

В.П. Демкин, Т.В. Руденко, О.В. Демкин, М.Я. Стоянова, В.С. Заседатель

**Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия**

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В НАУЧНОМ ИССЛЕДОВАНИИ

Рассматривается модель виртуальной среды (виртуальной научной лаборатории) для организации сетевой коллективной работы при проведении вычислительных и лабораторных экспериментов с удаленным доступом. Виртуальная среда представляет собой специализированную конфигурацию программно-аппаратных вычислительных комплексов – специализированных виртуальных кластеров. Вычислительный (виртуальный) эксперимент реализуется методом математического моделирования изучаемого объекта на основе его физической модели, отражающей существенные свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях. Дается описание высокопроизводительной информационно-вычислительной инфраструктуры Национального исследовательского Томского государственного университета для создания виртуальных научных лабораторий и организации совместных научных исследований с применением технологий «облачного сервиса». В качестве иллюстрации облачного сервиса приводится характеристика специализированных информационных систем: высокопроизводительной медицинской информационной системы для оперативной обработки изображений биологических объектов, трехмерной реконструкции и визуализации их внутренней структуры с использованием ресурсоемких вычислительных алгоритмов; интегрированной геоинформационной системы для мониторинга и прогнозирования природных ресурсов растительного и животного мира Томской области.

Ключевые слова: информационная система, виртуальная среда, виртуальная лаборатория, центры коллективного пользования, удаленный доступ, вычислительный эксперимент, математическое моделирование.

Современная наука характеризуется высокой динамикой развития научных областей знаний, комплексным характером научно-технических задач и ресурсоемкими технологиями научных исследований. Решение междисциплинарных научно-технических задач требует привлечения значительных ресурсов и большого числа специалистов из разных областей знаний. Развитие информационных технологий и средств телекоммуникаций создает основу для осуществления научных исследований на качественно новом уровне. Информационные технологии представляют практически неограниченные возможности в организации коллективной научной работы. Построение специализированных баз данных, автоматизированное управление научным экспериментом с удаленным доступом, создание виртуальных лабораторий, организация теле- и видеоконференций – далеко не полный перечень возможностей современных компьютерных технологий в организации научных исследований.

Появление таких технологий позволяет значительно расширить научно-образовательное пространство университета, вовлечь в научно-образовательную деятельность большое количество научных школ, повысить мобильность научно-педагогических кадров. Таким образом, становится возможным формирование открытой научно-образовательной среды – единого информационного поля, где знание рождается в результате совместной деятельности ученых, где реализуется принцип «Образование должно быть встроено в науку» [1, 2].

Научно-образовательное пространство университета – очень емкое понятие, формирующееся на протяжении всей истории развития его многогранной деятельности, которое определяет социальный статус университета и степень влияния его на все сферы жизни общества. Это понятие несет в себе не только географический смысл, оно отражает спектр образовательных программ и качество образования, широту научных связей,

уровень научных исследований и разнообразие научных школ.

Создание скоростных телекоммуникаций и разработка технологий реального времени дают возможность реализации модели распределенных научных коллективов, работа которых строится на технологиях удаленного доступа к экспериментальным комплексам и высокопроизводительным вычислительным ресурсам.

Технический прогресс в создании компьютерной техники и средств телекоммуникаций обеспечивает широкий выбор технических решений в построении информационно-телекоммуникационных систем в зависимости от специфики отраслевых задач. Отличительными особенностями информационно-коммуникационных систем в образовании и науке являются многоуровневость телекоммуникационной инфраструктуры, интегрированность информационной среды, распределенность учебного процесса, мультимедийность и интерактивность научно-образовательных ресурсов, необходимость использования технологий реального времени.

Учет этих особенностей требует разработки и применения новых подходов в построении информационно-телекоммуникационных систем научных и образовательных организаций. Исходя из этого, в качестве основных элементов в структуре корпоративной научно-образовательной информационно-телекоммуникационной системы следует определить корпоративную сеть телекоммуникаций, инфраструктуру ресурсных центров и центров коллективного пользования, образовательные программы и их ресурсное и кадровое обеспечение, систему доступа к научным и образовательным ресурсам, сопровождения и управления коллективной научной деятельностью. Особенно важно это учитывать в организации и обеспечении сетевого взаимодействия научных коллективов.

В отличие от существующих телекоммуникационных сетей общего пользования структура созданной корпоративной научно-образовательной сети создается на иных принципах, учитывающих особенности сетевого взаимодействия: его нелинейный характер и ресурсоемкость, многообразие исследовательских методов и технологий, обеспечивая тем самым эффективное взаимодействие научных учреждений, управление цифровыми потоками на магистральном, региональном и

абонентском уровнях. Эти принципы должны быть в основе создания корпоративной научно-образовательной сети.

Одним из важных элементов в организации научных исследований являются центры коллективного пользования – программно-аппаратные комплексы для проведения вычислительных и лабораторных экспериментов, обеспеченные средствами удаленного доступа и высокопроизводительными вычислительными ресурсами.

Технологической базой вычислительного эксперимента является виртуальная среда, представляющая специализированную конфигурацию программно-аппаратных вычислительных комплексов – специализированных виртуальных кластеров. Вычислительный эксперимент реализуется на основе разработанной математической модели изучаемого объекта, которая представляет собой математическую структуру, отражающую существенные свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях. Следовательно, для выделения существенных свойств объекта необходимо построение его физической модели. Таким образом, вычислительный эксперимент является одной из форм виртуализации реальной среды и представляет собой так называемый виртуальный эксперимент [3, 4].

Следует отметить, что проведение виртуальных экспериментов является сегодня распространенной практикой в научных исследованиях. Это обусловлено набором его преимуществ перед натурным (физическим) экспериментом: а именно возможностями изучить взаимодействия всех подсистем и элементов исследуемой системы и воздействие на них внешней среды, выявить закономерности протекающих процессов в системе, предсказать поведение системы в условиях, не доступных в натурном эксперименте; получить новые знания о системе, оценить адекватность физико-математической модели системы. Кроме того, виртуальный эксперимент позволяет минимизировать риски и издержки, связанные с материально-техническим обеспечением эксперимента. Выполнение экспериментов в виртуальной среде существенно снижает временные и финансовые затраты, повышая при этом эффективность и качество научных исследований [5, 6].

Виртуальная научно-образовательная среда, обеспеченная средствами удаленного доступа,

позволяет создать виртуальную лабораторию, на базе которой организуются сетевые научные и образовательные проекты [7, 8]. Виртуальная лаборатория представляет собой программно-аппаратный комплекс для проведения научных лабораторных и вычислительных экспериментов с применением дистанционных технологий. Виртуальные научные лаборатории дают возможность организации коллективной работы по проведению экспериментов с использованием средств виртуальной реальности; обеспечению тематических исследований в определенной научной области; обеспечению удаленного доступа к уникальному научному оборудованию. Необходимая для этого виртуальная среда представляет специализированную информационную систему, обеспечивающую сбор, хранение и обработку данных, а также средства интерактивного доступа к ресурсам. Таким образом, виртуальные лаборатории представляют собой центры коллективного пользования (ЦКП) с удаленным доступом.

Одним из важных факторов повышения эффективности научных исследований на базе таких ЦКП является обеспечение широкополосного доступа к удаленным ресурсам. Данный телекоммуникационный фактор является ключевым в условиях формирования национальной суперкомпьютерной инфраструктуры и широкого внедрения технологии «больших данных» [9, 10]. Эти технологии требуют значительных вычислительных мощностей, поэтому такие ресурсы концентрируются в Дата-центрах – высокопроизводительных вычислительных комплексах, доступ к которым осуществляется с применением технологий «Cloud Computing» – технологий распределенной обработки данных, в которых компьютерные ресурсы предоставляются пользователям как интернет-сервис [11].

Высокопроизводительные вычисления занимают особое место в проведении научных исследований. Экспоненциальный рост объема данных кардинально изменил природу исследований. Развитие высокопроизводительных ресурсов стало основой применения методов математического моделирования и «облачных» технологий в науке и технике. Технологии «облачных» вычислений дают возможность использования высокопроизводительных ресурсов, консолидированных в научно-образовательных центрах, широкому кругу исследователей, что значительно повышает

потенциал научного коллектива и эффективность научных исследований. Как результат развития инфраструктуры высокопроизводительных «облачных» вычислений в России создаются аппаратно-программные вычислительные комплексы, обеспечивающие «облачный» сервис для проведения фундаментальных и прикладных исследований [12]. «Облачные» сервисы сегодня являются наиболее перспективной технологией обработки и хранения данных. Их преимущества: высокая эксплуатационная готовность сервиса, круглосуточный высокоскоростной доступ, наличие сетевого программного обеспечения – являются для пользователей экономически выгодным сервисом. В качестве примеров «облачной» инфраструктуры можно привести высокопроизводительные ресурсы Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» [13], корпоративное «облако» СО РАН [14].

Другим примером организации интегрированного высокопроизводительного вычислительного ресурса является информационно-телекоммуникационная инфраструктура для обеспечения сетевой научно-образовательной деятельности Национального исследовательского Томского государственного университета. В рамках Программы развития исследовательского университета на базе НИ ТГУ создан суперкомпьютерный информационно-вычислительный комплекс (СК ИВК) – интегрированный комплекс инженерных, информационно-телекоммуникационных и вычислительных систем, обеспечивающих высокопроизводительную обработку, хранение и передачу данных, необходимых для решения научно-технических задач.

Ключевыми элементами СК ИВК ТГУ являются:

- система космической связи, включающая: Телепорт ТГУ, космическую группировку спутников связи «Ямал» ОАО «Газпром космические системы», сеть наземных спутниковых станций;

- супервычислительный кластер СК ИФ Cyberia;

- Центр обработки данных.

Телепорт Томского государственного университета является сегодня крупнейшим за Уралом космическим комплексом для оказания услуг спутниковой связи, способным обслуживать одновременно более 5 000 абонентских спутниковых терминалов и предоставлять весь комплекс

мультисервисных услуг связи, включая доступ в Интернет, передачу данных, гарантированную доставку пакетов, видеоконференц-связь, цифровое телерадиовещание, телефонию. К Телепорту подключены учебные аудитории, научные лаборатории, центры коллективного пользования уникальным оборудованием университета, суперкомпьютер «СКИФ Cyberia», а также ресурсы других образовательных учреждений региона.

Суперкомпьютер Томского государственного университета является мощным вычислительным ресурсом. Сегодня «СКИФ Cyberia» – самый мощный за Уралом суперкомпьютер в России, это более 5 000 высокопроизводительных процессоров с пиковой производительностью 100 трлн операций в секунду, системой хранения данных и лицензионным программным обеспечением для решения научно-технических и хозяйственных задач.

Центр обработки данных (ЦОД) ТГУ – уникальный программно-аппаратный комплекс, представляющий собой 250 высокопроизводительных серверов, систему хранения данных объемом 300 трлн байт, лицензионное программное обеспечение сетевого доступа. В составе ЦОДа аналитический ситуационный центр для мониторинга природных и техногенных процессов, прогнозирования и оценки последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций.

Сетевой доступ пользователей к ресурсам СК ИВК осуществляется по клиент-серверной технологии, где в качестве сервера выступает сервер кластера, а в качестве клиентов – удаленные пользовательские машины. Для предотвращения несанкционированного доступа к информационным и вычислительным ресурсам кластера, для защиты конфиденциальной информации и ее целостности и т.п. используется протокол безопасного удаленного доступа к кластеру [11].

Суперкомпьютерный информационно-вычислительный комплекс ТГУ объединяет пользователей в единую инфраструктуру, управляемую с помощью виртуализации. Пользоваться и управлять вычислительными ресурсами ТГУ можно удаленно из различных мест с использованием технологии тонкого клиента, в том числе с помощью iPad. Описанная информационно-вычислительная система позволяет проводить передачу и обработку больших потоков данных, обеспечить им необходимую защиту, а также устойчивость и бесперебойную работу системы в целом.

Суперкомпьютерный информационно-вычислительный комплекс ТГУ является технологической основой для создания специализированных информационных систем и виртуальных лабораторий сетевого доступа.

В качестве иллюстрации облачного сервиса СК ИВК приведем два примера, имеющих важное значение для организации научных исследований с использованием сетевых технологий. На СК ИВК размещены:

- высокопроизводительная медицинская информационная система, предназначенная для оперативной обработки изображений биологических объектов, трехмерной реконструкции и визуализации их внутренней структуры с использованием ресурсоемких вычислительных алгоритмов. Такие системы необходимы для проведения современных диагностических исследований в области онкологии, хирургии, травматологии, ортопедии и в других областях медицины, где важна точная анатомическая картина заболевания. Технологии реконструкции трехмерных изображений и планирования оперативных вмешательств с использованием вычислительных моделей имеют значимый социальный эффект: они делают высокотехнологичную медицинскую помощь более доступной для населения, снижают риск осложнений после операций и уменьшают период послеоперационной реабилитации [15];

- интегрированная геоинформационная система для мониторинга и прогнозирования природных ресурсов растительного и животного мира Томской области [16], обеспечивающая:

- инвентаризацию и учет лесного хозяйства;
- оперативный мониторинг лесоустройства и лесохозяйственной деятельности;
- оценку и прогнозирование урожайности возобновляемых природных ресурсов;
- оперативный мониторинг пожароопасной обстановки;
- оперативный контроль паводковой обстановки;
- оперативный экологический мониторинг, включая контроль нефтяных загрязнений, вырубок леса и др.;
- выполнение кадастровых работ и контроля освоения земель области;
- мониторинг сельскохозяйственной деятельности.

Созданные научно-образовательные ресурсы

используются в Томском государственном университете в научной работе, подготовке аспирантов и в учебном процессе для выполнения курсовых и дипломных работ. Средства удаленного доступа позволяют организовать совместные научные проекты и их выполнение в виртуальной среде. Практический опыт использования технологий удаленного доступа к экспериментальным и вычислительным комплексам показал, что эти технологии придают центрам коллективного пользования особую значимость в научно-образовательной сфере. Обеспечение удаленного доступа к таким центрам значительно повышает результативность их работы, дает возможность участия в научных исследованиях более широкому кругу ученых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Майер Г.В., Демкин В.П., Творогов С.Д. Открытый академический университет в современной системе образования // Интеллектуальные технологии и дистанционное обучение на рубеже XXI века: Тез. докл. Междунар. науч. конф. – СПб., 1999. – С. 9–11.
2. Майер Г.В., Демкин В.П., Можеева Г.В., Вымятнин В.М. Академический университет в открытой системе образования. – Томск, Изд-во Том. ун-та, 2005. – 200 с.
3. Плохотников К.Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент: методология и практика. – М.: Едиториал. УРСС, 2003. – 28 с.
4. Петров П.В., Сунарчин Р.А., Целищев В.А. Технология вычислительного эксперимента // Вестник УГАТУ. – 2008. – Т. 10, № 1 (26). – С. 30–35.
5. Pozdnev B., Sosenukhin S., Sutyagin M. E-learning: quality based on standards // Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / ed. S.U. Uvaysov. – M.: HSE, 2014. – 472 p.
6. Журавлева Е.Ю. Виртуальная исследовательская среда как элемент научно-исследовательской инфраструктуры // Сборник научных статей XIX объединенной конференции «Интернет и современное общество» IMS-2016, Санкт-Петербург, 22–24 июня 2016 г. – СПб., 2016. – С. 49–60.
7. Кутюков А. Онлайн-лаборатории: Обзор интерактивных веб-проектов для проведения научных экспериментов // Мир ПК–2011. – № 8. – URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2011/08/13009865/>.
8. Белов С.Д., Зайцев Е.С., Калинин А.И. и др. Использование виртуализированной суперкомпьютерной инфраструктуры Новосибирского научного центра для обработки данных экспериментов физики высоких энергий // Вычислительные технологии. – 2012. – Т. 17, № 6. – С. 36–46.
9. Исаев Е.А., Корнилов В.В., Тарасов П.А. Научные компьютерные сети – проблемы и успехи в организации обмена большими объемами научных данных // Математическая биология и биоинформатика. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 161–181. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/?search=34221364e26ed98400d26492974a119c>
10. Корнилов В.В., Исаев Е.А., Исаев К.А. Перспективы использования центров обработки данных при решении задач математической биологии и биоинформатики // Математическая биология и биоинформатика. – 2015. – Т. 10, № 1. – С. 60–71. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/?search=34221364e26ed98400d26492974a119c>
11. Демкин В.П., Борисов А.В., Орлов С.А., Руденко В.Н. «Облачные» сервисы высокопроизводительных ресурсов для образования, науки, промышленности // Открытое и дистанционное образование. – Томск, 2012. – № 2(46). – С. 16–23.
12. Геннон Д., Рид Д., Барга Р. Облака: демократизация научных вычислений. – <http://www.osp.ru/os/2011/02/13007709/>
13. <http://www.nanocloud.su/about.do>
14. <http://www.osp.ru/os/2012/01/13012920/>
15. Демкин В.П., Пеккер Я.С., Бразовский К.С. Обучение медицинских специалистов использованию «облачных» сервисов высокопроизводительных вычислительных ресурсов для решения диагностических задач // Открытое и дистанционное образование. – Томск, 2012. – № 3(47). – С. 16–23.
16. Демкин В., Хромых В., Березин А. и др. Высокопроизводительная геоинформационная система мониторинга и прогнозирования состояния природных объектов для решения научно-технических и образовательных задач // Открытое и дистанционное образование. – 2016. – № 4(64). – С. 5–11. – DOI: 10.17223/16095944/64/1.

Demkin V.P., Rudenko T.V., Demkin O.V.,
Stoyanova M.Ya., Zasedatel V.S.
National research Tomsk State University,
Tomsk, Russia

VIRTUAL EXPERIMENT IN SCIENTIFIC RESEARCH

Keywords: information system, virtual environment, virtual laboratory, centers for shared use, remote access, computer experiment, mathematical modeling.

Development and introduction of information and telecommunication technologies in scientific activity creates qualitatively new conditions for the organization of scientific work. The creation of high-speed telecommunications and the development of real-time computer technologies make it possible to implement a model of distributed scientific teams whose work is based on remote access technologies to unique experimental complexes and high-performance computing resources.

In this article, a model of a virtual environment (virtual scientific laboratory) for networking collective work in computing and laboratory experiments with remote access is considered.

Virtual environment, is a specialized configuration of software and hardware computing systems - specialized virtual clusters. Computational (virtual) experiment is realized by the method of mathematical modeling of the studied object,

on the base of its physical model, reflecting the essential properties of the object, manifested by it under various experimental conditions. Conducting virtual experiments is now a common practice in scientific research. Performing experiments in a virtual environment significantly reduces the time and financial costs, while increasing the efficiency and quality of scientific research.

The high-performance information and computing infrastructure of the National Research Tomsk State University and its applications for creating virtual scientific laboratories and organizing joint scientific research using cloud services is described.

As an illustration of the cloud service, a characteristic of specialized information systems is given: a high-performance medical information system, for the rapid processing of images of biological objects, three-dimensional reconstruction and visualization of their internal structure using resource-intensive computational algorithms; integrated geo-information system for monitoring and forecasting natural resources of flora and fauna of the Tomsk region.

REFERENCES

1. *Majer G.V., Demkin V.P., Tvorogov S.D.* Otkrytyj akademicheskij universitet v sovremennoj sisteme obrazovanija // Intellektual'nye tehnologii i distancionnoe obuchenie na rubezhe XXI veka: Tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. – SPb., 1999. – S. 9–11.
2. *Majer G.V., Demkin V.P., Mozhaeva G.V., Vymjatnin V.M.* Akademicheskij universitet v otkrytoj sisteme obrazovanija. – Tomsk, Izd-vo Tom. un-ta, 2005. – 200 s.
3. *Plohotnikov K.Je.* Matematicheskoe modelirovanie i vychislitel'nyj jeksperiment: metodologija i praktika. – M.: Editorial. URSS, 2003. – 28 s.
4. *Petrov P.V., Sunarchin R.A., Celishhev V.A.* Tehnologija vychislitel'nogo jeksperimenta // Vestnik UGATU. – 2008. – T. 10, №1 (26). – S. 30–35.
5. *Pozdneev B., Sosenushkin S., Sutyagin M.* E-learning: quality based on standards // Innovative Information Technologies: Materials of the International scientific-practical conference / ed. S.U. Uvaysov. – M.: HSE, 2014. – 472 p.
6. *Zhuravleva E.Ju.* Virtual'naja issledovatel'skaja sreda kak jelement nauchno-issledovatel'skoj infrastruktury // Sbornik nauchnyh statej XIX ob#edinennoj konferencii «Internet i sovremennoe obshhestvo» IMS-2016, Sankt-Peterburg, 22–24 ijunya 2016 g. – SPb., 2016. – S. 49–60.
7. *Kutovenko A.* Onlajnovye laboratorii: Obzor interaktivnyh veb-proektov dlja provedenija nauchnyh jeksperimentov // Mir PK-2011. – № 8. – URL: <https://www.osp.ru/peworld/2011/08/13009865/>.
8. *Belov S.D., Zajcev E.S., Kalin A.I. i dr.* Ispol'zovanie virtualizirovannoj superkomp'yuternoj infrastruktury Novosibirskogo nauchnogo centra dlja obrabotki dannyh jeksperimentov fiziki vysokih jenerгий // Vychislitel'nye tehnologii. – 2012. – T.17, № 6. – S. 36–46.
9. *Isaev E.A., Kornilov V.V., Tarasov P.A.* Nauchnye komp'yuternye seti – problemy i uspehi v organizacii obmena bol'shimi ob#emami nauchnyh dannyh // Matematicheskaja biologija i bioinformatika. – 2013. – T. 8, № 1. – S. 161–181. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/?search=34221364e26ed98400d26492974a119c>
10. *Kornilov V.V., Isaev E.A., Isaev K.A.* Perspektivy ispol'zovanija centrov obrabotki dannyh pri reshenii zadach matematicheskoi biologii i bioinformatiki // Matematicheskaja biologija i bioinformatika. – 2015. – T. 10, № 1. – S. 60–71. – URL: <https://publications.hse.ru/articles/?search=34221364e26ed98400d26492974a119c>
11. *Demkin V.P., Borisov A.V., Orlov S.A., Rudenko V.N.* «Oblachnye» servisy vysokoproizvoditel'nyh resursov dlja obrazovanija, nauki, promyshlennosti // Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie. – Tomsk, 2012. – № 2(46). – S. 16–23.
12. *Gennon D., Rid D., Barga R.* Oblaka: demokratizacija nauchnyh vychislenij. – <http://www.osp.ru/os/2011/02/13007709/>
13. <http://www.nanocloud.su/about.do>
14. <http://www.osp.ru/os/2012/01/13012920/>
15. *Demkin V.P., Pekker Ja.S., Brazovskij K.S.* Obuchenie medicinskih specialistov ispol'zovaniju «oblačnyh» servisov vysokoproizvoditel'nyh vychislitel'nyh resursov dlja reshenija diagnosticheskix zadach // Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie. – Tomsk, 2012. – № 3(47). – S. 16–23.
16. *Demkin V., Hromyh V., Berezin A. i dr.* Vysokoproizvoditel'naja geoinformacionnaja sistema monitoringa i prognozirovanija sostojanija prirodnyh ob#ektov dlja reshenija nauchno-tehnicheskix i obrazovatel'nyh zadach // Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie. – 2016. – № 4(64). – C. 5–11. – DOI: 10.17223/16095944/64/1.