

На правах рукописи

РАДЧЕНКО Глеб Игоревич



**СЕРВИСНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД  
К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМ  
ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА  
В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДАХ**

05.13.11 - математическое и программное обеспечение  
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва – 2009

Работа выполнена на кафедре системного программирования  
Южно-Уральского государственного университета.

**Научный руководитель:** доктор физико-математических наук, профессор  
СОКОЛИНСКИЙ Леонид Борисович.

**Официальные оппоненты:** член-корр. РАН, доктор технических наук,  
профессор РЯБОВ Геннадий Георгиевич;

доктор физико-математических наук, профессор  
АФАНАСЬЕВ Александр Петрович.

**Ведущая организация:** Санкт-Петербургский  
государственный университет информационных  
технологий, механики и оптики.

Защита состоится 23 октября 2009 года в 16 часов на заседании  
диссертационного совета Д 501.002.09 при Московском государственном  
университете им. М.В. Ломоносова по адресу: 119992, г. Москва, Ленинские  
горы, д. 1, стр. 4, НИВЦ МГУ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке НИВЦ МГУ.

Автореферат разослан 16 сентября 2009 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Суворов В.В.

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** Системы компьютерного проектирования (CAE - Computer Aided Engineering), ориентированные на разработку сложных технологических процессов, конструкций, и материалов, являются сегодня одним из ключевых факторов обеспечения конкурентоспособности любого высокотехнологического производства. Использование таких систем дает возможность проводить *виртуальные* эксперименты, которые в реальности выполнить затруднительно или невозможно. Это позволяет значительно повысить точность анализа вариантов проектных решений и в десятки раз сократить путь от генерации идеи до ее воплощения в реальном промышленном производстве.

Точность результатов компьютерного моделирования во многом зависит от степени детализации сеток, используемых для проведения вычислительных экспериментов. На сегодняшний день, постоянно возрастает вычислительная сложность задач инженерного проектирования, и требуются значительные вычислительные ресурсы для выполнения инженерного моделирования. Решение этой проблемы заключается в использовании многопроцессорных систем.

Процесс решения задач инженерного проектирования с использованием суперкомпьютерных ресурсов для рядового пользователя сопряжен с определенными трудностями. С одной стороны, от него требуется наличие специфических знаний, умений и навыков в области высокопроизводительных вычислений. С другой стороны, для решения задач инженерного проектирования пользователю требуется изучить интерфейс и особенности работы всех программных компонентов, входящих в технологический цикл решения задачи. Все эти факторы затрудняют широкое внедрение систем компьютерного инженерного проектирования в практику НИОКР.

Рациональной альтернативой созданию собственного суперкомпьютерного центра является аренда вычислительных и программных ресурсов в режиме удаленного доступа у центров коллективного пользования, функционирующих при крупных университетах, академических институтах и других организациях. Однако при этом возникает целый комплекс проблем, связанных с обеспечением безопасности вычислительных систем и данных. Указанный комплекс проблем можно решить посредством применения концепции грид вычислений (Grid Computing) и родственной ей концепции облачных вычислений (Cloud Computing) в соответствии с которыми, пользователю предоставляется конечный проблемно-ориентированный сервис, обеспечивающий решение задач на базе ресурсов распределенных вычислительных систем. В соответствии с этим *актуальной* является задача разработки сервисно ориентированных методов использования систем инженерного проектирования и анализа в распределенных вычислительных средах. В настоящее время эффективные комплексные решения в этой области отсутствуют.

**Цель и задачи исследования.** *Цель* данной работы: на основе концепции облачных вычислений разработать методы и алгоритмы, обеспечивающие автоматизированную генерацию проблемно-ориентированных грид-сервисов, позволяющих использовать программные системы для инженерного проектирования и анализа в распределенных вычислительных средах. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие *задачи*:

- 1) разработать модель проблемно-ориентированного сервиса для решения задач инженерного проектирования и анализа в грид в виде *PaВИС* (Распределенного Виртуального Испытательного Стенда);
- 2) разработать архитектуру и принципы структурной организации *PaВИС*;
- 3) разработать методы и алгоритмы автоматизированного построения *PaВИС* и реализовать их в виде *программной системы CAEBeans*, обеспечивающей создание и использование *PaВИС*;
- 4) провести испытания системы *CAEBeans* путем создания и внедрения *PaВИС* на промышленном предприятии.

**Методы исследования.** В исследованиях, проводимых в диссертационной работе, используются методы объектно-ориентированного программирования. Для проектирования систем и алгоритмов применяется аппарат UML.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

- 1) предложен комплексный подход к интеграции ресурсов современных систем инженерного проектирования и анализа в распределенные вычислительные среды, обеспечивающий высокую степень автоматизации разработки и исполнения распределенных виртуальных испытательных стендов на базе концепции облачных вычислений;
- 2) разработана модель проблемно-ориентированного сервиса для решения задач инженерного проектирования и анализа;
- 3) предложена концепция распределенного виртуального испытательного стенда, обеспечивающая прозрачность предоставления конечному пользователю ресурсов инженерных систем на базе распределенных вычислительных сред;
- 4) разработана программная система *CAEBeans* для автоматизированного создания и исполнения распределенных виртуальных испытательных стендов.

**Теоретическая ценность** работы состоит в том, что в ней предложена концептуальная модель распределенного виртуального испытательного стенда, и на ее основе предложен комплекс методов и алгоритмов для представления ресурсов систем инженерного проектирования и анализа в виде грид-сервисов. **Практическая ценность** работы заключается в том, что программный комплекс *CAEBeans*, представленный в данной работе, может быть использован для автоматизированного создания и исполнения распределенных виртуальных испытательных стендов, обеспечивающих решение различных классов задач инженерного моделирования посредством вычислительных ресурсов, предоставляемых вычислительными грид-сетями.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы, разработанные модели, методы, алгоритмы и результаты вычислительных экспериментов докладывались автором на следующих международных и всероссийских научных конференциях:

- на VI Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых (14 - 17 апреля 2009г., Санкт-Петербург);
- на V Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых (15 - 18 апреля 2008 г., Санкт-Петербург);
- на Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии» (30 марта – 3 апреля 2009 г., Нижний Новгород);
- на Международной научной конференции «Параллельные вычислительные технологии» (29 января – 2 февраля 2007 г., Челябинск);
- на Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет: технологии параллельного программирования» (24-29 сентября 2007 г., Новороссийск).

**Публикации.** Основные научные результаты диссертации опубликованы в 10 печатных работах, приведенных в конце автореферата. Работы [1, 2] опубликованы в журналах, включенных ВАК в перечень журналов, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. В работах [2, 7] Л.Б. Соколинскому принадлежит постановка задачи; Г.И. Радченко принадлежат все полученные результаты. В работе [5] Г.И. Радченко принадлежат разделы 1-3 (стр. 194-197). В работе [6] Г.И. Радченко принадлежат разделы 2 и 3 (стр. 439-441).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и библиографии. Объем диссертации составляет 124 страницы, объем библиографии – 125 наименований.

## **Содержание работы**

**Во введении** приводится обоснование актуальности темы, формулируются цели работы, ее новизна и практическая значимость; кратко излагается содержание диссертации.

**Первая глава, «Инженерное проектирование в распределенных вычислительных средах»,** посвящена исследованию технологий создания распределенных вычислительных сред и выполняется анализ их применимости к задачам инженерного проектирования в качестве базовой технологии.

В первой части дается обзор современных технологий распределенных вычислений. До середины 70-х годов прошлого века по причине высокой стоимости телекоммуникационного оборудования и относительно слабой мощности вычислительных систем доминировала централизованная модель вычислений. В конце 70-х годов появление систем разделения времени и удаленных терминалов, явилось предпосылкой возникновения клиент-серверной архитектуры, обеспечивающей предоставление ресурсов мейн-фреймов конечным пользователям посредством удаленного соединения.

Развитие клиент-серверной архитектуры в начале 1990-х годов привело к формированию *объектно-ориентированной концепции* распределенных систем, ориентированной на инкапсуляцию механизма распределенных взаимодействий и уменьшение сложности разработки распределенных приложений посредством методов объектно-ориентированной разработки и удаленных вызовов методов объектов.

Разработанная в конце 1990-х концепция *грид* ориентирована на стандартизованное совместное использование автономных географически-распределенных компьютерных ресурсов в зависимости от их доступности, производительности, цены и иных характеристик, важных для конечного пользователя. Грид-системы ориентированы на формирование виртуального пространства для прозрачного совместного использования распределенных ресурсов в рамках виртуальных организаций. *Виртуальная организация* – это ряд людей и/или организаций, объединенных общими правилами коллективного доступа к определенным вычислительным ресурсам.

В 2000-2005 гг. произошло смещение тренда разработки распределенных приложений на *сервисно ориентированную парадигму*. *Сервисами* называются открытые, самоопределяющиеся программные компоненты, обеспечивающие прозрачную сетевую адресацию и поддерживающие быстрое построение распределенных приложений. В последствие сервисно ориентированный подход был принят разработчиками грид-систем и реализован в виде архитектуры OGSA (Open Grid Service Architecture).

В начале 2000 г., с появлением систем Napster и gnutella, получила развитие концепция *P2P-сетей* (от англ. peer-to-peer – равный-к-равному), обеспечивающая формирование сетей на базе принципов децентрализации. В результате анализа выявлено, что одноранговые сети не ориентированы на безопасное, стандартизованное предоставление вычислительных ресурсов крупных организаций и сообществ.

В 2008 г. сформировалась новая концепция предоставления вычислительных ресурсов, названная *«облачными вычислениями»*. Облаком называется пул виртуальных ресурсов (таких как аппаратное обеспечение, платформы разработки или сервисы), для которых обеспечены легкий доступ и простота использования.

Во второй части первой главы дается описание современного состояния и тенденций в разработке распределенных систем совместного проектирования. Интеграция систем инженерного проектирования в распределенные вычислительные среды посредством сервисно ориентированной концепции, в настоящее время является одним из основных направлений развития отрасли инженерного анализа. В мировом научном сообществе считается перспективным направление, связанное с применением грид-технологий для решения ресурсоемких задач инженерного анализа. В тоже время наблюдается тенденция перехода от разработки специализированных грид-ориентированных систем инженерного проектирования к интеграции существующих классических САЕ-систем в сервисно ориентированные грид-

среды. Дается описание грид-сервисов, обеспечивающих проведение численной оптимизации параметров инженерных систем на базе ресурсов, предоставляемых гетерогенными распределенными вычислительными сетями. Приводится обзор методов внедрения систем инженерного проектирования на базе потоков задач. Далее производится обзор методов внедрения инженерных систем в распределенные вычислительные среды. Приводятся системы, реализованные на базе технологий CORBA, Java RMI, P2P, Грид.

В заключении делается вывод, что на сегодняшний день отсутствуют универсальные системы, обеспечивающие прозрачное внедрение ресурсов систем инженерного проектирования в распределенные вычислительные среды.

**Во второй главе, «Технология CAEBeans»** производится описание технологии CAEBeans, представляющей собой комплекс моделей, методов и алгоритмов, направленных на автоматизированное создание иерархий распределенных проблемно-ориентированных оболочек (Beans) над инженерными (CAE) пакетами на основе сервисно ориентированного подхода и концепции облачных вычислений.

*Задача инженерного моделирования* включает в себя:

- геометрическую модель объекта исследования и (или) вычислительную сетку, разбивающую моделируемую область на дискретные подобласти;
- граничные условия, физические характеристики и параметры взаимодействия отдельных компонентов исследуемой области;
- описание неизвестных величин, значения которых требуется получить в результате решения задачи;
- требования к аппаратным и программным ресурсам, обеспечивающим процесс моделирования.

*Полным дескриптором* задачи назовем множество параметров, однозначно описывающих задачу инженерного моделирования.

*Логическим* планом решения задачи инженерного моделирования назовем ориентированный граф, в вершинах которого могут находиться узлы двух типов:

- *действия*, выполняемые отдельными инженерными пакетами;
- *узлы управления* потоком решения задачи.

Определим *класс задач инженерного моделирования* как множество задач, у которых совпадает структура полного дескриптора задачи и для которых можно описать единый логический план, приводящий к решению.

Внедрение ресурсов CAE-пакетов в распределенные вычислительные среды основывается на концепции распределенного виртуального испытательного стенда. *Распределенный виртуальный испытательный стенд (PaВИС)* – это программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий проведение работ инженерного моделирования в распределенной вычислительной среде в рамках определенного класса задач.

РаВИС включает в себя:

- *интерфейс*, обеспечивающий постановку определенного класса задач инженерного моделирования;
- *драйвер*: набор программных средств, обеспечивающих использование сервисов распределенной вычислительной среды для проведения виртуального эксперимента;
- *сервисы распределенной вычислительной среды*: множество вычислительных систем, входящих в распределенную вычислительную среду, в совокупности с установленными на них программными компонентами, обеспечивающими решение задач инженерного моделирования и поддерживающими безопасные стандартизованные методы удаленного взаимодействия.

Процессы разработки и функционирования РаВИС определяются технологией CAEBeans. *Технология CAEBeans* – это совокупность теории и практической техники, на которые опирается процесс создания и использования распределенных виртуальных испытательных стендов. Технология CAEBeans включает в себя:

- 1) концептуальные средства, которые определяют методы разработки и структуру РаВИС;
- 2) организационные средства, которые определяют форму труда и распределение обязанностей в команде разработчиков и пользователей РаВИС;
- 3) программные средства разработки и среду исполнения РаВИС.

Оболочка CAEBean – это основная структурная единица, формирующая РаВИС. В соответствии с технологией CAEBeans выделяются четыре слоя структуры РаВИС, каждый из которых представляется своим типом оболочек CAEBeans (см. рис. 1):

- 1) концептуальный слой (проблемный CAEBean);
- 2) логический слой (поточный CAEBean);
- 3) физический слой (компонентный CAEBean);
- 4) системный слой (системный CAEBean).

Концептуальный слой РаВИС формируется на основе оболочек CAEBeans, которые мы будем называть *проблемными*. Пользовательский интерфейс, предоставляемый проблемным CAEBean, является основным средством взаимодействия пользователя с системой CAEBeans. Посредством проблемного CAEBean, ориентированного на решение конкретного класса задач инженерного моделирования, пользователь может произвести постановку задачи; проследить за ходом решения поставленной задачи; получить результаты решения. Технология CAEBeans предусматривает возможность формирования *дерева проблемных CAEBeans*. Она позволяет адаптировать проблемно-ориентированный интерфейс конкретного класса задач инженерного моделирования под нужды определенной категории пользователей. Дочерние проблемные оболочки могут конкретизировать класс задач, решаемых родительской оболочкой, путем выделения и инкапсуляции групп проблемных параметров, значения которых определяются на данном уровне абстракции.



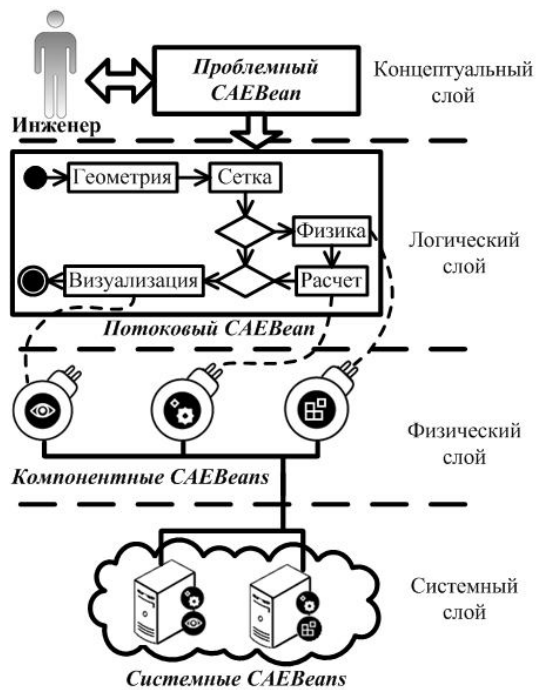


Рис. 1. Обобщенная схема слоев PaVIS.

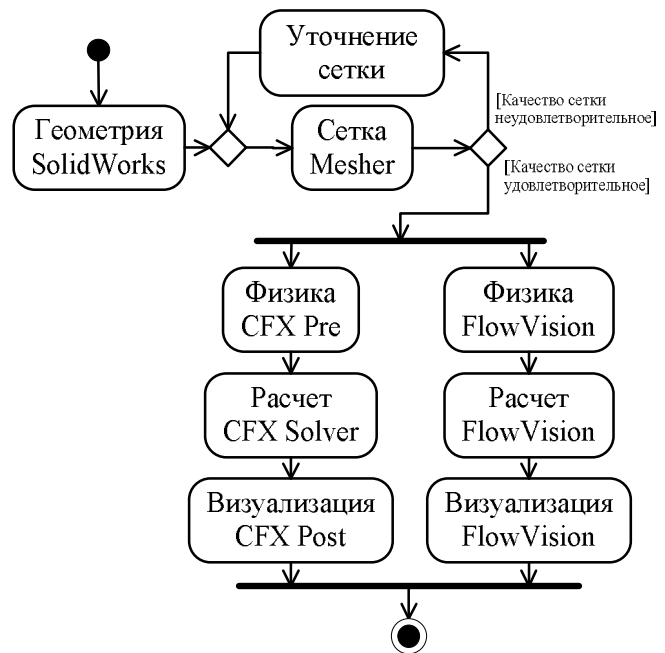


Рис. 2. Пример логического плана решения задачи инженерного моделирования.

Логический слой PaVIS представлен *потоковым CAEBean*, реализующим логический план решения определенного класса задач компьютерного моделирования (см рис. 2). Для формирования логического плана используются элементы нотации *диаграммы деятельности* стандарта UML 2.0. Узел действия логического плана реализует определенное действие инженерного моделирования. При исполнении узла действия, *потоковый CAEBean* обеспечивает взаимодействие с дескриптором задачи: получение значений входных параметров для инициации работы действия и запись значений выходных параметров, вычисленных в результате исполнения действия. Действие реализуется соответствующим *компонентным CAEBean*, находящимся на физическом слое PaVIS.

*Компонентные CAEBeans*, представляющие физический слой PaVIS, отвечают за процесс постановки и решения отдельных действий инженерного моделирования средствами конкретных инженерных пакетов. Основная функция компонентного CAEBean – преобразование проблемно-ориентированного описания действия инженерного моделирования в *компонентно-ориентированную форму*. По окончании процесса решения, компонентный CAEBean обеспечивает преобразование компонентно-ориентированных результатов решения задачи в проблемно-ориентированные. Компонентный CAEBean задает абстрактное действие, которое не может быть реализовано само по себе, так как не обеспечено реальными программными, аппаратными и лицензионными ресурсами. В процессе исполнения, каждому компонентному CAEBean должен быть найден и предоставлен физический ресурс, отвечающий всем требованиям, необходимым для реализации специфицированной в нем деятельности. В рамках сис-

темы CAEBeans, физические ресурсы реализуются посредством системных CAEBeans.

*Системным CAEBean* называется оболочка системного слоя РаВИС, предоставляющая функциональные возможности физического ресурса в распределенной вычислительной среде и обеспечивающая сервисно ориентированный подход к постановке задач и получению результатов. Системный CAEBean обеспечивает изолированное рабочее пространство для исполнения каждого действия инженерного моделирования; предоставляет программный интерфейс для загрузки исходных данных, удаленного запуска действия инженерного моделирования и передачи результатов решения.

Далее приводится краткое описание основных программных средств, обеспечивающих поддержку разработки и исполнения РаВИС. Программные средства CAEBeans можно разбить на два типа: средства исполнения и средства разработки РаВИС. Разработка проблемно-ориентированной части распределенного виртуального испытательного стенда ведется в системе Конструктор. Посредством Конструктора прикладной программист формирует оболочки концептуального, логического и физического слоя РаВИС, отвечающие за решение конкретного класса задач инженерного моделирования.

В соответствии с технологией CAEBeans работа РаВИС осуществляется с помощью следующих четырех программных систем:

- 1) клиент;
- 2) сервер;
- 3) брокер ресурсов;
- 4) набор целевых систем.

*Клиент* предоставляет унифицированный интерфейс конкретного РаВИС. *Сервер* отвечает за хранение и исполнение РаВИС. *Брокер ресурсов* – это автоматизированная система регистрации, анализа и предоставления ресурсов распределенной вычислительной среды. *Целевая система* – это совокупность грид-сервисов, которые имеют доступ к пространству программных, аппаратных и лицензионных ресурсов некоторого узла грид, и поддерживает аутентификацию и авторизацию пользователей.

Далее, приводится описание основных ролей в разработке и использовании РаВИС:

- 1) *инженер* - это пользователь системы CAEBeans, решающий задачу инженерного моделирования на основе созданного для этой цели распределенного виртуального испытательного стенда;
- 2) *прикладной программист* - это специалист в области разработки РаВИС посредством технологии CAEBeans;
- 3) *системный программист* - это специалист в области информационных технологий, отвечающий за формирование распределенной вычислительной среды для исполнения РаВИС;

Далее, приводится анализ параметрических моделей производительности Грид. Принцип работы и функциональность грид приложений значительно отличаются от обычных последовательных и параллельных систем. Основное отличие – это возможность агрегирования и совместного исполь-

зования больших наборов гетерогенных ресурсов, распределенных между географически-разделенными областями.

Предположим, что в грид-среде существует система распределения заданий  $\tau$ , обеспечивающая распределение поставленных задач  $j \in \tau$  на доступные ресурсы. В рамках данной системы, каждое задание может быть разбито на действия  $k \in j$ . Количество заданий в системе  $|\tau|$ ; количество действий в задаче  $|j|$ .

Предположим, что в результате финального распределения  $S$ , каждое действие  $k \in j$  будет исполнено за время  $C_k(S)$ . Таким образом, задача  $j$  может быть решена не раньше, чем за время

$$C_j(S) = \max_{k \in j} C_k(S).$$

В качестве наиболее важной метрики, применительно к особенностям задач, решаемых посредством системы CAEBeans, была выбрана метрика среднего времени ответа (Average Response Time –  $ART$ ).

$$ART = \frac{1}{|\tau|} \sum_{j \in \tau} (C_j(S)).$$

При использовании моделей производительности в грид для базовых вычислительных приложений применительно к проектируемой системе CAEBeans необходимо учитывать нюансы функционирования грид-сервисов данной системы. Поточковый CAEBean, в соответствии с логическим планом решения поставленной задачи, производит последовательную реализацию действий посредством соответствующих компонентных оболочек CAEBeans. Следовательно, обращение к потоковой оболочке инициирует формирование задачи инженерного моделирования, которая разбивается на атомарные действия, соответствующие компонентным CAEBean, участвующим в решении задачи.

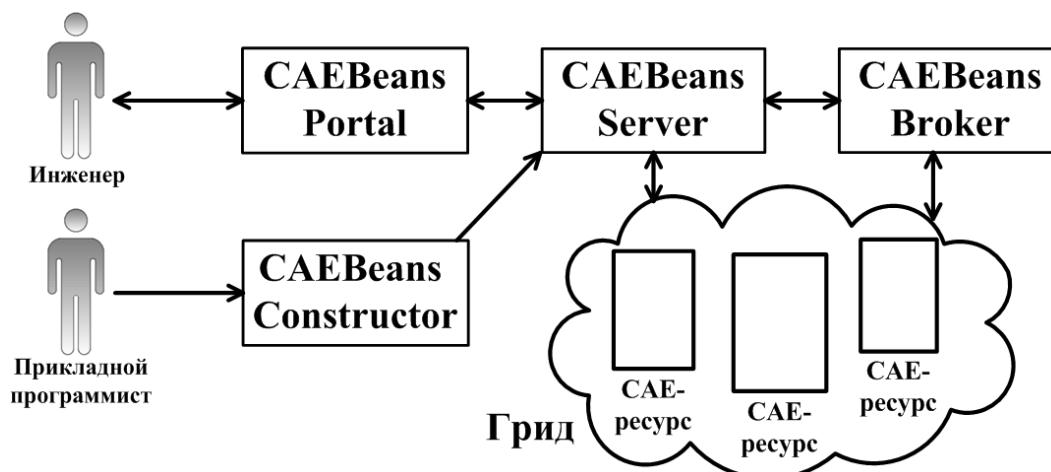
Предположив, что последовательные участки логического плана являются доминирующими при решении задачи инженерного моделирования, показатель  $ART$  можно расписать следующим образом:

$$ART = \frac{1}{|\tau|} \sum_{j \in \tau} (EndTime_j - SubmitTime_j) = \frac{1}{|\tau|} \sum_{j \in \tau} \left( \sum_{k \in j} SolveTime_k \right),$$

где  $SolveTime_k$  – это, суммарные временные затраты на реализацию действия  $k$ .

Для оценки приемлемых величин параметра  $ART$  был произведен анализ текущих задач, решаемых суперкомпьютерным центром ЮУрГУ. В результате, исходя из статистики использования вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра за последние 6 месяцев, были получены значения, по которым можно вычислить составляющие  $SolveTime$  и получить следующую оценку параметра  $ART$ :

$$\begin{aligned} \overline{ART} &= 4 \cdot \left( \bar{t}_{зап} + 2 \cdot \bar{t}_{передачи} + \frac{\bar{t}_{реш}}{100} \right) + 1 \cdot \left( \bar{t}_{зап} + 2 \cdot \bar{t}_{передачи} + \bar{t}_{реш} \right) = \\ &= 4 \cdot (2 + 2 \cdot 2 + 15) + 1 \cdot (2 + 2 \cdot 2 + 150) = 84 + 156 = 240 \text{ (мин)}. \end{aligned}$$



**Рис. 3.** Общая схема взаимодействия компонентов системы CAEBeans

Полученная оценка позволяет определить потенциальные возможности повышения эффективности использования разрабатываемой системы посредством кэширования результатов предыдущих этапов вычислений для их возможного повторного использования на последующих этапах моделирования определенных классов задач и повышения степени параллельности реализуемых действий.

**В третьей главе, «Система CAEBeans»,** рассматривается архитектура программного комплекса обеспечивающего разработку и исполнение распределенных виртуальных испытательных стендов. Рассматривается структура системы CAEBeans, дается описание базовых сущностей, на основе которых производится взаимодействие программных компонентов системы CAEBeans. Раскрываются сущности *CAE-проекта*, *CAE-параметра*, *Проблемного CAEBean*, *Потокового CAEBean*, *Компонентного CAEBean*, *CAE-задания*.

Далее, рассматриваются программные компоненты, составляющие систему CAEBeans (см. рис. 2):

1. *CAEBeans Constructor* – интегрированная среда разработки проблемно-ориентированных оболочек для грид;
2. *CAEBeans Portal* – это веб-приложение, обеспечивающее выбор, загрузку, запуск и получение результатов моделирования CAE-задач;
3. *CAEBeans Server* – хранилище и интерпретатор CAE-проектов;
4. *CAEBeans Broker* – автоматизированная система регистрации, анализа и предоставления CAE-ресурсов;
5. *CAE-ресурсы* – грид-сервисы, обеспечивающие удаленную постановку и решение задач средствами некоторого инженерного пакета на базе конкретной целевой системы.

*CAEBeans Constructor* – это интегрированная среда разработки РаВИС на основе CAE-проектов. CAEBeans Constructor предоставляет прикладному программисту пользовательский интерфейс для разработки оболочек CAEBeans концептуального, логического и физического слоев. В соответствии с этим, пользовательский интерфейс, обеспечивающий разработку

CAE-проектов в среде CAEBeans Constructor, разделен на 3 секции, обеспечивающих разработку проблемных, логических и физических оболочек CAEBean соответственно.

*CAEBeans Portal* – это веб-приложение, доступное через интернет, обеспечивающее пользовательский интерфейс для постановки и решения задач инженерного моделирования средствами системы CAEBeans. Встроенный генератор веб-форм обеспечивает автоматическую генерацию пользовательского интерфейса для постановки задач инженерного моделирования, на основе описания параметров соответствующего проблемного CAEBean.

*CAEBeans Server* – это грид-сервис, обеспечивающий хранение и интерпретацию CAE-проектов. Процесс исполнения логического плана поддерживается посредством *монитора логического плана*. Он постоянно производит проверку состояния всех узлов логического плана. Готовность узла к исполнению зависит от наличия маркеров управления в потоках управления, входящих в узел. В зависимости от типа узлов, может требоваться наличие одного или нескольких маркеров управления на входных потоках управления. Алгоритм работы монитора логического плана приведен на рисунке 4.

```
// пока происходит исполнение логического плана
while (running) {
    // цикл по всем узлам логического плана
    foreach (AbstractWorkflowNode node in workflow) {
        if node.ready() { //Если узел готов к исполнению
            node.reset(); //Сброс информации о поступивших
                           //маркерах управления
            new Thread(node).start(); //Исполнение узла
        } //if //в отдельном потоке
    } //foreach
} //while
```

Рис. 4. Алгоритм работы монитора потокового CAEBean.

*CAE-ресурсом* является экземпляр системного CAEBean, предоставляющий ресурсы некоторого инженерного пакета на базе конкретной целевой системы. CAE-ресурс обеспечивает:

- получение данных для решения задачи средствами базового инженерного пакета из CAEBeans Server или внешнего источника данных;
- запуск и автоматизированное решение задачи инженерного моделирования;
- передачу результатов решения CAEBeans Server или во внешнее хранилище данных.

*CAEBeans Broker* обеспечивает автоматизированную регистрацию, поиск и выделение CAE-ресурсов для реализации действий инженерного проектирования. CAEBeans Broker обеспечивает распределение действий инженерного моделирования по виртуальным CAE-ресурсам. Структура очередей брокера ресурсов представлена на рис. 5.

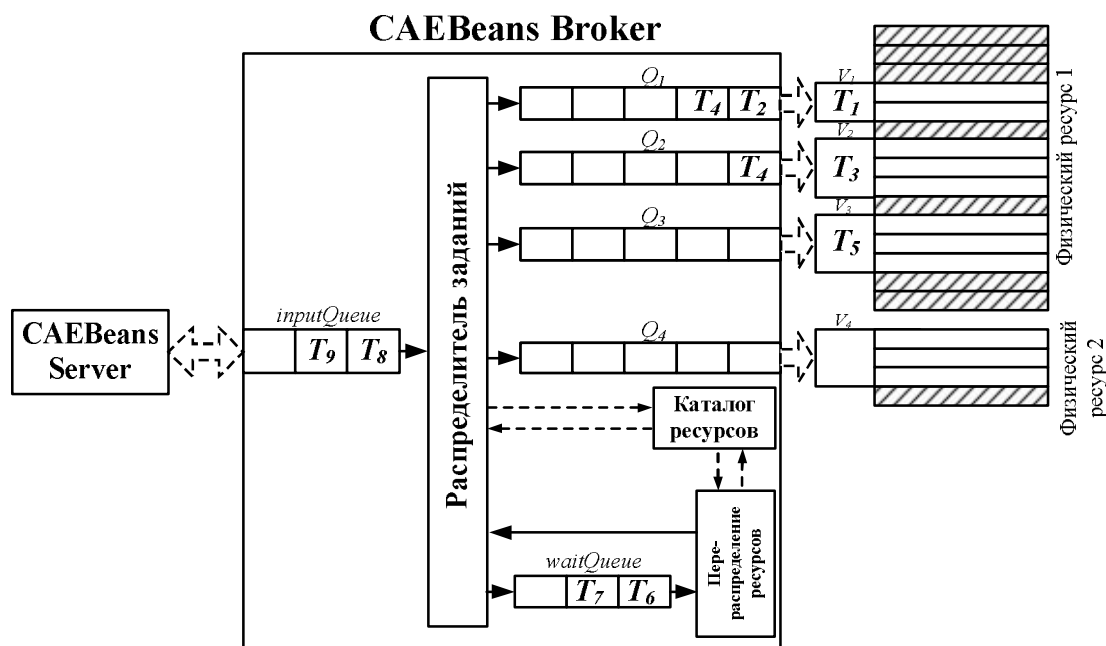


Рис. 5. Структура очередей CAEBeans Broker.

В заключение третьей главы подробно описаны алгоритмы и методы взаимодействия компонентов системы CAEBeans в процессе постановки и решения задач инженерного моделирования.

В четвертой главе, «Испытания системы CAEBeans», приводится описание испытательных задач, на основе которых производились исследования возможности применения системы CAEBeans для решения реальных задач инженерного моделирования на базе различных инженерных пакетов. Для проверки возможностей, предоставляемых системой CAEBeans в области создания и исполнения виртуальных испытательных стендов, был разработан набор РаВИС, обеспечивающих решение различных задач инженерного моделирования средствами различных CAE-пакетов. Были произведены исследования методов взаимодействия с современными инженерными пакетами, и проанализированы API, предоставляющие методы автоматизированного решения задач инженерного моделирования. Для испытания системы CAEBeans были разработаны оболочки для решения задач средствами наиболее распространенных пакетов инженерного моделирования: ANSYS CFX, ANSYS Mechanical, ABAQUS, DEFORM.

В качестве основной испытательной задачи выбрана задача моделирования процесса закалки и охлаждения труб и анализа влияния различных аспектов процесса закалки на качество производимой продукции («Распределенный виртуальный испытательный стенд «Термообработка»), решаемая по заказу ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

В заключении суммируются основные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, приводятся данные о публикациях и апробациях автора по теме диссертации, и рассматриваются направления дальнейших исследований в данной области.

## Основные результаты диссертационной работы

На защиту выносятся следующие новые научные результаты.

1. Разработана модель проблемно-ориентированного сервиса для решения задач инженерного проектирования и анализа в распределенных вычислительных средах.
2. Разработаны архитектура и принципы структурной организации распределенного виртуального испытательного стенда (PaBИС), предоставляющего сервис для решения задач инженерного анализа на основе грид-технологий.
3. Разработан комплекс методов и алгоритмов, позволяющих автоматизировать процесс построения специализированных PaBИС для решения прикладных задач с использованием различных САЕ-пакетов.
4. Разработан прототип программной системы CAEBeans, включающий в себя средства автоматического создания и исполнения PaBИС. Произведены испытания системы CAEBeans путем создания PaBИС на базе инженерных пакетов ANSYS CFX, ANSYS Mechanical, ABAQUS, DEFORM. Распределенный виртуальный испытательный стенд «Термообработка», внедрен в опытную эксплуатацию на предприятии ОАО «Челябинский трубопрокатный завод».

## Публикации по теме диссертации

*Статьи, опубликованные в научных журналах из списка ВАК*

1. Радченко Г.И. Технология построения проблемно-ориентированных иерархических оболочек над инженерными пакетами в грид-средах // Системы управления и информационные технологии. № 4(34). 2008. С. 57-61.
2. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б. Технология построения виртуальных испытательных стендов в распределенных вычислительных средах // Науч.-техн. вест. СПбГУ ИТМО. № 54. 2008. С. 134-139.

*Другие публикации*

3. Радченко Г.И. Методы организации грид-оболочек системного слоя в технологии CAEBeans // Вестник ЮУрГУ. Серия "Математическое моделирование и программирование" № 15 (115). Вып. 1. 2008. С. 69-78.
4. Радченко Г.И. Грид-система CAEBeans: интеграция ресурсов инженерных пакетов в распределенные вычислительные среды // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2009): Тр. междунар. науч. конф. (Н.Н., 30 марта – 3 апреля 2009 г.). Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. С. 281-292.

5. Радченко Г.И., Дорохов В.А., Насибулина Р.С., Соколинский Л.Б., Шамакина А.В. Технология создания виртуальных испытательных стендов в грид-средах // Вторая Международная научная конференция "Суперкомпьютерные системы и их применение" (SSA'2008): доклады конференции (27-29 октября 2008 года, Минск) Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2008. С. 194-198.
6. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б., Шамакина А.В. Разработка компонентно-ориентированных CAEBeans-оболочек для пакета ANSYS CFX // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ'2008): Труды международной научной конференции (28 января - 1 февраля 2008 г., г. Санкт-Петербург). Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. С. 438-443.
7. Радченко Г.И., Соколинский Л.Б. CAEBeans: иерархические системы структурированных проблемно-ориентированных оболочек над инженерными пакетами // Научный сервис в сети Интернет: многоядерный компьютерный мир. 15 лет РФФИ: Тр. Всеросс. науч. конф. (24-29 сентября 2007 г., г. Новороссийск). М.: Изд-во МГУ. 2007. С. 54-57.

*Свидетельства о регистрации программ*

8. Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008612879. «CAEBeans Toolbox: программная среда для разработки проблемно-ориентированных оболочек для грид» / Юрков В.В., Дорохов В.А., Радченко Г.И., Насибулина Р.С., Шамакина А.В.; Заяв. 03.10.2008.
9. Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008614998. «CAEBeans Sphere: программное средство для поддержки распределенных вычислительных сред на базе платформы Microsoft.NET» / Юрков В.В., Дорохов В.А., Радченко Г.И., Насибулина Р.С., Шамакина А.В.; Заяв. 03.10.2008.
10. Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008612879. «Пакет проблемно-ориентированных оболочек CAEBeans для решения типовых инженерных задач» / Радченко Г.И., Насибулина Р.С., Шамакина А.В., Юрков В.В., Федянин О.Н., Дорохов В.А.; Заяв. 04.05.2008.

Подписано в печать 14.09.2009  
 Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.  
 Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,2.  
 Тираж 100 экз. Заказ № 01085.

Типография ООО «Фотохудожник»  
 454111, г. Челябинск, ул. Свободы, 155/1