

# ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

**Д.К. Щеглов,**

к.т.н., начальник расчетно-исследовательского отделения  
АО «Конструкторское бюро специального машиностроения»  
\_dk@bk.ru

**Д.А. Фёдоров,**

к.т.н., начальник лаборатории динамики и прочности  
АО «Конструкторское бюро специального машиностроения»  
telumendil@yandex.ru

*Излагается опыт внедрения суперкомпьютерных технологий в образовательный процесс базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» Северо-западного регионального центра АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей» в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.*

**Ключевые слова:** образовательный процесс, базовая кафедра, высшее учебное заведение, суперкомпьютерные технологии, высокопроизводительные вычисления, НРС-технологии

**Введение.** Эффективное решение сложных наукоемких задач расчетно-теоретического обоснования проектно-конструкторских решений и параметров эксплуатационных процессов при разработке, модернизации и модификации средств воздушно-космической обороны (ВКО), а также тактических и информационно-расчетных задач ВКО невозможно сегодня без применения суперкомпьютерных технологий (СКТ) и высокопроизводительных вычислений (*High-Performance Computing*, НРС).

Создание современных комплексов и систем ВКО, обеспечивающих эффективное противодействие существующим и перспективным средствам воздушно-космического нападения, требует проведения множества высокоточных вычислительно-емких расчетов, выполняемых с применением самых современных аппаратных и программных средств [1]. Так, например, стремительное развитие инновационных технологий проектирования и производства сложной наукоемкой продукции, появление новых материалов с уникальными физико-механическими свойствами, постоянное ужесточение требований к условиям эксплуатации ставит перед инженерами-проектировщиками особо сложные прикладные задачи, решение которых требует специальной теоретической подготовки и навыков работы с НРС-технологиями.

Очевидно, что необходимым условием внедрения в практику работы предприятий и организаций ОПК НРС-технологий и реализуемых на их основе современных численных методов, методик и алгоритмов решения специализированных вычислительно-емких задач, в том числе задач ВКО, является наличие высококвалифицированных научных и инженерных кадров.

В настоящее время лишь немногие вузы страны имеют возможность подготовки для организаций ОПК молодых специалистов, обладающих необходимыми компетенциями в области НРС-технологий, численного моделирования и проведения вычислительных экспериментов. Прежде всего, это связано с недостаточными финансовыми возможностями оборонных вузов для создания дорогостоящей материально-технической базы, отсутствием в вузах высококвалифицированных специалистов, способных обеспечить техническую поддержку сложного оборудования и программного обеспечения (ПО), необходимостью подготовки и повышения квалификации профессорско-преподавательского состава для разработки на базе НРС-технологий практико-ориентированных образовательных модулей и их интеграции в существующие учебные курсы.

**1. Проблема внедрения современных суперкомпьютерных технологий в систему образования России.** Еще в декабре 2008 года на заседании Союза ректоров России Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,

Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, Томский государственный университет и Южно-Уральский государственный университет подписали соглашение о создании «Суперкомпьютерного консорциума университетов России». Целью данного соглашения полагалась разработка и обеспечение выполнения комплекса мероприятий, направленных на эффективное использование имеющегося потенциала высшей школы для развития и внедрения НРС-технологий в российском образовании, науке и промышленности. В состав Консорциума вошло более 45 вузов России и более 15 специализированных организаций [2].

В 2010 – 2012 годах был реализован проект Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России «Создание системы подготовки высококвалифицированных кадров в области суперкомпьютерных технологий и специализированного программного обеспечения» («Суперкомпьютерное образование»). В рамках данного проекта впервые были предприняты усилия по созданию в России целостной системы суперкомпьютерного образования. Основное внимание уделялось не столько подготовке определенного количества специалистов в данной области, сколько созданию целостной системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области НРС-технологий.

К концу 2012 года на базе структурных подразделений учреждений высшего профессионального образования, входящих в Суперкомпьютерный консорциум университетов России, была создана национальная Система научно-образовательных центров (НОЦ)СКТ, состоящая из 8 региональных НОЦ, созданных в 7 федеральных округах России.

Национальный проект «Суперкомпьютерное образование» включал в себя[3]:

- разработку учебно-методического обеспечения системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров в области НРС-технологий;
- реализацию программ массовой подготовки специалистов начального уровня по НРС-технологиям (мероприятие охватило все федеральные округа системы НОЦ СКТ и более 45 вузов России);
- реализацию программы переподготовки и повышения квалификации профессорско-преподавательского состава (переподготовку и повышение квалификации прошли преподаватели более чем из 40 вузов всех федеральных округов России);
- формирование системы сертификации знаний в области НРС-технологий;
- формирование системы основных национальных суперкомпьютерных конференций;
- формирование системы молодежных суперкомпьютерных школ;
- реализацию комплексной программы по разработке и экспертизе учебной и учебно-методической литературы в области НРС-технологий для бакалавриата и магистратуры;
- разработку и реализацию системы мероприятий по популяризации достижений и перспектив использования НРС-технологий с привлечением СМИ.

К сожалению, несмотря на успешную реализацию и высокую оценку в России и в мире, проект «Суперкомпьютерное образование» так и не получил необходимого дальнейшего развития по многим заявленным направлениям. Суперкомпьютерный консорциум университетов России и Система НОЦ СКТ, на наш взгляд, с заявленными обязательствами по внедрению НРС-технологий в образование справились не в полном объеме: главная задача – формирование эффективной национальной системы подготовки высококвалифицированных специалистов в области НРС-технологий для высокотехнологичных предприятий отечественной промышленности, а особенно для предприятий ОПК – решена не была. Таким образом, в настоящее время многие вузы вынуждены решать ее собственными силами либо же с поддержкой заинтересованных предприятий ОПК.

**2. Инновационные аппаратные и программные решения вычислительного кластера БГТУ «ВОЕНМЕХ».** В 2016 г. в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург) был создан новый *высокопроизводительный вычислительный кластер* (далее – Кластер) для численного моделирования сложных физических процессов при решении учебных задач, проведении научных и инженерных расчетов. Первый опыт внедрения НРС-технологий в образовательный процесс студентов был получен преподавателями *базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО»* Северо-западного регионального центра (СЗРЦ) АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей» [4, 5].

Работы по созданию Кластера и вводу его в научно-образовательный процесс проводились авторами совместно со специалистами по НРС-технологиям АО «Цифра» [6] и системными администраторами СЗРЦ в рамках инфраструктурного проекта, ориентированного на укрепление кадрового потенциала российского ОПК, в частности, для обучения студентов целевого набора предприятий СЗРЦ – АО «КБСМ» и АО «ГОЗ Обуховский завод».

Архитектура Кластера (см. рис. 1) спроектирована с учетом необходимости обеспечения высокой эффективности работы вычислительной системы как при решении вычислительно-емких прикладных задач механики (метод конечных элементов) – ПО *ANSYS Mechanical*, так и задач гидрогазодинамики и тепломассообмена (*Computational Fluid Dynamics, CFD*) – ПО *ANSYS Fluent* и *ANSYS CFX* [7], а также решения высоконелинейных динамических задач и моделирования быстропротекающих процессов – ПО *ANSYS AUTODYN*.

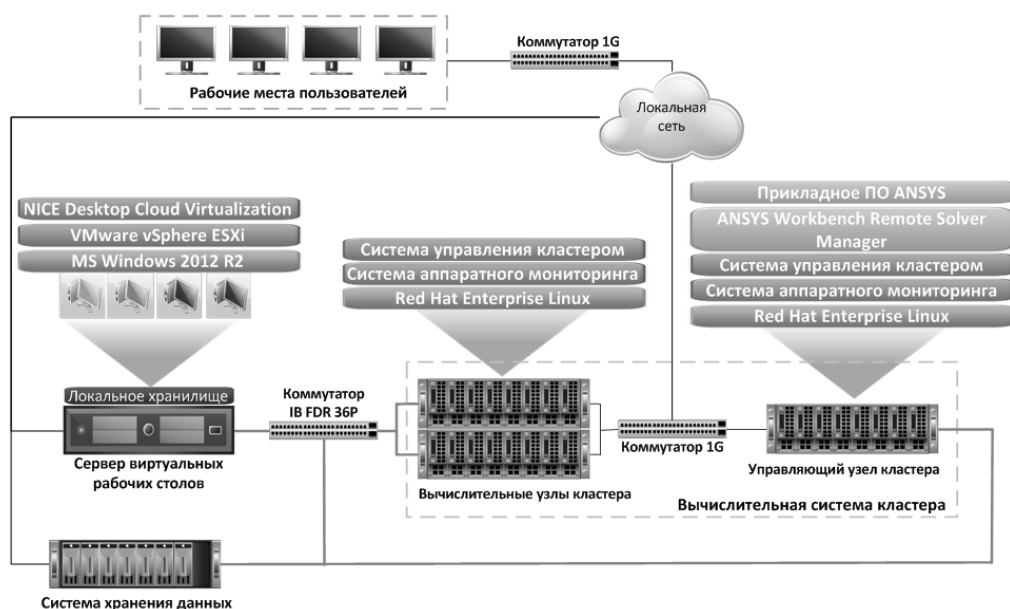


Рис. 1. Архитектура высокопроизводительного вычислительного кластера БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Кластер предоставляет возможность выполнения высокопроизводительных расчетов практически с любого рабочего места, подключенного к сети Интернет, без необходимости передачи больших объемов информации на рабочие станции пользователей. Для организации удаленного санкционированного доступа к Кластеру студентов, аспирантов и преподавателей используется технология VPN (*Virtual Private Network*, виртуальная частная сеть).

В состав вычислительного Кластера входят:

- серверное оборудование вычислительной системы (*HPC-система*),
- сервер инфраструктуры виртуальных рабочих столов (*Virtual Desktop Infrastructure, VDI*),
- локальная сеть *Ethernet*,
- высокоскоростная сеть *InfiniBand*,

- системное программное обеспечение (ПО),
- система управления кластером,
- система аппаратного мониторинга,
- прикладное ПО для выполнения инженерных расчетов *ANSYS*.

Рассмотрим конфигурацию и принципиальные технические решения Кластера, позволяющие наиболее рациональным образом организовать учебный процесс студентов, а также выполнение научно-исследовательских работ аспирантами и преподавателями.

**Вычислительная система Кластера** включает в себя управляющий (головной) узел (сервер) и 8 вычислительных узлов (серверов).

**Управляющий узел** состоит из 2 центральных процессоров *IntelXeonProcessor E5-2650 v3 (2.3 GHz, 10 core, 25 MB Cache)*, 8 модулей оперативной памяти *16GB 2Rx4 PC4-2133P-L Kit*, дисковой подсистемы *2×300GB 6G SAS 10K 2.5in SC ENT HDD*, сетевых адаптеров *Ethernet 10Gb 2P 546FLR-SFP* и *InfiniBand FDR/EN 40Gb 2P 544+FLR-QSFP*.

Каждый **вычислительный узел** состоит из 2 центральных процессоров *IntelXeonProcessor E5-2667 v3 (3.2 GHz/3.6 GHz Turbo, 8 core, 20 MB Cache)*, 4 модулей оперативной памяти *16GB 2Rx4 PC4-2133P-L Kit*, кэширующего твердотельного диска большой емкости *600GB 6G SATA VE 2.5in SC EV SSD*, сетевых адаптеров *Ethernet 1Gb 4-port 366FLR* и *InfiniBand FDR/EN 40Gb 2P 544+FLR-QSFP*, двухпроцессорного вычислительного ускорителя *NVIDIA Tesla K80 Dual GPU Module* предоставляющего дополнительные ресурсы для выполнения параллельных вычислений.

Каждый узел (сервер) вычислительной системы подключен через коммутатор *1950-24G-2SFP+-2XGT* к **локальной сети** Кластера, которая состоит из следующих функционально выделенных подсетей:

- *сеть внешнего доступа* (10 GigabitEthernet), обеспечивающая доступ пользователей к ресурсам Кластера для запуска вычислительных задач;
- *сеть мониторинга* (GigabitEthernet), обеспечивающая доступ к модулям управления узлами (*IntegratedLights-Out, iLO*) для мониторинга эксплуатационных характеристик оборудования, входящего в состав Кластера;
- *изолированная сеть управления*, обеспечивающая загрузку операционной системы (ОС) на вычислительные узлы Кластера и обмен данными ОС на узлах, а также работу DHCP (*DynamicHostConfigurationProtocol* – протокол динамической настройки узла) и других сервисов.

**Высокопроизводительная сеть** (интерконнект) – специализированная сеть, поддерживающая работу вычислительных алгоритмов с распределённой памятью и обеспечивающая работу интерфейсов передачи сообщений Intel MPI и Platform MPI – использует высокоскоростную коммутируемую последовательную шину *MellanoxInfiniBand FDR36PSwitch* (ширина канала 56 Гбит/с и задержка не более 1 мис).

Все узлы вычислительной системы Кластера (серверы) работают под управлением ОС *RedHatEnterpriseLinux* и имеют двойное подключение к интерконнекту.

Одной из основных особенностей вычислительной системы Кластера является её «бездисковая» архитектура – операционные системы узлов загружаются по сетевому протоколу DHCP/PXE с управляющего узла сразу в память, минуя процедуру установки на локальные диски. Такое решение позволяет достичь оптимального быстродействия дисковой подсистемы, обслуживающей все вычислительные процессы во время выполнения расчетов за счет использования всех ресурсов SSD для промежуточного кэширования результатов. Реализованная схема обеспечивает линейно масштабируемую систему ввода/вывода, практически не уступающую по быстродействию сложным параллельным файловым системам.

Управление Кластером осуществляется при помощи *InsightClusterManagementUtility (CMU)* и *Altair PBS Pro*. Insight CMU позволяет осуществить развёртывание операционных систем узлов, настройку рабочего окружения для функционирования всех прочих программных систем и производит постоянный мониторинг работы вычислительного комплекса. Altair PBS Pro выполняет функции

управления очередью задач и менеджера загрузки Кластера. Указанные системы взаимодействуют настолько тесно, что по запросу пользователя на выполнение специфического расчета PBS может поручить CMU переустановку операционных систем некоторых вычислительных узлов.

**Инфраструктура виртуальных рабочих столов** Кластера (VDI-система) обеспечивает эффективную работу 4 гостевых (клиентских) виртуальных машин с инженерной графикой CAD/CAE-систем.

VDI-система развернута на платформе сервера в состав которого входят 2 центральных процессора *IntelXeonProcessor E5-2650 v3 (2.3 GHz, 10 core, 25 MB Cache)*, 8 модулей оперативной памяти *16GB 2Rx4 PC4-2133P-RKit*, дисковой подсистемы *4x1.2TB 12G SAS 10K 2.5in SC ENT HDD*, сетевых адаптеров *Ethernet 1Gb 4-port 366FLR* и *InfiniBand FDR/EN 40Gb 2P 544+ QSFP*. Удаленный рендеринг изображений обеспечивают 2 видеокарты *NVIDIA GRID K2 RAF PCIe GPU Kit*.

Работа клиентских виртуальных машин поддерживается гипервизором *VMwarevSphereESXi*, который позволяет использовать технологию *NVIDIA vGPU* для виртуализации и разделения ресурсов графических процессоров.

В качестве системы доставки удалённых рабочих столов применяется ПО *NICE DesktopCloudVirtualization (DCV)*. *NICE DCV* обеспечивает удаленную работу с графикой уровня *OpenGL 4+* на клиентских виртуальных машинах под управлением ОС *MS Windows*. При этом собственный протокол передачи данных использует всего около 1 Мбит/с ширины канала доступа на работу одного *Full HD* монитора. Протокол *DCV* обеспечивает полностью аппаратное кодирование и декодирование потока данных на GPU и встроенное шифрование AES с 256-битным ключом, что позволяет, при необходимости, удаленно работать с Кластером даже смобильных устройств. Контроль рабочих сессий со стороны пользователей и администратора Кластера осуществляется системой диспетчеризации удаленных рабочих столов *NICE EnginFrame*.

Для хранения исходных данных и результатов расчетов в сервер VDI-системы установлена дополнительная дисковая подсистема из 12 дисков *1.2TB 12G SAS 10K 2.5in SC ENT HDD* объединенных в *RAID 50*. Работа пользователей с дисковой подсистемой организована по протоколу *SMB/CIFS* при помощи ПО *Samba*. В перспективе эту задачу будет решать специализированная система хранения данных (СХД), которую планируется включить в состав Кластера.

Запуск на решение вычислительно-емких прикладных задач в системе конечно-элементного анализа *ANSYS* осуществляется менеджером управления расчетом *ANSYSWorkbenchRemoteSolverManager(RSM)*. *WorkbenchRSM* позволяет задать оптимальные, с точки зрения конкретной задачи, вычислительные ресурсы (например, количество процессоров, ядер и т.д.).

Мониторинг технического состояния вычислительной системы осуществляется ПО *InsightRemoteSupport (IRS)*, которое собирает информацию со всех аппаратных средствах Кластера через интерфейс *iLO*.

С целью обеспечения эффективного использования Кластера в научно-образовательном процессе и осуществления технической поддержки пользователей системными администраторами СЗРЦ оперативно решаются следующие основные задачи:

- настройка, поддержание в работоспособном состоянии и администрирование высокопроизводительных вычислительных ресурсов;
- обеспечение санкционированного доступа к высокопроизводительным ресурсам;
- рациональное распределение вычислительных мощностей;
- поддержка планировщика задач и очередности доступа к ресурсам;
- консультирование студентов, аспирантов и преподавателей в вопросах использования программно-аппаратных средств;
- разработка инструкций и методических документов по использованию НРС-технологий (совместно с преподавателями базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО»);

- оперативное решение всех вопросов, связанных с высокопроизводительными вычислениями;
- мониторинг перспективных направлений развития НРС-технологий, аппаратных и программных средств, анализ возможности и целесообразности их применения.

Созданный на основе лучших мировых практик, передовых СКТ и аппаратно-программных средств вычислительный Кластер, предоставил преподавателям и обучающимся качественно новые научно-образовательные возможности [6].

**3. Инновационный НРС-ориентированный учебно-методический комплекс базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО».** В связи с актуальными инженерно-техническими вызовами и производственными потребностями предприятий СЗРЦ изучение НРС-технологий было включено в следующие образовательные модули программ дополнительного профессионального образования (ДПО) базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО»:

- Расчетно-теоретическое сопровождение проектно-конструкторских работ;
- Принципы проектирования и разработки наземного оборудования систем ВКО и ПВО;
- Средства измерения;
- Учебная научно-исследовательская работа студента (УНИРС).

Доработка программ ДПО проводилась руководителями и ведущими специалистами АО «КБСМ» – преподавателями базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» (зав. каф., к.т.н. Д.К. Щеглов, доц. каф., к.т.н. Д.А. Фёдоров, ст. преп. каф. А.В. Королёв) – обладающими опытом в области компьютерного моделирования сложных технических систем и выполнения наукоемких инженерных расчетов. Практический опыт и хорошая теоретическая подготовка преподавателей базовой кафедры позволили им в кратчайшие сроки освоить и успешно применить НРС-технологии в процессе выполнения НИОКР по созданию перспективных систем ВКО и ПВО, а также по модернизации и модификации существующих. Разработанный комплекс учебно-методических материалов по использованию вычислительного Кластера в образовательном процессе предоставит возможность студентам и аспирантам целевого набора предприятий СЗРЦ научиться формулировать и решать с высокой точностью вычислительно-емкие прикладные задачи, а также проводить актуальные научные исследования в рамках курсовых и дипломных проектов, магистерских и кандидатских диссертаций.

Студенты, не получившие в процессе вузовского обучения навыков и опыта использования высокопроизводительных вычислительных систем, фактически оказываются неподготовленными к работе в современных передовых научных и проектно-конструкторских организациях.

Очевидно, что реального эффекта от использования НРС-технологий в образовательном процессе можно достичь только применяя их для решения действительно сложных наукоемких задач, требующих знаний и навыков полученных обучающимися при изучении многих дисциплин. Опыт преподавателей базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» показывает, что студенты зачастую воспринимают прослушанные ими учебные курсы (например, информационно-компьютерные технологии, математическое моделирование и вычислительные методы и др.), как несвязанные между собой предметы, существующие отдельно от различных специализированных учебных дисциплин (таких как гидро- и газодинамика, механика деформированного твердого тела, электродинамика и пр.). По этой причине образовательные модули программ ДПО и отдельные лекции базовой кафедры планируется выстраивать в виде единых комплексных (междисциплинарных) дидактических единиц, где на конкретных практических примерах даются все необходимые базовые знания и описывается все используемое научно-методическое обеспечение из различных дисциплин. Формирование междисциплинарных дидактических единиц – непростая задача, решаемая на базе системного подхода и требующая высокой компетентности преподавателя. Успешное освоение слушателями

междисциплинарного учебного материала подразумевает их самостоятельную работу не только с методическими и учебными пособиями кафедры, но и с дополнительной литературой. Несмотря на сложность реализации, ярким преимуществом предлагаемого подхода является максимальная приближенность учебного процесса к решению актуальных практических инженерных задач в реальных производственных условиях.

В качестве примера междисциплинарной дидактической единицы приведем структуру раздела «Математическое моделирование инженерных задач», включенного в образовательный модуль «Расчетно-теоретическое сопровождение проектно-конструкторских работ» одной из программ ДПО базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО»:

- понятие математического моделирования, термины и определения;
- основы тригонометрии в приложении к инженерным задачам (на примерах конкретных задач);
- инженерный подход к понятиям интеграла и производной (на примерах конкретных задач);
- простейшие дифференциальные уравнения (на примерах конкретных задач);
- численные методы решения систем дифференциальных уравнений (на примере метода Рунге-Кутты четвертого порядка);
- реализация численных методов решения систем дифференциальных уравнений с помощью систем автоматизированного проектирования (на примерах конкретных задач);
- приближенный расчет траекторий ракет и орбит космических аппаратов (на персональных ЭВМ);
- высокоточный расчет траекторий ракет и орбит космических аппаратов (на вычислительном Кластере).

Материалы данного раздела изучаются за несколько академических часов, позволяя обобщить и свести воедино различные знания, умения и навыки, полученные студентами в течение нескольких предыдущих лет обучения в вузе (и даже в средней школе). Сравнение результатов приближенного и высокоточного расчетов траекторий ракет и орбит космических аппаратов позволяет слушателям оценить влияние применяемых методов исследования и вычислительных ресурсов на погрешность результатов численного эксперимента.

Другим важным этапом подготовки студентов является производственная практика, где под руководством опытных специалистов обучающиеся знакомятся со спецификой работы различных структурных подразделений предприятия ОПК. Именно такой формат позволяет максимально эффективно совместить образовательную составляющую обучения с решением реальных инженерных и научных задач. Понимая, что в настоящее время данному этапу обучения уделяется недостаточно внимания в образовательном процессе, базовая кафедра «Средства ВКО и ПВО» совместно с НОЦ СЗРЦ и расчетно-исследовательским отделением АО «КБСМ» разработала программу производственной практики студентов целевого набора в формате студенческого конструкторского бюро (СКБ).

Апробация разработанной программы запланирована в июне – июле 2017 г. Из студентов-практикантов АО «КБСМ» планируется сформировать проектную команду СКБ, которая под руководством опытных наставников будет разрабатывать конструкцию реального изделия (например, устройства амортизации, модельной двигательной установки, испытательного стенда, силовой рамы) включая расчетно-теоретическое обоснование предлагаемых основных технических решений. Основная задача команды СКБ – выполнить в установленные сроки проект от идеи до рабочей конструкторской документации, согласованной службами технологического-, метрологического- и метрологического АО «КБСМ».

На определенных этапах работы над проектом команда СКБ должна самостоятельно прийти к выводу о необходимости применения НРС-технологий,

поскольку иным способом произвести весь объем требуемых расчетов в отведенные сроки окажется невозможным. Доступ на Кластер будет осуществляться непосредственно с одного из рабочих компьютеров, а сами высокопроизводительные расчеты должны производиться параллельно с другими проектными работами, в том числе с обычными расчетными исследованиями на персональных компьютерах.

По результатам производственной практики у студентов должно сформироваться полное понимание работы проектно-конструкторской организации, а также роли и места в ней НРС-технологий.

Отдельно следует отметить, что опыт внедрения НРС-технологий в учебные программы Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого [8], Нижегородского государственного университета имени Н.И. Лобачевского[9], Томского государственного университета [10]и других вузов страны убедительно свидетельствует о том, что недостаточно просто научить студентов «решать задачи на вычислительном кластере». Необходимо выработать у них базовые представления о наиболее эффективных методах и средствах программного и аппаратного обеспечения, предназначенных для решения вычислительно-емких научно-технических задач. Для решения этой учебно-методической задачи преподавателями базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» в настоящее время разрабатывается специальный образовательный модуль «Современные компьютерные технологии в науке, производстве и образовании», включающий, в частности:

- обзор архитектуры современных высокопроизводительных вычислительных систем;
- принципы анализа эффективности параллельных вычислений для оценивания получаемого ускорения вычислений и степени использования всех возможностей компьютерного оборудования при параллельных способах решения конкретных задач;
- общие принципы разработки параллельных алгоритмов для решения сложных вычислительно-емких задач;
- базовые принципы параллельного программирования (понятие процессов и потоков, организация взаимодействия и взаимоисключения потоков, методы синхронизации, классические задачи параллельного программирования и др.);
- вопросы реализации параллельных вычислений для решения прикладных задач с использованием САЕ-систем.

Структурная схема инновационного НРС-ориентированного учебно-методического комплекса базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» представлена на рис. 2.

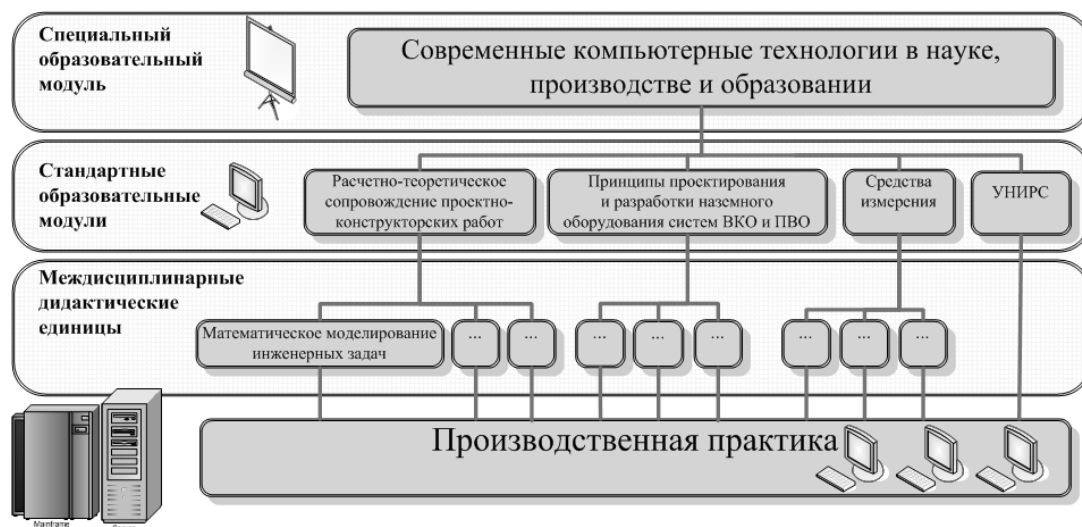




Рис.2. Структура НРС-ориентированного учебно-методического комплекса

Разработанные преподавателями базовой кафедры «Средства ВКО и ПВО» учебно-методические материалы и рекомендации по использованию НРС-технологий могут применяться не только для обучения студентов целевого набора предприятий СЗРЦ. Коллективом кафедры запланирована разработка электронных учебных курсов, которые позволят сотрудникам предприятий СЗРЦ получить новые практические навыки и профессиональные знания в области НРС, необходимые для успешного выполнения вычислительно-емких расчетов в процессе реализации НИОКР [11].

**Заключение.** Таким образом, внедрение и активное использование НРС-технологий в процессах обучения студентов целевого набора и повышения квалификации инженерно-конструкторского состава значительно повысит научно-технический потенциал предприятий СЗРЦ, позволив оперативно и с высокой результативностью решать сложные задачи по созданию наукоемких систем ВКО и ПВО, а также изделий гражданского и двойного назначения.

### Литература

1. Фёдоров Д.А., Щеглов Д.К. Использование высокопроизводительных вычислительных систем для решения ресурсоемких задач механики деформируемого твердого тела / В сб. трудов «Старт в будущее – 2017»: Всероссийской научн.-технич. конф. Труды четвертой научн.-технич. конф. молодых ученых и специалистов. / Под общ. ред. Д.К. Щеглова / АО «КБСМ». – СПб.; 2017. – С.210 – 218.
2. Воеводин В.В., Гергель В.П., Соколинский Л.Б., Демкин В.П., Попова Н.Н., Бухановский А.В. Развитие системы суперкомпьютерного образования в России: Текущие результаты и перспективы // Информационные технологии. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2012, № 4(1), с. 268–274.
3. Официальный сайт Суперкомпьютерного консорциума университетов России: <http://hpc-russia.ru/>
4. Бородавкин В.А., Щеглов Д.К., Охочинский М.Н., Русина А.А. Базовая кафедра предприятия в структуре высшего учебного заведения // Журнал «Инновации». 2015. – № 9. – С.93 – 97.
5. Бородавкин В.А., Щеглов Д.К., Охочинский М.Н., Русина А.А. Формирование компетентностно-ориентированной сферы для обучения студентов базовой кафедры предприятия оборонно-промышленного комплекса // В сборнике: Седьмые Уткинские чтения Труды международной научно-технической конференции. 2016. – С.242 – 251.
6. Новожилов Ю.В. Проектирование вычислительного кластера БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Интернет. Официальный сайт АО «ЦИФРА»: <https://multiphysics.ru/stati/proekty/proektirovanie-vychislitelnogo-klastera-bgtu-voenmekh-im-d-f-ustinova.htm>
7. ANSYS 18: Pervasive Engineering Simulation. Интернет. Официальный сайт Ansys inc.: <http://www.ansys.com/products/release-highlights>
8. Баденко В.Л. Высокопроизводительные вычисления: учеб. пособие – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 180 с.
9. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многоядерных многопроцессорных систем. Учебное пособие – Нижний Новгород; Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2010.
10. Высокопроизводительные вычисления на кластерах: Учебн. пособие/ Под ред. А.В. Старченко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2008. – 198 с.
11. Щеглов Д.К., Пиликов Н.А., Выпринцева О.С. Технология моделирования управления образовательным контентом в системах массового обучения/ Журнал «Вестник Концерна ПВО «Алмаз – Антей», № 1(13), 2015, – С. 71 – 81.

---

## THE EXPERIENCE OF INFILTRATION OF SUPERCOMPUTER TECHNOLOGIES TO EDUCATIONAL PROCESS IN TECHNICAL UNIVERSITIES

**D.K. Shcheglov,**

Cand. Sci. (Tech.), The Head of Computational-Research Department  
«KonstruktorskoyeByuroSpetsialnogoMashinostroeniya», Joint StockCompany  
\_dk@bk.ru

**D.A. Fedorov,**

Cand. Sci. (Tech.), The Head of Dynamics and Strength Laboratory  
«KonstruktorskoyeByuroSpetsialnogoMashinostroeniya», Joint StockCompany  
telumendil@yandex.ru

*Is stated the experience of infiltration of supercomputer technologies to educational process in the basic chair of «Air and Space Defense Systems» of «Almaz – Antey» Air and Space Defence Corporation» (Joint StockCompany) North-West Regional Center at Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov.*

**Keywords:***educational process, basic chair, higher education institutions, supercomputer technologies, high-performance computing, HPC- technologies*