

СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ИВПРВС) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ НАУКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИКИ

В.Ф. Токаренко, нач. лаб. НИЦ «Курчатовский институт», вед. научн. сотр. РФЯЦ-ВНИИЭФ, канд. физ.-мат. наук

В статье анализируются текущее положение дел по созданию ИВПРВС для решения разноплановых задач развития Российской Федерации. Приведен обзор зарубежных и российских грид-систем разрабатываем и эксплуатируемых в настоящее время.

Ключевые слова: ИВПРВС (интеллектуальная высокопроизводительная распределенная вычислительная система), виртуальная организация (ВО), ГРИД, промежуточное программное обеспечение, ресурсные центры, распределенная база данных, грид-кластер, метаменеджер, прикладное программное обеспечение, макет.

CREATION OF THE INTELLIGENT HIGH-PERFORMANCE DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEM (IVPRVS) TO ADDRESS THE PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SCIENCE, TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT

V.F. Tokarenko, Head of Laboratory, R&D Centre Kurchatov Institute, Leading Researcher of Russian Federal Nuclear Centre, All-Russian Research Institute of Experimental Physics SAROV, Doctor of Physics and Mathematics

The article analyzes the current situation to establish IVPRVS to solve diverse problems of development of the Russian Federation. The review of foreign and Russian grid systems design and currently operating.

Keywords: IHPDCS (intelligent high-performance distributed computing system), virtual organization (VO) Grid, middleware, resource centers, distributed database Grid cluster meta-manager, application software, layout.

Введение

Под ИВПРВС понимается разделение ресурсов и решение задач в динамически меняющихся виртуальных организациях со многими участниками. В первую очередь ИВПРВС планируется применить для решения задач, определенных государственной программой правительства Российской Федерации «Развитие науки и технологий» на 2013–2020 гг. К ним относятся:

– Исследования в области фундаментальной науки. В квантовой электродинамике (КЭД) исследования систем взаимодействующих частиц. В физике высоких энергий исследования процессов в квантовой хромодинамике (КХД) и физике высоких энергий.

– Комплексное моделирование объектов атомной энергетики. Всережимное моделирование процессов в объектах атомной энергетики различного назначения на всех этапах их жизненного цикла.

– Исследования и разработки в области авиастроения. Внедрение технологии проектирования, разработки и сопровождения в авиастроении с полномасштабным моделированием эксплуатационных режимов.

– Проектирование и разработка изделий в автомобильной промышленности.

– Проектирование и разработка изделий в ракетно-космической отрасли. Комплексные исследования космических кораблей на всех этапах жизненного цикла от проектирования до вывода из эксплуатации. Исследования процессов в ракетных двигателях.

– Повышение эффективности нефте- и газодобычи. Исследования и прогнозирования эффективной нефтедобычи.

– Создание материалов с радикально новыми свойствами в интересах производства на их основе качественно новой высокотехнологичной продукции.

– Моделирование и анализ сложных явлений и проблем в области живых систем.

Задачи из области живых систем

1. Медицинская диагностика по данным магнитно-резонансной, компьютерной рентгеновской, оптической когерентной томографии, ультразвуковой, функциональной и морфологической диагностики.

2. Моделирование работы мозга и разработка мозг-компьютерных интерфейсов.

3. Применение методов молекулярной динамики и квантовой химии для исследований в области биоинженерии.

4. Создание компактных лазерных ускорителей заряженных частиц для радиационной терапии.

По оценкам РАН РФ [1] для решения задач по перечисленным направлениям науки и техники требуются следующие вычислительные ресурсы:

– исследования в области фундаментальной науки – 1010 до 1022 оп/с;

– комплексное моделирование объектов атомной энергетики 1–2 эксафлопса;

– исследования и разработки в области авиастроения – 1 до 100 Эксафлопс;

– проектирование и разработка изделий в автомобильной промышленности – 1–5 Эксафлопс;

– проектирование и разработка изделий в ракетно-космической отрасли – несколько Эксафлопс;

– повышение эффективности нефте- и газодобычи системы пета- и эксафлопсного класса;

– создание материалов с радикально новыми свойствами 1–10 Эксафлопс;

– моделирование и анализ сложных явлений и проблем в области живых систем – несколько Эксафлопс.

Для решения перечисленных задач к 2030 г. потребуется производительность 1023 оп./с.

Создание компьютеров производительностью 1023 оп./с проблематично.

Суперкомпьютеры, не объединенные в территориально-распределенную систему, обладают существенными недостатками:

– во-первых, это очень дорогостоящая техника, которая быстро морально устаревает (суперкомпьютеры из первой сотни рейтинга Top-500 уже через два–три года, как правило, оказываются в самом хвосте этого списка или вообще выпадают из него);

– во-вторых, это «статичность» вычислительных мощностей суперкомпьютеров, которая практически не поддается серьезной модернизации, зачастую она не позволяет использовать их для решения задач нового уровня сложности;

– в-третьих, «большой минус» — низкий к.п.д суперкомпьютеров вследствие неравномерности загрузки CPU.

От этих недостатков можно избавиться при объединении суперкомпьютеров в грид-сеть, создавая гетерогенные вычислительные сети из различных компьютеров не связанных единым программным обеспечением.

В современных ГРИД-системах (от англ. *grid* – «сеть») реализуется проблемно-ориентированная среда PSE (Pro-blem Solving Environment) – модульная архитектура программного комплекса. Архитектура PSE ориентирована на снижения сложности процессов разработки, тестирования и поддержки программных продуктов на фоне увеличения общей сложности решаемых задач. Такой подход реализован в концепциях CCA (Common Component Archi-

itecture), AOA (Aspect Oriented Architecture), SOA (Service Oriented Architecture). Эти концепции обеспечивают функциональную изоляцию компонентов программного комплекса, что позволяет интерпретировать отдельные программные модули в рамках PSE как сервисы SaaS (Software as a Service).

Сервисы могут быть разработаны различными группами авторов, реализованы с использованием разных технологий программирования и функционировать под различными формами управления и на различных вычислительных системах.

Пользователь может строить различные композитные приложения для решения сложных междисциплинарных задач, не сосредотачиваясь на низкоуровневой реализации отдельных модулей.

Сервисы прикладных программ, установленные на вычислительных системах в рамках распределенной среды, и поддерживающих единый интерфейс взаимодействия позволяют пользователю получать удаленный доступ к сервису как к программно-аппаратному решению. Набор сервисов и ассоциированных с ними априорных знаний предметной области, объединенных в рамках PSE, образует распределенную базу знаний.

На основе базы знаний может выполняться логический вывод в целях обеспечения пользователя рекомендациями по выбору конкретного сервиса для решения его задачи.

RDIG (РДИГ – российский ГРИД для интенсивных операций с данными)

Цели РДИГ:

- создание национальной ГРИД-инфраструктуры в интересах научного сообщества с участием организаций из различных областей науки, образования и промышленности;
- предпринимание усилий по пропаганде ГРИД-технологий и обеспечение возможности обучения и подготовки специалистов для использования ГРИД-сервисов в новых исследовательских областях и экономике;
- обеспечение полномасштабного участия России в создании глобальной компьютерной ГРИД-инфраструктуры;
- консорциум РДИГ, который, согласно принятой в проекте EGEE структуре, входит в проект в качестве региональной федерации Россия.

Цели и задачи ИВПРВС:

- Самонастройка на решаемые задачи.
- Способность ИВПРВС в результате анализа полученного задания самостоятельно определять оптимальные пути его выполнения, и в процессе выполнения – динамически корректировать ход выполнения задания путем подключения или отключения определенных вычислительных ресурсов.
- Платформенно-независимость.
- Способность создаваемой ИВПРВС легко объединяться с любой функционирующей грид-системой через соответствующие серверы.
- ИВПРВС может включать в себя любые ранее выполненные разработки на различных платформах и вычислительных системах в виде сервисов.
- В состав ИВПРВС должно входить общее поле внешней памяти, состоящее из множества типов распределенных запоминающих устройств, управляемых грид-системами данные.
- ИВПРВС нацелена на решение разноплановых задач в науке, технике, экономике, биологии и медицине, природоведении, обществоведении и решение комплексных задач в различных направлениях деятельности общества.

Структурная схема ИВПРВС изображена на рис. 1, а на рис. 2 – ее программное обеспечение.

Как и программное обеспечение gLite EGEE ППО ИВПРВС (cLite) решает три задачи:

- управления вычислительными заданиями;
- управления данными, представленными в форме файлов;
- управления структурированной информацией баз данных.

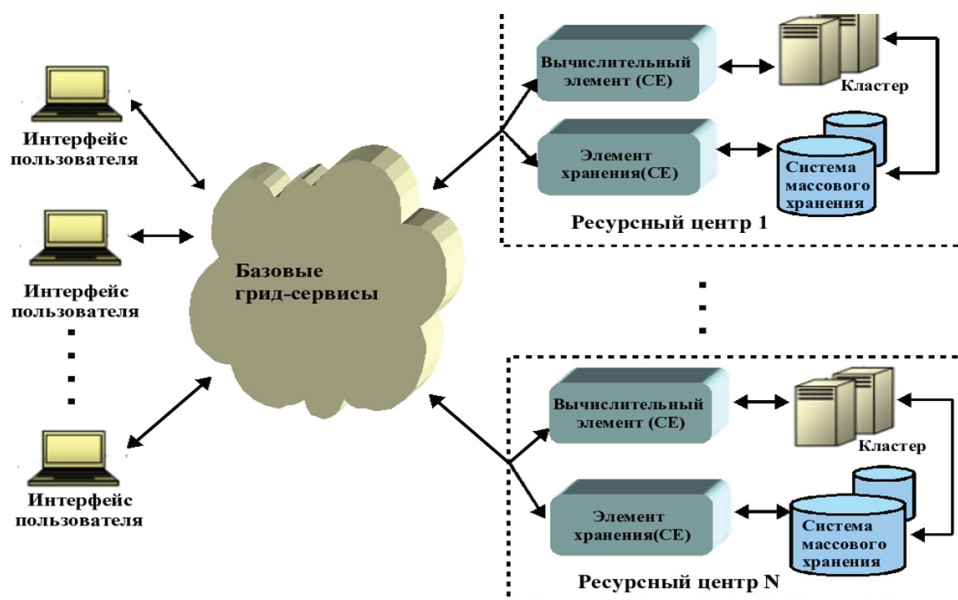


Рис. 1. Структурная схема ИВПРВС

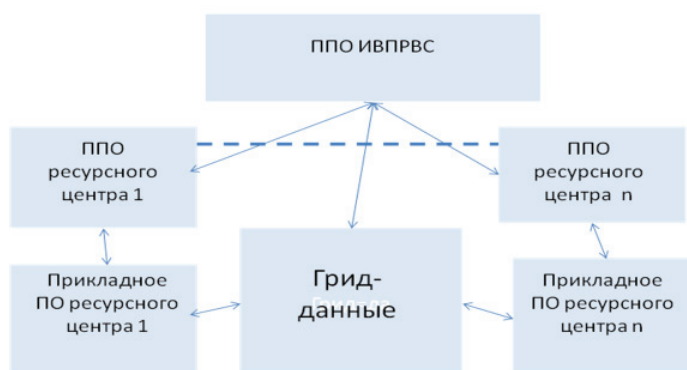


Рис. 2. Структура программного обеспечения ИВПРВС

ППО – промежуточное программное обеспечение ИВПРВС и ресурсных центров

Разрабатываемый ГРИД относится к децентрализованной системе, в которой каждый ресурсный центр (кластер) имеет своего планировщика. Планировщики всех кластеров, составляющих ГРИД, связаны между собой. Каждый из них может выступать в роли метапланировщика ГРИДА, на который поступает задание пользователя. Управление заданием осуществляет система WLMS (Work Load Management System) (рис. 3). Задания поступают в виде неориентированного графа, вершинами которого являются объекты моделирования, а ребрами связи между ними.

Метапланировщик ресурсного центра CE определяет сервисы, способные выполнить расчетные исследования объектов задания. На основании полученной информации служба проводит оптимизацию задания по трем возможным критериям: по производительности, экономическим затратам и по совместному критерию экономичности и производительности.

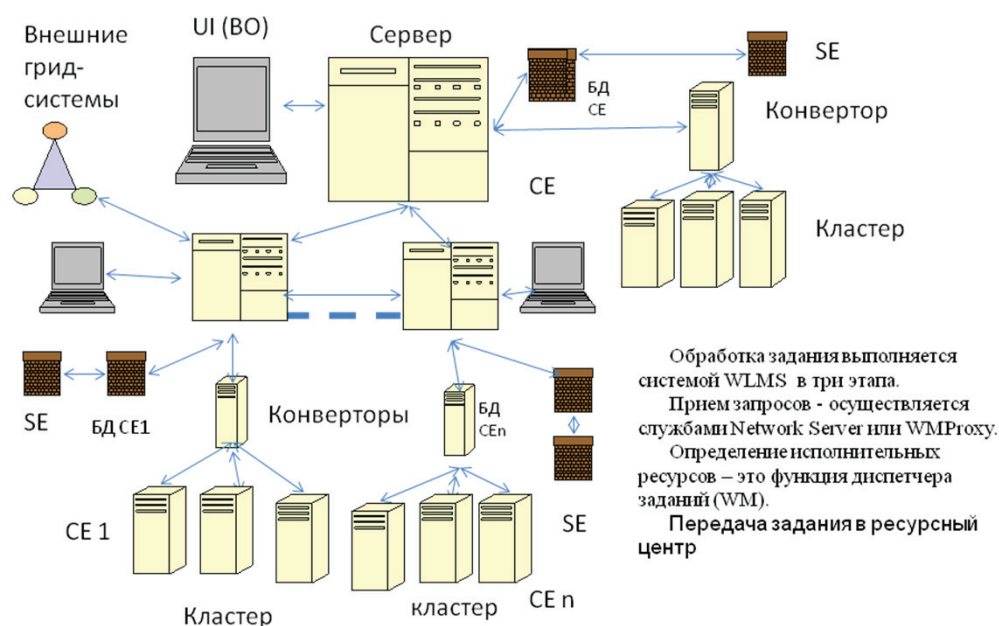


Рис. 3. Управление вычислительным заданием (WLMS)

UI (BO) – пользовательский интерфейс виртуальной организации; БД CE – база данных вычислительного ресурса; SE ресурсы грид-данные

Три подготовленные версии задания отправляются пользователю. По выбранной версии служба генерации задания отправляет ресурсные данные, по которым их локальные менеджеры формируют локальные задания для каждого ресурсного центра с помощью локальных диспетчеров. Таким образом, создается окончательная версия задания, которая может быть направлена пользователю по желанию. При этом для пользователя закрыта информация, на каких вычислительных системах, и с помощью какого программного обеспечения (сервисов) будет выполняться его задание. Архитектура распределенной базы данных (SE) (рис. 4) аналогична архитектуре ресурсных центров (CE).

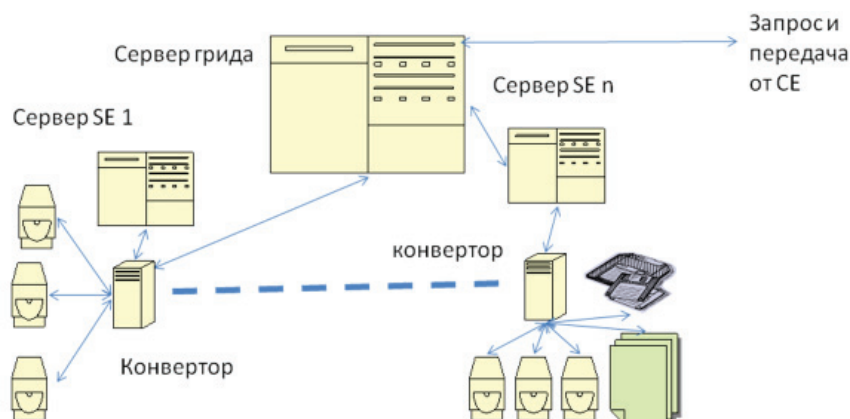


Рис. 4. Ресурсный Грид-Данные

CE – ресурсный центр; SE – ресурсный центр Данные

Формируется службами метаменеджера SE с помощью локальных менеджеров пакет таблиц с исходными данными и создается временная БД в SE. Служба редакции и подготовки исходных данных (ИД) пересылает подготовленный пакет ИД, который планируется редактировать пользователю, и после редакции служба вводит пакет во временную БД.

Пользователь, на компьютере которого установлен интерфейс UI, может командами:

- запустить задание, описание которого содержится в файле.
- снять задание в любой момент процесса обработки.
- получить информацию о состоянии задания.
- получить суммарную диагностику от всех выполненных этапов обработки.

Описание задания: файл описания задания содержит характеристики задания в виде пар: <атрибут> = <значение>.

Среди атрибутов можно выделить три основные группы, которые определяют: тип задания, используемые в задании файлы и способ выбора ресурсов.

WLMS обеспечивает перемещение файлов между компьютером рабочего места и исполнительным компьютером, но ограничиваясь минимально необходимым набором стандартных файлов операционной системы: исполняемым файлом задания, входных данных, диагностических сообщений и файлом сообщений об ошибках.

Входные файлы (исполняемый и файл данных), лежащие в файловой системе рабочего компьютера пользователя UI, передаются на сервер WLMS. Сервер взаимодействия с рядом внешних служб анализирует задание и определяет оптимальный вариант его выполнения. Откорректированное задание отправляется на компьютер пользователя. После утверждения задания пользователем, оно снова поступает на сервер, а затем при запуске задания на исполнительном компьютере загружаются в созданную для этого задания домашнюю директорию.

Выходные файлы диагностики и ошибок порождаются при выполнении задания в домашней директории исполнительного компьютера, и доставляются по его окончании не в точку запуска, а на сервер WLMS.

В WLMS реализована технология виртуализации автоматического распределения заданий по исполнительным ресурсам. Распределение производится с точностью до ресурсного центра или сервиса, то есть определяется не конкретный исполнительный компьютер, а некоторый SE.

Выбор SE управляется двумя условиями: требованиями и рангом, которые задаются пользователем в атрибутах описания задания. Требования определяют подмножество ресурсов, которые подходят для выполнения. Ранг выражает предпочтения на множестве подходящих ресурсов.

Центральной компонентой WLMS является диспетчер заданий, который подбирает для него ресурсы. Для получения сведений о ресурсах диспетчер заданий взаимодействует с информационной системой, база данных которой наполняется и поддерживается в актуальном состоянии информационными сенсорами, расположенными в ресурсных центрах SE. При подборе ресурсов учитывается также политика, регламентирующая права доступа к ним. Для этого диспетчер заданий взаимодействует с сервером виртуальной организации.

При передаче задания для выполнения на SE строится стартовый скрипт, который будет запускаться на исполнительном компьютере, создавая среду и иницируя выполнение исполняемого файла задания. Задание помещается в локальную очередь SE и распределяется через какое-то время на исполнительный компьютер в соответствии с политикой управления ресурсами, реализуемой планировщиком локального менеджера.

На всех этапах распределенной обработки задания действуют механизмы, соответствующие технологиям поддержки функционирования грида.

Система управления данными. Второй функциональной составляющей комплекса является Управление данными. Созданная в контексте вычислительных приложений, фактически эта система ограничена одной формой данных — файлами, оставляя в стороне, например, структурированные данные информационных приложений. В большой степени система

Управления данными независима от WLMS, что позволяет рассматривать ее в качестве средства создания грида распределенного хранения данных. В основе грида этого типа, также как и вычислительного, лежат технологии интеграции и виртуализации ресурсов.

Интеграционные технологии решают задачу образования общего поля постоянной памяти из множества распределенных запоминающих устройств различных типов: допускаются отдельные диски, дисковые массивы, ленточные устройства массовой памяти. Запоминающие устройства структурированы в гриде подобно вычислительным: устройства из одного административного домена объединяются в ресурсный центр Storage Element (SE), который управляется локальным менеджером. Множество SE образуют грид хранения данных — доступ к каждому из них осуществляется по унифицированным интерфейсам и протоколам, и память устройств SE может использоваться потенциально любым пользователем грида для размещения файлов (рис. 4).

Технологии виртуализации делают следующий шаг: после того как файл помещается в грид, он становится доступен пользовательским программам, где бы они ни выполнялись, примерно также, как в локальной среде одного компьютера — по имени и посредством стандартных операций. Виртуализация реализуется на основе глобальной файловой системы, общей для всех пользователей грида. Пространство именования файлов иерархически структурировано, то есть помимо собственно файлов могут создаваться директории. Поэтому, хотя файловая система одна на всех пользователей, может быть обеспечена уникальность присваиваемых пользователем имен — так называемых логических имен файлов.

Рассмотрим внутреннюю организацию SE. SE включает одно или несколько устройств хранения, образующих общее пространство памяти для файлов грида. Вся совокупность устройств SE управляется локальным менеджером, поддерживающим размещение файлов и операции над ними.

Система Управления данными решает задачу защиты файлов на двух уровнях: файловой системы грид, поддерживаемой службой каталогов, и на уровне элементов памяти SE.

Информационная система. В комплексе информационная система осуществляет сбор, хранение и поиск сведений о деятельности пользователей, состоянии ресурсов для других систем, включая управление заданиями и данными. Фактически параллельно существуют две информационные системы, причем каждая обслуживает свой состав данных. Первая хорошо подходит для поиска и просмотра информации, но имеет недостатки в аспекте модификации быстро меняющихся данных.

Второй вариант информационной системы позволяет решать следующие задачи:

- хранение и извлечение структурированной информации произвольной природы;
- поставка информации от распределенных источников в базу данных в оперативном режиме (мониторинг);
- поставка информации от распределенных источников в приложения.

Задачи поиска и поставки информации решаются единообразно — в основе лежит схема взаимодействия Поставщика данных и Потребителей. Поставщик представляет собой компоненту, которая принимает информацию и вводит ее в виртуальную БД. Существует несколько вариантов, откуда информация поступает Поставщику, самый простой из них — поставка от источников данных. Поставщик делает поступающие данные доступными Потребителям. Для этого Поставщик объявляет состав данных, которые он способен предоставлять, декларируя одну или несколько таблиц (точнее, некоторую выборку столбцов таблицы), определенных в Схеме виртуальной БД.

Чтобы получать данные, Потребитель не обращается к какому-то конкретному Поставщику, а публикует поисковый, получая в ответ удовлетворяющие запросу данные от разных Поставщиков.

Интерпретация запроса, включающая определение списка релевантных Поставщиков и выдачу им частичных поисковых запросов, поддерживается автоматически программны-

ми компонентами Потребителей и Реестром. Способ взаимодействия Поставщиков с Потребителями применим не только для поиска, но таким же образом выполняется и поставка данных.

Службы поддержки функционирования. В условиях распределенной инфраструктуры и децентрализованной обработки запросов особым образом должны решаться вопросы обеспечения безопасности, мониторинга процессов, обслуживания больших пользовательских коллективов. В cLite сделан существенный шаг в этом направлении, что дает основание выделить отдельную группу технологий поддержки функционирования грида. В то же время следует отметить, что большинство из этих технологий применяется пока лишь в контексте системы WLMS, хотя перспективы их использования в системе управления данными и информационной системе достаточно очевидны.

Рассмотрим ряд служб, которые реализуют поддерживающие технологии.

Служба протоколирования процесса обработки заданий. Вычислительные задания обрабатываются в гриде распределено различными компонентами: пользовательским интерфейсом, составляющими WLMS и ресурсного центра CE. В этих условиях возникает проблема информирования пользователей о ходе выполнения запущенных ими заданий. Служба LB (Logging and Bookkeeping service) решает эту проблему:

- предоставляя средства для агрегирования диагностических сообщений, относящихся к каждому отдельному заданию, в виде единого протокола обработки;
- обеспечивая хранение протоколов и предоставление их по запросам;
- посылая уведомления об изменении состояния задания.

В конечном счете, события собираются на сервере хранения протоколов, но реализуется это в два этапа. На первом этапе событие поступает демону, который выполняется в непосредственной физической близости от источника события, что позволяет избежать каких-либо сетевых проблем при передаче. Локальный демон записывает событие в файл и возвращает источнику подтверждение об успешности операции.

Далее на втором этапе за доставку события отвечает другой демон, получая событие либо прямо от первого демона, либо в случае его падения, с диска, он пересылает его в конечную точку назначения — серверу хранения, причем надежность на этом этапе обеспечивается механизмом повторной передачи.

В инфраструктуре может быть несколько серверов хранения, однако события от всех заданий одного пользователя поступают только на один из них (он определяется статически в конфигурации). Сервер хранения выполняет несколько функций. Во-первых, обрабатывая поступающие «сырые» события, он формирует обобщенное представление о состоянии задания, в котором содержатся такие атрибуты как описание задания, адрес исполнительного CE, код завершения и т.д. Во-вторых, сервер хранения предоставляет интерфейс Web-служб для получения информации и о состоянии задания, и обо всех событиях.

В-третьих, сервер хранения поддерживает подписку на получение уведомлений об изменении состояния задания. Для подписки клиент регистрируется на сервере хранения, задавая условия получения уведомлений (идентификатор задания, тип события). Уведомления доставляются принимающему клиенту на стороне пользователя асинхронно тогда, когда происходит событие, указанное в условиях регистрации. Этот способ слежения за заданием имеет преимущества, позволяя избежать многократного повторения запросов о состоянии с одним и тем же результатом и снизить, тем самым, нагрузку на сервер.

Служба учета потребления ресурсов. Представляет собой средство сбора информации об использовании ресурсов пользователями грид. Информационной единицей в этой системе выступает запись использования, которая создается для каждого обработанного задания и содержит такие данные:

- идентификатор задания;
- ресурсный центр, в котором оно выполняется;

- использованные при выполнении ресурсы;
- время: запуска на счет, поступления в очередь локального менеджера, окончание;
- время создания записи.

Обслуживание запросов на выдачу информации в инфраструктуре из множества серверов существенно упрощается, если информация распределена между ними таким образом, что все данные, относящиеся к одному пользователю, сконцентрированы на одном из них.

Безопасность и поддержка виртуальных организаций. Вопросы безопасности, значение которых в условиях грида с распределенными автономными ресурсами, большим и меняющимся составом пользователей чрезвычайно велико, решаются на основе Инфраструктуры публичных ключей PKI. Основные положения подхода заключаются в следующем.

Объекты ГРИДа (пользователи и службы) располагают цифровым удостоверяющим документом — сертификатом стандарта X.509, который заверен Сертификационным центром (Certificate Authority). В качестве ключевого атрибута сертификат содержит уникальный идентификатор объекта Distinguished Name (DN). Используемые в гриде протоколы гарантируют надежную взаимную аутентификацию объектов при всех дистанционных взаимодействиях. Аутентификация осуществляется путем предъявления сертификатов и не требует участия пользователя.

Потребность обслуживания масштабных гридов поставила ряд серьезных проблем в отношении второго аспекта безопасности — авторизации. Содержание авторизации заключается в том, что при входе пользователя в систему (в данном случае в ресурсный центр) определяются его полномочия на выполнение определенных действий (выполнение приложения, доступа к файлу или таблице базы данных). В результате авторизации производится отображение полномочий на локальные права в конкретной среде безопасности.

В подходе грида за организацию работы пользователей и их взаимоотношения с провайдерами отвечают Виртуальные организации (ВО), которые определяют полномочия пользователей и заключают соглашения с провайдерами об их обслуживании.

Для решения перечисленных проблем предложена реализованная несколькими программными средствами процедура, которая автоматически определяет и проводит в жизнь локальную политику по авторизации пользователей, используя формализованное описание их полномочий.

Использование ВО позволяет создать схему, в которой авторизация проводится исключительно исходя из авторизационных атрибутов, а доставка этих атрибутов осуществляется путем их включения в состав прокси-сертификата расширенного формата.

Изложенное программное обеспечение ППО ИВПРВС (cLite), базируется на промежуточном программном обеспечении gLite, открытая версия которого изложена в [2, 22].

Промежуточное программное обеспечение ресурсных центров. Ресурсные центры, управляемые глобальным или локальным менеджером, могут состоять из одного или нескольких сервисов, решаемых задачи проблемно-ориентированной среды (PSE). Такой подход позволяет реализовать концепцию модульной архитектуры, в которой различные предметно-ориентированные модули функционируют в рамках управляющей среды. Эта среда обеспечивает единый интерфейс взаимодействия модулей.

Архитектура проблемно-ориентированной среды должна обеспечить интеграцию ее модулей, таким образом, чтобы реализовать тенденцию снижения сложности процессов разработки, тестирования и поддержки программных продуктов на фоне увеличения общей сложности решаемых задач.

Характерной особенностью традиционных программных комплексов компьютерного моделирования являются высокие трудозатраты на их установку и настройку. Эта проблема полностью устраняется, когда пользователь ориентируется на распределенные композитные приложения, создаваемые на основе отдельных предметно-ориентированных сервисов, ко-

торые устанавливаются непосредственно своими разработчиками на выделенных целевых системах. Как следствие, для распространения таких приложений становится эффективной модель SaaS (Software as a Service), в рамках которой провайдер предоставляет пользователю в аренду через Интернет приложение, функционирующее на его же технологической площадке. При этом в качестве таких приложений могут рассматриваться как отдельные сервисы, так и объединяющее их композитное приложение (AaaS, Application as a Service). Использование моделей SaaS и AaaS изменяет требования и к самим вычислительным сервисам. Так, для многих задач использование суперкомпьютерных систем традиционной архитектуры далеко не всегда является оправданным в силу весьма низкой параллельной эффективности. Если пренебречь переносимостью программы в ряде случаев можно эффективно реализовать ее сервисную версию для исполнения на вычислительных системах реконфигурируемой архитектуры (FPGA). Несмотря на то, что стоимость разработки в данном случае будет выше в разы, этот недостаток окупается за счет стоимости последующего владения комплексом в целом.

Планируется реализовать рассмотренную архитектуру ресурсного центра следующим образом.

Ресурсный центр (рис. 5) представляет набор сервисов, управляемых локальным или глобальным менеджер. Сервис может использовать кластер различной конфигурации.



Рис. 5. Ресурсный центр СЕ. Здесь БД СЕ — база данных СЕ

В ресурсном центре (кластере) можно выделить три основных компонента, для которых разрабатывается программное обеспечение: управляющий узел (УУ), исполнительный узел (ИУ), пользовательский интерфейс (ПИ). УУ — это выделенный сервер в центре инфраструктуры грид-системы, к которому подключены множество гетерогенных исполнительных узлов. На управляющем узле реализованы все функции управления ресурсным центром и взаимодействия компонентов (ИУ).

Для того чтобы грид-кластер был бы доступен пользователям ПИ должна передать в информационную систему грида о допустимых ресурсах кластера, и предоставить возможность запуска задачи в кластере. Вся эта информация хранится в базе данных кластера, управляемой менеджерами СЕ. В информационную систему грида также передается динамическая

информация о том, что кластер не может проводить дальнейшие расчеты и его необходимо отключить. Это информация используется для динамической перестройки модели.

Управляющий узел по сути дела является шлюзом для кластера. На нем реализованы необходимые базовые компоненты промежуточного программного обеспечения грида. В УУ входят следующие службы:

- информационная служба;
- служба взаимодействия с сервисами или исполнительными узлами;
- служба поддержки пользователей;
- служба диспетчеризации;
- служба мониторинга;
- служба передачи данных;
- служба работы с базой данных.

Информационная служба выполняет функции по хранению информации о пользователях грида, глобальных заданий, в решении которых может принять участие сегмент, свободных ресурсах ИУ, которые заносятся в базу данных. Для хранения информации используется реляционная база данных в системе SE. Информационная служба непосредственно взаимодействует со службами управления данными в SE информационной службой, где выступает в роли, как Поставщика, так и Потребителя, а также взаимодействует со службой безопасности и поддержки виртуальных организаций.

Служба взаимодействия с исполнительными узлами осуществляет связь метаменеджера с менеджером ресурсного узла, который управляет процессом выполнения задания на вычислительных узлах. По командам метаменеджера вычислительные узлы могут устанавливать прямую связь друг с другом, аналог двухточечной связи.

Служба поддержки пользователя входит в состав службы управления заданием и служит для глобальных заданий и обработки запросов пользователей.

Служба планирования реализуется локальным менеджером, периодически запускает процесс поиска «подходящего» узла для каждого находящегося в очереди глобального задания и отправляет его на выполнение, если такой узел найден. При формировании плана выполнения задания строит локальный граф по полученному заданию от метаменеджера.

Служба мониторинга контролирует, выполняет протоколирование выполнения задания, и предоставляет информацию службе поддержки функционирования cLite.

Служба хранения и передачи данных осуществляет безопасную доставку данных, при этом реализуются следующие функции:

- конвертацию данных;
- передача данных и исполняемых файлов задания на ИУ;
- доставку результатов по адресу, указанному пользователем;
- временное хранение необходимых для задания данных до его завершения.

Исполнительный узел. Компьютеры ИУ функционируют под управлением собственной операционной средой. ИУ устанавливает агента на компьютере, подключенного к УУ. Все ресурсы узла делятся между процессами владельца узла и глобальными заданиями. На исполнительном узле реализуется непосредственный запуск задания и управление им. При этом агент управляет процессом приема задания, т.к. компьютер не отчужден в гриде. На ИУ реализованы следующие системы:

- система администрирования;
- система передачи данных;
- система запуска задания;
- система разделения ресурсов;
- система управления заданием.

Система администрирования позволяет настроить использование ресурсов гридом.

Система передачи данных на исполнительном узле осуществляет доставку результатов на сервер или передачу информации на другой узел.

Система запуска задания получает от сервера идентификатор задания, по которому она определяет, где находится файл задания и необходимые входные данные. Затем реализуется запуск задания.

Система разделения ресурсов осуществляет контроль над потреблением заданием ресурсов и обеспечивает их эффективное использование.

Система управления заданием позволяет приостановить, возобновить или прекратить выполнение задания.

Таким образом, на ИУ задание обрабатывается по следующей схеме:

- по запросу агента сервер передает идентификатор задания;
- используя систему передачи данных, по идентификатору задания доставляются само задание и необходимые данные;
- система запуска задания формирует исполнительскую среду, запускает задание и передает идентификатор системного процесса, соответствующего глобальному заданию, системе разделения ресурсов;
- система разделения ресурсов контролирует потребление ресурсов глобальным заданием;
- после выполнения задания файлы с выходными данными задания передаются по указанному адресу пользователя;
- агент информирует сервер, что он свободен.

Планируется, что компьютеры ИУ могут находиться под управлением различных операционных систем (Linux, Windows и др.) и программных оболочек (SMM, SALOME, ПТК «ВЭБ» и др.).

Пользовательский интерфейс. ПИ предоставляет доступ к вычислительным ресурсам грид-кластера, механизму запуска заданий с возможностью его описания и требований к заданию ресурсов. Пользователю предоставляется возможность контроля выполнения задания через службы управления вычислительным заданием.

Перечень планируемого промежуточного программного обеспечения ИВППВС cLite. Ориентировочно на базе gLite [23] должно быть создано ППО cLite со следующими программными системами:

- CE (Computing Element) – набор программ для установки на управляющий узел вычислительного кластера. Данный элемент предоставляет универсальный интерфейс к системе управления ресурсами кластера и позволяет запускать на кластере вычислительные задания.
- SE (Storage Element) – набор программ, предназначенный для установки на узел хранения данных. Данный элемент предоставляет универсальный интерфейс к системе хранения данных и позволяет управлять данными (файлами) в Грид-системе.
- WN (Worker Node) – набор программ, предназначенный для установки на каждый вычислительный узел кластера.
- UI (User Interface) – набор программ, реализующих пользовательский интерфейс Грид-системы (интерфейс командной строки). В этот элемент входят стандартные команды управления задачами и данными.
- RB (Resource Broker) – набор программ, реализующих систему управления загрузкой (ресурсов). Этот элемент, предоставляет все необходимые функции для скоординированного автоматического управления заданиями в Грид-системе.
- PX (Proxy) – набор программ, реализующих сервис автоматического обновления сертификатов (myproxy).
- LFC (Local File Catalog) – набор программ, реализующих файловый каталог Грид-системы. Файловый каталог необходим для хранения информации о копиях (репликах) файлов, а также для поиска ресурсов, содержащих требуемые данные.

– BDII (Information Index) – набор программ, реализующих информационный индекс Грид-системы. Информационный индекс содержит всю информацию о текущем состоянии ресурсов, получаемую из информационных сервисов, и необходим для поиска ресурсов.

– MON (Monitor) – набор программ для мониторинга вычислительного кластера. Данный элемент собирает и сохраняет в базе данных информацию о состоянии и использовании ресурсов кластера.

– VOMS (VO Management Service) – набор программ, реализующих каталог виртуальных организаций. Данный каталог необходим для управления доступом пользователей к ресурсам Грид-системы на основе членства в виртуальных организациях.

Перечисленный набор программных комплексов должен создать следующие базовые системы в cLite:

- Система управления заданиями.
- Система управления данными.
- Система информационного обслуживания и мониторинга грид-системы.
- Система безопасности и контроля прав доступа.
- Система протоколирования.
- Система учета.

Перечисленный набор программных комплексов в ходе разработки ППО cLite может меняться по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

Прикладное программное обеспечение. Развитие суперкомпьютерной вычислительной техники потребовало от прикладного программного обеспечения новых подходов к оптимизации алгоритмов с целью минимизации перемещения данных для обеспечения эффективного энергопотребления и реализации механизмов отказоустойчивости.

Основным направлением создания перспективных супервычислительных систем в настоящее время считается совместная разработка архитектуры и программного обеспечения суперЭВМ. Во многом эффективность может быть достигнута за счет:

– оптимизации приложения по отношению к архитектуре – при наличии уже реализованной системной архитектуры в этом процессе требуется отобразить прикладные рабочие нагрузки на характеристики архитектуры;

– оптимизации архитектуры по отношению к приложениям – при наличии уже реализованного приложения этот процесс оптимизирует архитектуру для достижения высокой производительности;

– совместной разработки для оптимизации производительности – этот подход позволяет добиться наилучшего соответствия между приложением и архитектурой;

– совместной разработки для повышения эффективности энергопотребления путем создания приложений, дающих информацию об ожидаемых периодах простоя и поддержки времени выполнения операций, способствующей снижению энергопотребления;

– совместной разработки для обеспечения отказоустойчивости путем использования избирательных методов (таких как репликация только важнейших данных в памяти узлов системы) – это может помочь восстановить состояние отказавших узлов и продолжить выполнение задания. В этом направлении может оказаться эффективным процесс совместной разработки, затрагивающий факторы приложения, модели программирования и подсистемы поддержки времени выполнения.

Для адаптации существующих приложений к разработанным вычислительным системам, а также вновь создаваемым важным является разработка средств анализа и преобразования программ. Одним из таких средств могли бы быть различного рода эмуляторы, создаваемые на обычной вычислительной технике, которые воспроизводили бы алгоритм работы многопроцессорных систем.

Для параллельных программ, когда анализ процесса исполнения затруднен или невозможен, анализ исходных текстов может стать эффективным подходом к поиску ошибок

и доказательству правильности программ. Используя разрабатываемые в организациях РАН методы, можно реализовать инструментальный по автоматизированному созданию параллельных программ для систем сверхвысокой производительности на основе последовательных программ. Этот метод базируется на так называемых обратимых вычислениях [24].

Из этих положений следует для создания высокоскоростных вычислительных систем с оптимальными характеристиками возможно только на базе сервисов, в которых прикладное программное обеспечение максимально автономно и адаптировано к конкретной вычислительной среде, которая обеспечивает наилучшие вычислительные характеристики.

Используя перечисленные методы, планируется в ходе теоретических и экспериментальных исследований разработать для конкретных задач сервисы с оптимизацией как вычислительных алгоритмов, так и архитектуры вычислительных узлов.

Заключение

В рамках распределенных вычислительных систем получили широкое распространение корпоративные кластерные системы, нацеленные на компьютеринг высокой производительности. В настоящее время большинство организаций переходят на такие системы и добиваются больших успехов.

Эти системы нашли широкое распространение во всем мире, и часто поддерживаются правительственными фондами с целью способствовать быстрейшему научному открытию или экономическому развитию в стране или регионе. В эти «региональные грид-инфраструктуры» входят: ChinaGrid, TeraGrid и Open Science Grid в Соединенных Штатах, германский проект D-Grid, японский национальный исследовательский проект NAREGI, английская программа e-Science Programm и EGEE и EGEE-II (Enabling Grids for E-sienceE) в Европе.

В России в настоящее время ведутся работы по созданию национальных грид-систем (NGS) и в необходимом количестве национальных стандартов для решения большого круга задач в науке, образовании, промышленности, медицине, военно-промышленном комплексе.

Крупными инновационными проектами, в которых планируется использовать грид-системы с компьютерами эксафлопсного класса, могут быть:

- Разделы квантовой теории твердого тела теории сильнокоррелированных электронных систем. Другим направлением является физика высоких энергий.

- Комплексное моделирование объектов атомной энергетики.

- Исследования и разработка оптимальных путей развития ОПК.

- Проектирование и разработка изделий в авиастроении.

- Проектирование и разработка изделий в автомобильной промышленности.

- Проектирование и разработка изделий в ракетно-космической отрасли.

- Повышение эффективности нефте- и газодобычи.

- Моделирование процессов горения в двигателях новых конструкций и тепловой энергетике.

- Использование энергии альтернативных возобновляемых источников.

- Задачи управляемого лазерного термоядерного синтеза.

- Создание материалов с радикально новыми свойствами в интересах производства на их основе качественно новой высокотехнологичной продукции.

- Моделирование и анализ сложных явлений и проблем в области живых систем.

Согласно перспективным планам развития науки, техники, энергетики, транспорта, нефте- и газовой отрасли, медицины, можно ожидать объем рынка для грид-систем эксафлопсного класса [41, 43]:

- исследования в фундаментальной науке – ежегодно около 18 млрд руб.;

- ядерная энергетика – 260 млн руб.;

- гражданская авиация – 2000 млн руб.;

- ракетно-космическая отрасль – 6000 млн руб.;
- ядерный оборонный комплекс – 1,3 млрд руб.;
- нефтегазовая отрасль – 60 млрд руб.

Финансирования ежегодных расчетных исследований по всем научно-техническим направлениям с использованием экзафлопсные вычислительные системы могут составить порядка 88 млрд руб. или порядка 1,50 млрд долл. На создание ИВПРВС, которая смогла бы объединить перечисленные вычислительные системы (кластеры) и обеспечить решения отмеченных задач, по оценкам необходима сумма порядка 3 млрд руб. или 50 млн долл.

Список литературы

1. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу (до 2030 г.) (Концептуальные подходы, направления, прогнозные оценки и условия реализации). РАН РФ, 2008 г. Available at: <http://ras.ru/FStorage/download.aspx?id=5f47fe85-3594>.
2. Foster I., Kesselman C., Nick J., Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. Available at: <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>.
3. Research & Technological Development for a Data TransAtlantic Grid (DataTag). Available at: <http://datatag.web.cern.ch>.
4. Grid Physics Network (GriPhyN). Available at: <http://www.griphyn.org>.
5. Tierney B., Aydt R., Gunter D., Smith W., Taylor V., Wolski R., Swamy M. A grid monitoring architecture. Tech. Rep. GWD-PERF-16-2, Global Grid Forum, January 2002. Available at: <http://www-didc.lbl.gov/GGF-PERF/GMA-WG/papers/GWD-GP-16-2.pdf>.
6. Web Services Architecture. W3C Working Group Note, February 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>.
7. Globus Toolkit Version 4 Grid Security Infrastructure: A Standards Perspective. Vers. 4, 2005.
8. Czajkowski K., Foster I., Karonis N., Kesselman C., Martin S., Smith W., Tuecke S. A Resource Management Architecture for Metacomputing Systems. Proc. IPPS/SPDP '98 Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, pg. 62–82, 1998.
9. Raman R., Livny M., Solomon M. Matchmaking: An extensible framework for distributed resource management. Cluster Computing, 2(2), 1999.
10. Kendall S.C., Waldo J., Wollrath A., Wyant G. (1994). A note on distributed computing. Sun Microsystems, Technical Report TR-94-29.
11. Leach P., Mealling M., Salz R. Universally Unique IDentifier (UUID) URN Namespace. July 2005, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4122.txt>.
12. Disk Pool Manager (DPM). POOL – Persistency Framework. Pool Of persistent Objects for LHC. Available at: <http://lcgapp.cern.ch/project/persist>.
13. Patrick Fuhrmann. Cache, the Overview. Available at: <http://www.dcache.org/manuals/dcache-whitepaper-light.pdf>.
14. CASTOR. Available at: <http://cern.ch/castor>.
15. MDS 2.2 Features in the Globus Toolkit 2.2 Release. Available at: http://www.globus.org/toolkit/mds/#mds_gt2.
16. R-GMA: Relational Grid Monitoring Architecture. Available at: <http://www.r-gma.org>.
17. LB Service User's Guide. Available at: <https://edms.cern.ch/document/571273>.
18. Farrel S., Housley R. An Internet Attribute Certificate Profile for Authorization, RFC3281 (2002).
19. Frohner A., Ciaschini V. VOMS Credential Format, EDG Draft, 2004.
20. Alfieri R., Cecchini R., Ciaschini V., dell'Angelo L., Gianoli A., Spataro F., Bonnassieux F., Broadfoot P., Lowe G., Cornwall L., Jensen J., Kelsey D., Frohner A., Groep D.L., Som de Cerff W., Steenbakkers M., Venekamp G., Kouril D., McNab A., Mulmo O., Silander M., Hahkala J., Lorentey K. Managing Dynamic User Communities in a Grid of Autonomous Resources, Computing in High Energy and Nuclear Physics, La Jolla, California, 24–28 March 2003.

21. The gridmapdir patch for Globus. Available at: <http://www.gridpp.ac.uk/gridmapdir>.
22. Коваленко В.Н. Комплексное программное обеспечение грида вычислительного типа, ИПМ им. Келдыша, 2007. Available at: http://www.keldysh.ru/.../prep2007_10.html.
23. Шпаковский Г.И., Стецюренко В.И., Верхотуров А.Е., Серикова Н.В. Применение технологии MPI в Грид, БГУ, Минск, 2008 г.
24. Абрамов С.М., Роганов В.А. Динамическая специализация как средство оптимизации распределенных вычислений и как метод создания адаптивных сервисов для GRID-систем. Available at: istina.msu.ru/publications/article/212895.
25. Отчет «Создание модулей графического интерфейса расчетных кодов и их интеграция в ПТК (РАТЕГ, КОРСАР, ГУ ЛОГОС–РАТЕГ–НФ)» НИР.0-0-22-ОТ-071, инв. № НИР-Т-80, ОАО «СПбАЭП», 2011г. 8/23677 42л, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» 2011 г.
26. Отчет «Разработка и согласование с РФЯЦ-ВНИИЭФ методики объединения кодов ЛОГОС и КОРСАР» Рег. № Т-2062, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2011 г. 8/23575 18л, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» 2011 г.
27. Отчет «Модернизация ПК ТЕРМИТ для выполнения технических требований к ПТК «Виртуальный энергоблок» по состоянию на 4-й квартал 2011г.» Рег. № Д-9517, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2011 г. 8/23641, 33 л, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011 г.
28. Доработка ПС РК КОРСАР-САПФИР&РС для связи с управляющим комплексом и интеллектуальной распределенной средой обмена данными: отчет о НИР. Коротаев В.Г.; инв. № 8/22687. НИТИ, 2011.
29. Доработка ПС РК КОРСАР-САПФИР&РС для работы в составе ПТК и взаимодействия с PSS: отчет о НИР. Коротаев В.Г., инв. № Т-2048нс. НИТИ, 2011.
30. Реализация мероприятия «Создание концепции и технологии «Виртуальная АЭС с ВВЭР» проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» в части работ по разработке программно-технического комплекса (ПТК) «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР». Модернизация программной оболочки интеграции расчетных кодов. Техническое задание: тех.задание. Образцов Е.П., Кремнев И.С., Соколов В.Г. инв. № 8/22722. СПбАЭП, 2011.
31. Отработка связки кодов ЛОГОС-РАСНАР на прикладных задачах проекта «виртуальной корабельной ЯЭУ»: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Денисова О.В., Кривонос А.С., Тарасова Н.В., Ялозо А.В., инв. № 8/23842. г. Саров, 2012.
32. Пакет программ ЛОГОС. Некоторые алгоритмы решения сопряженных и связанных задач аэродинамики и теплопереноса: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Зеленский Д.К., Глазунов В.А., Жучков Р.Н., Чистякова И.Н., Пучкова О.Л., Ялозо А.В., инв. № 8/24040. г. Саров, 2012.
33. Создание связи программных комплексов КОРАТ-3D и РАТЕГ на основе технологии PSS: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Воронова О.А., Данилов Ю.Ф., Деулин А.А., Евдокимов В.В., Кульнев Д.В., Лобанов П.С., Самигулин М.С., Шемякина Т.В., инв. № 8/20910. г. Саров, 2008.
34. Развитие методики КАРАТ в рамках программного комплекса РЕАКТОР: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Деулин А.А., Максимов А.С., Осолкова О.О., Шемякина Т.В., инв. № 8/20911. г. Саров, 2008.
35. Разработка технологии связи комплексов ЛОГОС-2 и РАСНАР неявным методом: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Козелков А.С., Тарасова Н.В., Лашкин С.В., Ялозо А.В., Деулин А.А., Лобанов П.С.; инв. № 8/21592. г. Саров, 2009.
36. Система интеграции программных пакетов PSS версия 1.2: описание новых принципов обмена данными, расширение возможностей системы конвертирования: отчет о НИР/ВНИИЭФ, Кульнев Д.В., Деулин А.А., Шемякина Т.В., Лобанов П.С., Модянов Р.В., инв. № 8/21696. г. Саров, 2009.
37. Реализация связи пакетов программ ЛОГОС и РАСНАР (в рамках работ по теме: «Внедрение суперкомпьютерных технологий в новых проектах корабельных реакторных установок и разработки виртуальной корабельной ЯЭУ»): отчет о НИР/ВНИИЭФ, Денисова О.В., Деулин А.А., Козелков А.С., Тарасова Н.В., Ялозо А.В., инв. № 8/22972. г. Саров, 2011.
38. Технология проведения расчетов связанных и сопряженных задач в комплексе ЛОГОС Версия 3.1: отчет о НИР/ВНИИЭФ. Спиридонов В.Ф., Козелков А.С., Кульнев Д.В., Цибереv К.В., Анищенко А.А., Потехин А.Л., Артамонов М.В., Алейников А.Ю., Гордеев А.В., Деулин А.А., Иванов К.В.,

Никитин В.А., Олесническая К.К., Присташ М.М., Резцова Т.В., Кондрахина А.В., Лобанов П.С., Антипин И.А., Шубина М.А., Лопаткин А.И., Ялозо А.В., инв. № 8/23825. г. Саров, 2012.

39. Программный комплекс ЛОГОС для комплексного имитационного моделирования процессов аэро-, гидро-, газодинамики и упругопластического деформирования и прочности конструкций с учетом взаимного влияния этих процессов друг на друга, отчет о НИР/ВНИИЭФ. Спиридонов В.Ф., Козелков А.С., Кульнев Д.В., Циберева К.В., Анищенко А.А., Потехин А.Л., Артамонов М.В., Гордеев А.В., Деулин А.А., Иванов К.В., Никитин В.А., Олесническая К.К., Присташ М.М., Резцова Т.В., Лобанов П.С., Антипин И.А., Лопаткин А.И., Ялозо А.В., Саразов А.В., инв. № 8/24193. г. Саров 2012.

40. Развитие суперкомпьютерных технологий для решения актуальных задач атомной отрасли. Журнал «Клуб 3D. Инновационное проектирование», пятый выпуск, 2012 г. Нижний Новгород. Костюков В.Е., Соловьев В.П., Шагалиев Р.М., Гребенников А.Н., Деулин А.А., Егоршин С.П., Шаменок И.О. (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»), Безлепкин В.В., Кухтевич В.О., Образцов Е.П. (ОАО «СПбАЭП»), Быков М.А., Мохов В.В. (ОАО «ОКБ ГИДРОПРЕСС»), Мигров Ю.А., Черных В.П. (ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»).

41. О федеральной целевой программе «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 гг. и на перспективу до 2020 г.», Постановление Правительства РФ от 03.02.2010 г. № 50 (ред. от 01.10.2011). Available at: [MnogoZakonov.ru catalog/date/2010/2/3/72172](http://MnogoZakonov.ru/catalog/date/2010/2/3/72172).

42. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715. Available at: [http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_\(utv._№1715-p_13.11.09\).doc](http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(utv._№1715-p_13.11.09).doc).

43. Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 гг. и на период до 2015 г. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 15 октября 2001 г. № 728. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902289881>.

References

1. *Prognoz nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na dolgosrochnuyu perspektivu (do 2030 g.) (Kontseptual'nye podkhody, napravleniya, prognozyne otsenki i usloviya realizatsii)*. RAN RF, 2008 g. [Forecast of Scientific and Technological Development of the Russian Federation for the long term (until 2030) (conceptual approaches, trends, and forecasts of conditions of realization). Russian Academy of Sciences, 2008]. Available at: <http://ras.ru/FStorage/download.aspx?Id=5f47fe85-3594>.

2. Foster I., Kesselman C., Nick J., Tuecke S. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration. Available at: <http://www.globus.org/research/papers/ogsa.pdf>.

3. Research & technological development for a Data TransAtlantic Grid (DataTag). Available at: <http://datatag.web.cern.ch>.

4. Grid Physics Network (GriPhyN). Available at: <http://www.griphyn.org>.

5. Tierney B., Aydt R., Gunter D., Smith W., Taylor V., Wolski R., Swamy M. A grid monitoring architecture. Tech. Rep. GWD-PERF-16-2, Global Grid Forum, January 2002. Available at: <http://www.didc.lbl.gov/GGF-PERF/GMA-WG/papers/GWD-GP-16-2.pdf>.

6. Web Services Architecture. W3C Working Group Note, February 2004. Available at: <http://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>.

7. Globus Toolkit Version 4 Grid Security Infrastructure: A Standards Perspective. Vers. 4, 2005.

8. Czajkowski K., Foster I., Karonis N., Kesselman C., Martin S., Smith W., Tuecke S. Resource Management Architecture for Metacomputing Systems. Proc. IPPS/SPDP '98 Workshop on Job Scheduling Strategies for Parallel Processing, p. 62–82, 1998.

9. Raman R., Livny M., Solomon M. Matchmaking: An extensible framework for distributed resource management. Cluster Computing, 2(2), 1999.

10. Kendall S.C., Waldo J., Wollrath A., Wyant G. (1994). A note on distributed computing. Sun Microsystems, Technical Report TR-94-29.

11. Leach P., Mealling M., Salz R. Universally Unique Identifier (UUID) URN Namespace. July 2005, Available at: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4122.txt>.

12. Disk Pool Manager (DPM). POOL – Persistency Framework. Pool Of persistent Objects for LHC. Available at: <http://lcgapp.cern.ch/project/persist>.
13. Patrick Fuhrmann. Cache, the Overview. Available at: <http://www.dcache.org/manuals/dcache-white-paper-light.pdf>.
14. CASTOR. Available at: <http://cern.ch/castor>.
15. MDS 2.2 Features in the Globus Toolkit 2.2 Release. Available at: <http://www.globus.org/toolkit/mds/#mdsgt2>.
16. R-GMA: Relational Grid Monitoring Architecture. <http://www.r-gma.org>.
17. LB Service User's Guide. Available at: <https://edms.cern.ch/document/571273>.
18. Farrel S., Housley R. An Internet Attribute Certificate Profile for Authorization, RFC3281 (2002).
19. Frohner A., Ciaschini V. VOMS Credential Format, EDG Draft, 2004.
20. Alfieri R., Cecchini R., Ciaschini V., dell'Angelo L., Gianoli A., Spataro F., Bonnassieux F., Broadfoot P., Lowe G., Cornwall L., Jensen J., Kelsey D., Frohner A., Groep D.L., Som de Cerff W., Steenbakkers M., Venekamp G., Kouril D., McNab A., Mulmo O., Silander M., Hahkala J., Lorentey K. Managing Dynamic User Communities in a Grid of Autonomous Resources, Computing in High Energy and Nuclear Physics, La Jolla, California, 24–28 March 2003.
21. The gridmapdir patch for Globus. Available at: <http://www.gridpp.ac.uk/gridmapdir>.
22. Kovalenko V.N. (2007) *Kompleksnoe programmnoe obespechenie grida vychislitel'nogo tipa, IPM im. Keldysha* [Integrated Software Grid computing type IPM named after Keldysh]. Available at: http://www.keldysh.ru/.../prep2007_10.html.
23. Shpakovsky G.I., Stetsyurenko V.I., Verkhoturov A.E., Serikova N.V. (2008) *Primenenie tekhnologii MPI v Grid, BGU* [The use of MPI technology to the grid, the Belarusian State University]. Minsk.
24. Abramov S.M., Rohan V.A. *Dinamicheskaya spetsializatsiya kak sredstvo optimizatsii raspredelennykh vychisleniy i kak metod sozdaniya adaptivnykh servisov dlya GRID-sistem* [Dynamic specialization as means of optimization of distributed computing and as a method of creating adaptive services for GRID-systems]. Available at: <http://istina.msu.ru/publications/article/212895>.
25. (2011) *Otchet «Sozdanie moduley graficheskogo interfeysa raschetnykh kodov i ikh integratsiya v PTK (RATEG, KORSAR, GU LOGOS–RATEG–NF)» NIR.0-0-22-OT-071, inv. № NIR-T-80, OAO «SPbAEP», 2011g. 8/23677* [The report «Creating modules GUI computer codes and their integration into PTC (RATEG, KORSAR PG-LOGO RATEG–NF)» NIR.0-0-22-RT-071. Inv. no. NIR-T-80, «SPbAEP», 2011. 8/23677]. *FGUP «RFYaTs-VNIIEF»* [FSUE «VNIIEF»], 42 p.
26. (2011) *Otchet «Razrabotka i soglasovanie s RFYaTs-VNIIEF metodiki ob"edineniya kodov LOGOS i KORSAR» Reg. № T-2062, FGUP «NITI im. A.P. Aleksandrova», 2011 g. 8/23575* [The report «Development and coordination with VNIIEF code combining techniques LOGO and Dogs» Reg. Number of T-2062, Federal State Unitary Enterprise «NITI. AP Alexandrov», 2011 8/23575]. *FGUP «RFYaTs-VNIIEF»* [FSUE «VNIIEF»], 18 p.
27. (2011) *Otchet «Modernizatsiya PK TERMIT dlya vypolneniya tekhnicheskikh trebovaniy k PTK «Virtual'nyy energoblok» po sostoyaniyu na 4-y kvartal 2011g.» Reg. № D-9517, FGUP «NITI im. A.P. Aleksandrova», 2011 g. 8/23641* [The report «Modernization of computer terms for the implementation of the technical requirements for PTC «Virtual-cial unit as of the 4th quarter of 2011». Reg. Number D-9517, Federal State Unitary Enterprise «NITI named after A.P. Aleksandrov», 2011 8/23641]. *FGUP «RFYaTs-VNIIEF»* [Federal State Unitary Enterprise «VNIIEF»], 33 p.
28. (2011) *Dorabotka PS RK KORSAR-SAPFIR&RC dlya svyazi s upravlyayushchim kompleksom i intellektual'noy raspredelennoy sredoy obmena dannymi: otchet o NIR; Korotaev V.G.; inv. № 8/22687* [Further development of Kazakhstan substations Corsair-SAPPHIRE&RC to communicate with the control complex distributed environment, and intellectual communication: research report. Korotaev V.G. Inv. no. 8/22687]. *NITI* [THREAD].
29. (2011) *Dorabotka PS RK KORSAR-SAPFIR&RC dlya raboty v sostave PTK i vzaimodeystviya s PSS: otchet o NIR; Korotaev V.G., inv. № T-2048ns* [Further development of Kazakhstan substations Corsair-SAPPHIRE&RC to work in the PTC and the interaction with the PSS: research report. Korotaev V.G. Inv. no. T-2048ns]. *NITI* [THREAD].

30. (2011) *Realizatsiya meropriyatiya «Sozdanie kontseptsii i tekhnologii «Virtual'naya AES s VVER» proekta «Razvitie superkomp'yutrov i grid-tekhnologii» v chasti rabot po razrabotke programmno-tekhnicheskogo kompleksa (PTK) «Virtual'nyy energoblok AES s VVER»». Modernizatsiya programmnoy obolochki integratsii raschetnykh kodov. Tekhnicheskoe zadanie: tekh.zadanie. Obratsov E.P., Kremnev I.S., Sokolov V.G. inv. № 8/22722* [Implementation of the event «Creation of the concept and technology of «Virtual VVER» project «Development of supercomputers and grid technologies» in the part of the work on the development of software and hardware complex (PTK) «Virtual power unit VVER»» Upgrade program cover the integration of computer codes. Terms of Reference: teh.zadanie. Samples EP, silicon IS. Sokolov V.G. Inv. no. 8/22722]. SPbAEP [SPbAEP].

31. (2012) *Otrabotka svyazki kodov LOGOS-RASNAR na prikladnykh zadachakh proekta «virtual'noy korabel'noy YaEU»: otchet o NIR/VNIIEF. Denisova O.V., Krivonos A.S., Tarasova N.V., Yalozo A.V., inv. № 8/23842* [Testing ligament codes LOGOS-RASNAR on the task of the «virtual ship NEI»: research report. VNIIEF Denisova O.V., Krivonos A.S., Tarasova N.V., Yalozo A.V. Inv. no. 8/23842]. Sarov.

32. (2012) *Paket programm LOGOS. Nekotorye algoritmy resheniya sopryazhennykh i svyazannykh zadach aerodinamiki i teploperenosa: otchet o NIR/VNIIEF. Zelenskiy D.K., Glazunov V.A., Zhuchkov R.N., Chistyakova I.N., Puchkova O.L., Yalozo A.V., inv. № 8/24040* [LOGO software package. Some algorithms for solving the conjugate and related problems of aerodynamics and heat transfer: research report. VNIIEF. Zelenskiy D.K., Glazunov V.A., Jukov R.N., Chistyakov I.N., Puchkov O., Yalozo A.V. Inv. no. 8/24040]. Sarov.

33. (2008) *Sozdanie svyazi programmnykh kompleksov KORAT-3D i RATEG na osnove tekhnologii PSS: otchet o NIR/VNIIEF. Voronova O.A., Danilov Yu.F., Deulin A.A., Evdokimov V.V., Kul'nev D.V., Lobanov P.S., Samigulin M.S., Shemyakina T.V., inv. № 8/20910* [Creating a software systems KORAT-3D and RATEG technology-based PSS: research report. VNIIEF. Voronova O.A., Danilov Yu, Deulin A.A., Evdokimov V.V., Kulnev D.V., Lobanov P.S., Samigulina M.S., Shemyakin T.V. Inv. no. 8/20910]. Sarov.

34. (2008) *Razvitie metodiki KARAT v ramkakh programmnoy kompleksa REAKTOR: otchet o NIR/VNIIEF. Deulin A.A., Maksimov A.S., Oskolkova O.O., Shemyakina T.V., inv. № 8/20911* [Development of a technique within the CARAT software package REACTOR: research report. VNIIEF. Deulin A.A., Maksimov A.S., Oskolkova O.O., Shemyakin T.V. Inv. no. 8/20911]. Sarov.

35. (2009) *Razrabotka tekhnologii svyazi kompleksov LOGOS-2 i RASNAR neyavnym metodom: otchet o NIR/VNIIEF. Kozelkov A.S., Tarasova N.V., Lashkin S.V., Yalozo A.V., Deulin A.A., Lobanov P.S.; inv. № 8/21592* [The development of communication technology systems LOGOS-2 and RASNAR implicit method: research report. VNIIEF. Kozelkov A.S., Tarasova N.V., Lashkin S.V., Yalozo A.V., Deulin A.A., Lobanov P.S. Inv. no. 8/21592]. Sarov.

36. (2009) *Sistema integratsii programmnykh paketov PSS versiya 1.2: opisanie novykh printsipov obmena dannyimi, rasshirenie vozmozhnostey sistemy konvertirovaniya: otchet o NIR/VNIIEF. Kul'nev D.V., Deulin A.A., Shemyakina T.V., Lobanov P.S., Modyanov R.V., inv. № 8/21696* [System integration of software packages PSS vers. 1.2: The description of the new principles of data sharing, empowerment of conversion: research report. VNIIEF. Kulnev D.V., Deulin A.A., Shemyakin T.V., Lobanov P.S., Modyanov R.V. Inv. no. 8/21696]. Sarov.

37. (2011) *Realizatsiya svyazi paketov programm LOGOS i RASNAR (v ramkakh rabot po teme: «Vnedrenie superkomp'yuternykh tekhnologiy v novykh proektakh korabel'nykh reaktornykh ustanovok i razrabotki virtual'noy korabel'noy YaEU»): otchet o NIR/VNIIEF. Denisova O.V., Deulin A.A., Kozelkov A.S., Tarasova N.V., Yalozo A.V., inv. № 8/22972* [The implementation of communication software packages and LOGO RASNAR (within the framework of works on the theme: «Implementation of supercomputer technologies in new projects naval reactor plants and the development of a virtual ship NEI»): research report. VNIIEF. Denisova O.V., Deulin A.A., Kozelkov A.S., Tarasova N.V., Yalozo A.V. Inv. no. 8/22972]. Sarov.

38. (2012) *Tekhnologiya provedeniya raschetov svyazannykh i sopryazhennykh zadach v komplekse LOGOS Versiya 3.1: otchet o NIR/VNIIEF. Spiridonov V.F., Kozelkov A.S., Kul'nev D.V., Tsiberev K.V., Anishchenko A.A., Potekhin A.L., Artamonov M.V., Aleynikov A.Yu., Gordeev A.V., Deulin A.A., Ivanov K.V., Nikitin V.A., Olesnitskaya K.K., Pristash M.M., Rezvova T.V., Kondrakhina A.V., Lobanov P.S., Antipin I.A., Shubina M.A., Lopatkin A.I., Yalozo A.V., inv. № 8/23825* [Technology-related settlement and related tasks in a complex LOGO Version 3.1: research report. VNIIEF. Spiridonov V.F., Kozelkov A.S., Kulnev D.V., Tsiberev K.V., Anisichenko A.A., Potekhin A.L., Artamonov M.V., Aleynikov A.Y., Gordeev A.V., Deulin A.A., Ivanov K.V., Nikitin V.A., Oleñnica K.K., Pristash M.M., Rezvova T.V., Kondrakhina A.V., Lobanov P.S., Antipin I.A., Shubin M.A., Lopatkin A.I., Yalozo A.V., Inv. no. 8/23825]. Sarov.

39. (2012) *Programmnyy kompleks LOGOS dlya kompleksnogo imitatsionnogo modelirovaniya protsessov aero-, gidro-, gazodinamiki i uprugoplasticheskogo deformirovaniya i prochnosti konstruktivnykh sistem s uchetom vzaimnogo vliyaniya etikh protsessov drug na druga, otchet o NIR/VNIIEF*. Spiridonov V.F., Kozelkov A.S., Kul'nev D.V., Tsiberev K.V., Anishchenko A.A., Potekhin A.L., Artamonov M.V., Gordeev A.V., Deulin A.A., Ivanov K.V., Nikitin V.A., Olesnitskaya K.K., Pristash M.M., Rezvova T.V., Lobanov P.S., Antipin I.A., Lopatkin A.I., Yalozo A.V., Sarazov A.V., inv. № 8/24193 [LOGO software package for complex process simulation aero, hydro, gas dynamics and elastic-plastic deformation and strength of structures, taking into account the mutual influence of these processes on each other, research report. VNIIEF. Spiridonov V.F., Kozelkov A.S., Kulnev D.V., Tsiberev K.V., Anishchenko A.A., Potekhin A.L., Artamonov M.V., Gordeev A.V., Deulin A.A., Ivanov K.V., Nikitin V.A., Oleynik K.K., Pristash M.M., Rezvova T.V., Lobanov P.S., Antipin I.A., Lopatkin A.I., Yalozo A.V., Sarazov A.V. Inv. no. 8/24193]. Sarov.

40. *Razvitie superkomp'yuternykh tekhnologiy dlya resheniya aktual'nykh zadach atomnoy otrasli. Zhurnal «Klub 3D. Innovatsionnoe proektirovanie», pyatyy vypusk, 2012 g., Nizhniy Novgorod*. Kostyukov V.E., Solov'ev V.P., Shagaliev R.M., Grebennikov A.N., Deulin A.A., Egorshin S.P., Shamenok I.O. (FGUP «RFYaTs-VNIIEF»), Bezlepkina V.V., Kukhtevich V.O., Obratsov E.P. (OAO «SPbAEP»). Bykov M.A., Mokhov V.V. (OAO «OKB GIDROPRESS»), Migrov Yu.A., Chernykh V.P. (FGUP «NITI im. A.P. Aleksandrova») [Development of supercomputer technologies for solving urgent problems of the nuclear industry. Magazine «Club 3D. Innovative design», the fifth issue. 2012, Nizhny Novgorod. Kostyukov V.E., Solovyov V.P., Shagaliev R.M., Grebennikov A.N., Deulin A.A., Egorshin S.P., Shamenok I.O. (FSUE «VNIIEF»). Bezlepkina V.V., Kukhtevich V.O., Obratsov E.P. (JSC «SPbAEP»), Bykov M.A., Mokhov V. (JSC «OKB GIDROPRESS»), Migrov Yu., Chernykh V.P. (FSUE «NITI. AP Aleksandrov»)].

41. *O federal'noy tselevoy programme «Yadernye energotekhnologii novogo pokoleniya na period 2010–2015 godov i na perspektivu do 2020 g.»*, Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 03.02.2010 g. № 50 (red. ot 01.10.2011) [On the Federal Target Program «Nuclear energy technologies of new generation for the period of 2010–2015 and up to 2020», Government Decree of 03.02.2010, № 50 (ed. By 01.10.2011)]. Available at: <http://MnogoZakonov.ru/catalog/date/2010/2/3/72172>.

42. *Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2030 g. Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 13 noyabrya 2009 g. № 1715* [Energy Strategy of Russia for the period up to 2030, by the Federal Government on November 13, 2009 № 1715]. Available at: [http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_\(utv._№1715-p_13.11.09\).doc](http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(utv._№1715-p_13.11.09).doc)

43. *Razvitie grazhdanskoy aviatsionnoy tekhniki Rossii na 2002–2010 gg. i na period do 2015 g. O vnesenii izmeneniy v postanovlenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 15 oktyabrya 2001 g. № 728* [Development of Russian civil aviation for 2002–2010. and for the period up to 2015. On Amending Resolution of the Government of the Russian Federation dated October 15, 2001 № 728]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902289881>.