов уровней знаний, умений и личностных качеств, включая стимулирование инициативной ответственности за счет вовлечения обучаемого. На основании этих моделей предложены дескрипторы уровней знаний, умений и личностных качеств, которые позволяют определить возможности усвоения материала и получения необходимых навыков с применением различных режимов доступа к композитному приложению. В частности дескриптор уровня умения «Исследовательские умения» предусматривает возможность применения всего функционала создания и выполнения композитных приложений и означает умение самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, творческое использование технологий.

Доступ к композитным приложениям обеспечивается с помощью специализированного web-окружения, включающего в себя три вида интерфейса: проблемно-ориентированный (CLAVIRE/ПОИ), интерфейс виртуальных моделирующих объектов (CLAVIRE/VSO), редактор композитных приложений (CLAVIRE/Ginger), которые обеспечивают изучение заданного процесса на соответствующем уровне детализации. С помощью высокоуровневого средства описания пакетов CLAVIRE/PackageManager разработчик практикумов может создавать различные сценарии изучаемых процессов, используя один и тот же набор сервисов. Весь процесс работы разработчика (участника учебного/исследовательского проекта, эксперта и т.д.), которые применяют вышеприведенные интерфейсы для интеграции своих пакетов и их применения в облаке CLAVIRE, сводится к схеме, представленной на рис. 3.

Благодаря полученной методике применение информационных технологий в фундаментальном и инженерном образовании переходит на принципиально новый качественный уровень, благодаря частичному нивелированию негативных педагогических эффектов «Эрозия знаний» и «Информационная избыточность» [10]. Подтверждением тому является успешная реализация проектов ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ориентированные на мобильность молодых ученых [11]. Их образовательной составляющей стала возможность привлекаемого молодого ученого/специалиста создать свой собственный облачный сервис на основе применения СКТ. На ученого/специалиста возлагалась задача не только встраивания пакета в платформу CLAVIRE, но создания средств визуализации (в том числе в режиме стерео на широком экране) результатов его работы с возможностью управления с помощью средств захвата движения (рис. 4). Такая интерактивная визуализация призвана повысить наглядность представляемого процесса. При этом специфика организации исследований и разработки состоит в том, что привлеченные специалисты/обучаемые выполняют все технологические операции посредством распределенной инфраструктуры eScience, и не работают с самой системой виртуальной реальности до этапа интерпретации результатов. Тем самым реализуется возможность дистанционного применения уникального оборудования (системы виртуальной реальности), сочетаемая с высоким уровнем адаптивности применяемого программного инструментария разработки пользовательских приложений.

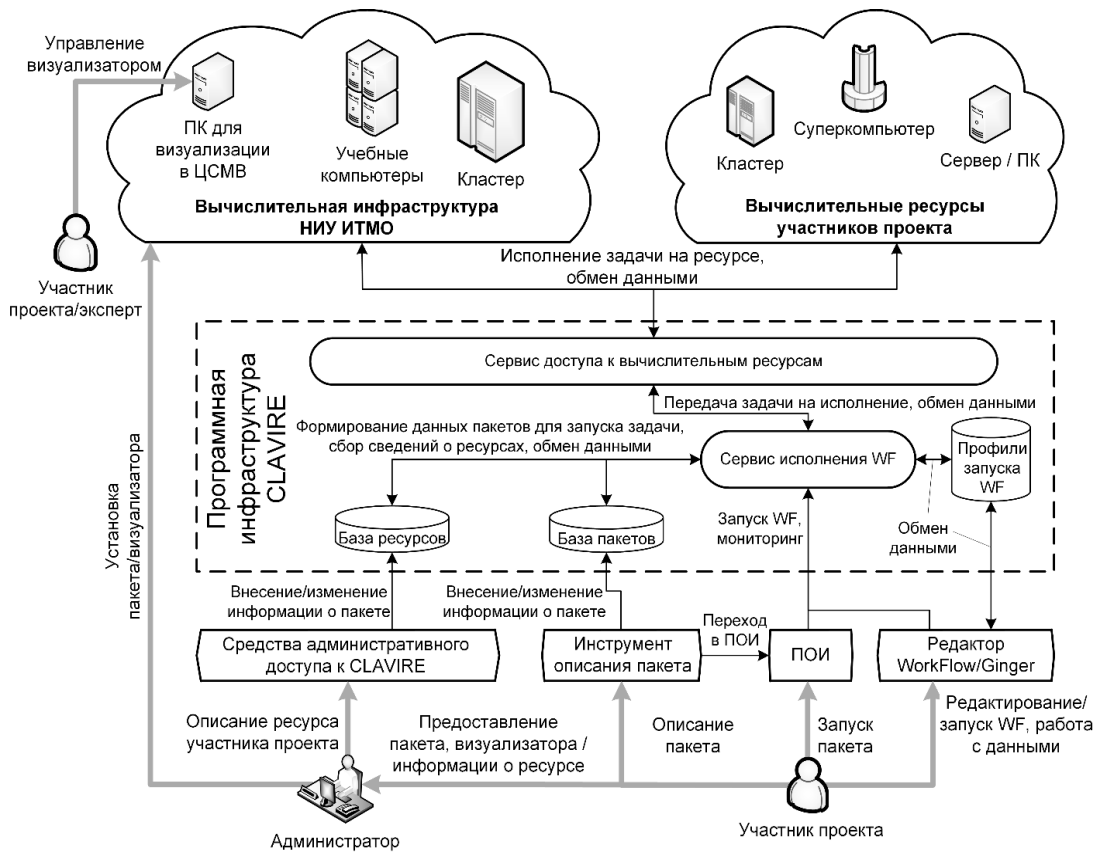


Рис. 3. Схема взаимодействия участника проекта по мобильности молодых ученых с инструментальной средой CLAVIRE при встраивании пакета и его использования в облачной среде.

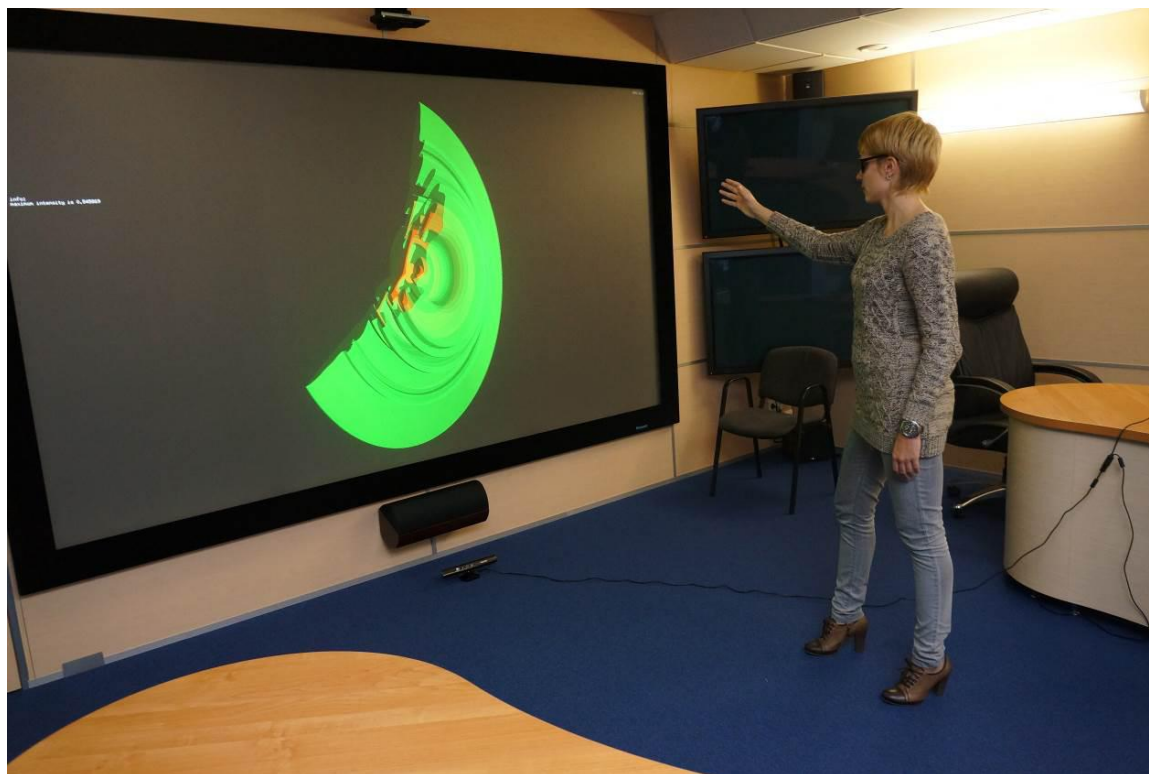


Рис. 4. Интерактивное изучение процесса параксиального распространения ультра-коротких лазерных импульсов с помощью широкоформатного 3D-экрана и системы захвата движения (сам расчет производится на вычислительной системе НГТУ, Н. Новгород, визуализация – в НИУ ИТМО).

Разработанная инфраструктура коллаборативной работы для организации мобильности молодых ученых в настоящее время внедряется НИУ ИТМО как стандарт для взаимодействия с зарубежными университетами.

Заключение

В данной работе представлен опыт НИУ ИТМО в области интернационализации СКТ-образования. Разработана и успешно реализуется совместная образовательная программа «Суперкомпьютерные технологии в междисциплинарных исследованиях» в рамках которой в ближайшие 2 года российский и европейский диплом на системной основе должны получить более 30 выпускников. В 2012 и 2013 года в Санкт-Петербурге, Амстердаме и Барселоне успешно проведены молодежные школы в области технологий высокопроизводительных вычислений и компьютерного моделирования, на которых более 40 лучших молодых учёных и специалистов воспользовались уникальной для России возможностью научиться на практике представлять свои работы международной аудитории, обмена опытом и живого общения с мировыми лидерами в области суперкомпьютерных технологий. Образовательный процесс (включая обеспечение мобильности) сопровождается современными средствами обучения, в том числе применяется оригинальная методика автоматизированной разработки виртуальных лабораторных практикумов на базе платформы облачных вычислений CLAVIRE. Данная методика положительно влияет на качество применения информационных технологий, в том числе дистанционного обучения, в образовательной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Конкурс на предоставление государственной поддержки ведущим университетам: объявление о проведение открытого конкурса на предоставление государственной поддержки ведущим университетам Российской Федерации в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров. [электронный ресурс]. – М.: Министерство образования и науки РФ. Режим доступа: <http://xn--80abucjiihbv9a.xn--p1ai/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/3372>
2. Headed for disillusionment? The cloud's place in the hype cycle: сайт «TechRepublic» [электронный ресурс]. Режим доступа http://www.techrepublic.com/blog/datacenter/headed-for-disillusionment-the-clouds-place-in-the-hype-cycle/5795?tag=nl.e101&s_cid=e101
3. Вл.В. Воеводин, В.П. Гергель, Л.Б. Соколинский, В.П. Демкин, Н.Н. Попова, А.В. Бухановский. Развитие системы суперкомпьютерного образования в России: текущие результаты и перспективы/Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2012, №4 (1). – С. 268 – 274.
4. Духанов А.В., Рыбин А.В., Бухановский А.В. Состояние суперкомпьютерного образования в России и за рубежом: актуальные направления развития: высокопроизводительные вычисления на кластерных системах / Матер. X Всерос. конф. – Нижний Новгород, Изд. ННГУ, 2011 – С. 123-125
5. Annex to Agreement of Academic and Scientific Cooperation between University of Amsterdam and Saint-Petersburg National Research University of Informational Technologies, Mechanics and Optics Regarding a Double Degree Master's Programme «Computational Science in Multidisciplinary Research» (приложение к договору об академическом и научном сотрудничестве между университетом Амстердама и НИУ ИТМО, касающееся совместной магистерской программы «Суперкомпьютерные технологии в междисциплинарных исследованиях») / Документ, подписанный руководителями университета Амстердама и НИУ ИТМО 9 апреля 2013 года.
6. Информационный сайт лаборатории экстренных вычислений, созданной в 2011 году в НИУ ИТМО под руководством ведущего зарубежного учёного университета Амстердама Петруса М.А. Слоота. [электронный ресурс]. – СПб, ИТМО, 2011 – 2013. Режим доступа: <http://acl.ifmo.ru/>
7. Informational for Russian Students: MSc Program «Computational Science» [электронный ресурс]: университет Амстердама, 19 марта 2013. Режим доступа: <http://gsi.uva.nl/programmes/content2/application-and-admission/2.-submit-your-application/russian-students/russian-students.html>
8. Second International Young Scientists Conference 2013 “HPC technologies and computer modeling” (YSC 2013): Schedule of the Workshop. [электронный ресурс] – ACM Special Interest Group on HPC, 2013. Режим доступа. <http://www.iccs-meeting.org/iccs2013/papers/schedule.php?track=W63>
9. P.M.A. Sloot, A.V. Boukhanovsky. Young Russian researchers take up challenges in the computational sciences/ Journal of Computational Science Volume 3, Issue 6, November 2012, Pages 439–440 (Next Generation Computational Scientists: Russian Federation)
10. Автоматизация процесса разработки виртуальных лабораторных практикумов на основе облачных вычислений // Болгова Е.В. и др. // Информационно-измерительные и управляющие системы, 11(10), 2012 – с. 71-80
11. Облачные технологии в задачах интерактивной 3D-визуализации: опыт организации межвузовской мобильности молодых ученых / Духанов А.В. и др. // Информационно-измерительные и управляющие системы, 11(10), 2012 – с. 25-33