

## Отзыв

официального оппонента на диссертацию Феокистова Александра Геннадьевича «Организация предметно-ориентированных распределенных вычислений в гетерогенной среде на основе мультиагентного управления заданиями», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

### Актуальность темы диссертации

Диссертация посвящена решению актуальной научной проблемы, состоящей в интеллектуализации процесса управления предметно-ориентированными распределенными вычислениями в гетерогенной среде.

Организация вычислений в таких средах требует учета различных критериев эффективности решения задач, предпочтений пользователей и владельцев ресурсов. Роль промежуточного звена между пользователями и множеством систем управления заданиями на удаленных вычислительных узлах, как правило, выполняет метапланировщик. Здесь можно упомянуть ряд известных проектов: PanDA (<https://panda.gsi.de/>), DIRAC (<http://diracgrid.org/>), Ganga (<https://ganga.web.cern.ch/ganga/>), GridWay (<http://www.gridway.org/>), HTCondor-G (<https://research.cs.wisc.edu/htcondor/>). К настоящему времени известны многочисленные системы управления потоками работ в грид и облачных вычислениях: ASKALON, Kepler, Triana, Pegasus, DAGMan и ряд других.

Предпочтения пользователей и провайдеров ресурсов, внутренние политики администрирования, наличие локальных заданий обуславливают специфические требования к эффективному планированию с различными, часто противоречивыми критериями. Между предпочтениями отдельных пользователей и предпочтениями владельцев ресурсов могут возникать конфликты. Так, пользователи чаще всего заинтересованы в наискорейшем выполнении собственных заданий при минимальных затратах. В то же время политика администрирования ресурсов может быть направлена на балансировку нагрузки доступных ресурсов или на максимизацию доходов владельцев ресурсов, что противоречит предпочтениям пользователей.

В ряде исследований предпочтения участников вычислений обычно учитываются лишь частично: либо собственники ресурсов конкурируют за выполнение заданий, оптимизируя значения пользовательских критериев, либо главная цель состоит в эффективном использовании ресурсов и при этом предпочтения пользователей не принимаются во внимание.

В ряде работ используются мультиагентные экономические модели. Однако в известных работах не удается оптимизировать выполнение всего потока заданий.

Обеспечение требуемого уровня качества обслуживания в гетерогенной среде должно основываться на комплексном решении целого ряда проблем:

- гибком администрировании обслуживания заданий;
- учете специфики предметных областей заданий пользователей;
- планировании вычислений и распределении ресурсов в условиях наличия факторов неопределенности, например неточности пользовательских оценок времени выполнения заданий;

- обеспечении масштабируемости вычислений в разнородной среде.

Решение этих проблем с помощью широко используемых сегодня вышеперечисленных систем управления неосуществимо в полной мере, так как они изначально создавались для других целей.

В данной работе предлагается комплексный подход, основанный на использовании мультиагентных технологий управления заданиями и привлечении дополнительных знаний в процессе планирования вычислений и распределения ресурсов среды. Диссертация посвящена разработке совокупности моделей, методов, алгоритмов и инструментальных средств, интегрированных в рамках единой технологии предметно-ориентированных распределенных вычислений в гетерогенной среде.

Такой подход к организации распределенных вычислений направлен на согласование критериев эффективности решения предметно-ориентированных задач и предпочтений владельцев ресурсов с целью улучшения показателей качества обслуживания по сравнению с известными метапланировщиками, такими как GridWay и Condor DAGMan.

Исследование базируется на глубоком обзоре и последующем анализе опыта ведущих российских и зарубежных специалистов, имеющих отношение к решаемой проблеме.

Упомянутые выше аспекты позволяют сделать вывод об актуальности диссертации.

## **Структура работы**

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка используемых сокращений, библиографии и одиннадцати приложений.

**В первой главе** выполнен анализ подходов к построению моделей обработки заданий в распределенных вычислительных средах, наиболее близкими из которых являются методы и средства описания моделей выполнения пакетов прикладных программ и систем управления научными приложениями.

Определены ключевые особенности предметно-ориентированной вычислительной среды, оказывающие существенное влияние на процесс управления потоками заданий в такой среде.

На основе проведенного анализа предложена агрегированная модель для представления знаний о предметно-ориентированной вычислительной среде, являющаяся базовой основой для построения и интеграции совокупности моделей управления заданиями в гетерогенной среде.

**Вторая глава** диссертации посвящена формализации используемой вычислительной модели как фрагмента агрегированной модели среды.

Предложенная вычислительная модель используется для формулировки постановок задач, построения схем их решения, определения критериев качества выполнения вычислительных процессов и поддержки механизмов распределения ресурсов среды.

Для данной вычислительной модели сформулирована постановка задачи управления вычислениями в гетерогенной распределенной вычислительной среде, которая обеспечивает учет предпочтений владельцев ресурсов и их пользователей, а также существующих административных политик в узлах среды.

В качестве критериев качества выполнения заданий с точки зрения предпочтений владельцев ресурсов и их пользователей выбраны время, надежность, стоимость выполнения заданий, показатели эффективности использования ресурсов.

Для оценки показателей качества выполнения заданий разработаны соответствующие модели и механизмы многокритериального выбора.

В **третьей главе** предложена система классификаций вычислительных заданий.

Выполнен обзор известных подходов к классификации вычислительных задач и заданий. Основной системы классификации является модель концептуализации заданий, включающая специализированные модели и методы представления и использования знаний о заданиях и вычислительных ресурсах.

Разработана методика практического применения этих моделей и методов. Преимущества данной системы классификаций проанализированы с помощью имитационного прототипа классификатора заданий.

Проведены модельные и практические вычислительные эксперименты, продемонстрировавшие достоинства применения предложенных в диссертации модели и системы классификации заданий.

Использование представленных в третьей главе средств классификации заданий в качестве надстройки к системам управления заданиями позволяет существенно снизить неопределенность относительно свойств заданий и улучшить результаты распределения ресурсов.

Мультиагентный подход к управлению заданиями в гетерогенной распределенной вычислительной среде представлен в **четвертой главе**.

Проведен сравнительный анализ известных мультиагентных средств, используемых для управления распределенными вычислениями, сформулирована общая постановка задачи мультиагентного управления заданиями.

Для поддержки мультиагентного управления разработаны соответствующие модели и алгоритмы, а также предложен подход к распределению ресурсов агентами на основе проведения тендера вычислительных работ.

Предложены три модели тендера вычислительных работ, поддерживающие следующие уровни обслуживания на основе мультиагентного управления:

- модель, ориентированная на пользовательские критерии качества решения задачи;
- модель, учитывающая предпочтения владельцев ресурсов;
- модель, поддерживающая согласование пользовательских критериев качества решения задачи с предпочтениями владельцев ресурсов.

Экспериментальные исследования по оценке преимуществ разработанных моделей, алгоритмов и методов мультиагентного управления по сравнению с известными метапланировщиками выполнены на основе полунатурного моделирования процессов обработки потоков типовых научных рабочих процессов (Montage, CyberShake, Epigenomics, LIGO и SIPHT).

**Пятая глава** представляет технологию разработки и применения научных приложений в гетерогенных распределенных вычислительных средах.

Предложен подход к разработке распределенных пакетов прикладных программ для решения крупномасштабных задач в гетерогенных средах, которые могут включать вычислительные системы различного уровня (персональные компьютеры, серверы, кластеры, грид-системы, облачные платформы) и обеспечивать их интегрированное использование.

Предложенная технология, в отличие от известных, обеспечивает гибкость при выборе и настройке необходимой конфигурации вычислительной инфраструктуры в процессе разработки и применения масштабируемых распределенных пакетов прикладных программ, а также возможность подготовки и проведения экспериментов различного масштаба с использованием гибридной модели, интегрирующей модели облачных и грид-вычислений.

Применение результатов исследования при разработке распределенных пакетов прикладных программ представлено в **шестой главе**.

Приводятся научные и прикладные задачи, которые решены на основе распределенных пакетов прикладных программ, разработанных с помощью инструментальных комплексов DISCOMP и Orlando Tools, а также в экспериментальной грид-среде, созданной на базе инструментального комплекса DISCENT.

Рассматриваются пакеты для выявления критических элементов отраслевых систем энергетики и решения задач складской логистики.

В данной главе проведен экспериментальный анализ, который показал масштабируемость вычислений, выполняемых с помощью разработанных пакетов, при росте уровня используемых ресурсов среды. Анализ продемонстрировал сокращение сроков решения задач за счет автоматизации основных этапов подготовки и проведения экспериментов.

**В заключении** приведены краткие выводы по основным результатам диссертации.

Главный результат заключается в разработке моделей, алгоритмов, инструментальных средств и технологии мультиагентного управления предметно-ориентированными распределенными вычислениями в гетерогенных распределенных вычислительных средах.

Работа написана хорошим языком с четкой логикой изложения.

Автореферат полно отражает содержание диссертации, ее структуру, положения и выводы.

**Научная новизна, обоснованность, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных научных положений, выводов и рекомендаций**

**Новизна научных положений и выводов диссертации** определяется тем, что разработан подход к организации предметно-ориентированных распределенных вычислений в гетерогенной среде на основе мультиагентного управления заданиями.

В рамках этого подхода основой мультиагентного управления заданиями являются оригинальные модели и алгоритмы представления знаний о среде и планирования вычислений, а также поддержки экономических механизмов регулирования спроса и предложения ресурсов.

Важную роль в снижении уровня неопределенности в процессе распределения заданий играет предложенная специализированная система классификации заданий.

**Теоретическая значимость** результатов исследования состоит в развитии методологического базиса в рамках теории управления заданиями в параллельных и распределенных системах, который включает модели, методы и алгоритмы предметно-ориентированных распределенных вычислений в гетерогенной среде на основе мультиагентного подхода.

**Практическая значимость полученных научных положений, выводов и рекомендаций** состоит в разработке инструментальных средств и технологических решений, обеспечивающих реализацию и поддержку предложенных теоретических положений.

Применение полученных результатов исследования позволяет обеспечить управление заданиями в предметно-ориентированной гетерогенной среде на основе согласования заданных критериев эффективности решения задач и предпочтений владельцев ресурсов.

Практическая ценность результатов исследования подтверждается результатами вычислительных экспериментов в рамках большого числа проектов Министерства науки и высшего образования РФ, РФФИ и Президиума РАН, а также других ведомств, фондов и организаций. Применение на практике результатов диссертации обеспечивает возможность организации и использования вычислительной среды требуемой конфигурации для решения актуальных научных и прикладных задач.

**Достоверность и обоснованность положений и выводов диссертации** подтверждается соответствием теоретических и экспериментальных результатов, полученных в рамках имитационного и полунатурного моделирования.

Предложенные в рамках данной работы модели, алгоритмы и инструментальные средства успешно применены в решении ряда фундаментальных и прикладных задач.

### **Апробация работы**

Основные результаты по теме диссертации широко представлены на профильных международных, всероссийских и региональных конференциях, а также достаточно полно опубликованы в 76 научных работах.

В их числе 22 публикации в российских журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования научных результатов диссертаций, и 22 научные работы, проиндексированные в международных базах цитирования Web of Science Core Collection и Scopus. Автором получено 19 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

### **Рекомендации по применению**

Полученные в диссертации результаты могут использоваться в деятельности научно-исследовательских и образовательных организаций (ИСП РАН, ФИЦ ИВТ, ИВМиМГ СО РАН, ВЦ ДВО РАН, ИСЭМ СО РАН, ИГУ и др.), а также представляют интерес для широкого круга специалистов в области мультиагентного управления заданиями в гетерогенных средах.

### **Замечания по диссертации**

1. В алгоритме планирования вычислений на основе непроедурной постановки задачи (раздел 2.2) каждый новый модуль включается в параллельно-ярусную схему решения задачи

при выполнении всех необходимых для этого условий и размещается на текущем формируемом ярусе схемы.

Реализация в алгоритме дополнительного перемещения модулей на другие ярусы схемы после ее построения с учетом уровня доступных ресурсов, возможно, позволило бы в некоторых случаях оптимизировать использование ресурсов, когда их число меньше ширины отдельных ярусов схемы.

2. В главе 3 следовало бы особо выделить тот аспект, что оценки времени выполнения программ применяются в системе классификации только для прогнозирования времени прохождения пользовательских заданий в очередях менеджеров ресурсов среды и не используются для коррекции пользовательских характеристик заданий.

3. В диссертации разработаны модели тендера вычислительных работ, базирующиеся на использовании комбинаторного аукциона Викри (глава 4).

При сравнительном анализе аукциона Викри и английского аукциона сделан выбор в пользу первого из аукционов (раздел 4.4).

Следовало более убедительно обосновать, почему в задаче мультиагентного управления предпочтение отдано аукциону Викри. Ведь хорошо известно, что основным недостатком комбинаторных аукционов является их высокая вычислительная сложность.

4. Эксперименты, представленные в четвертой главе с целью сравнительного анализа распределения ресурсов разработанной мультиагентной системой и известными метапланировщиками, выполнены с использованием достаточно ограниченного числа вычислительных ресурсов, в частности, двух пулов ресурсов с 8 и 10 виртуальными машинами (раздел 4.8).

Проведение более масштабного эксперимента позволило бы более адекватно оценить преимущества предложенного мультиагентного управления и степень масштабируемости вычислений.

5. В разделе 5.3, посвященном инструментальным средствам создания и применения распределенных пакетов прикладных программ, рассматривается реализация WPS-сервисов (Web Processing Service). Они представляют собой отдельные модули схемы решения задачи и используются для выполнения ресурсоемких вычислений с помощью разрабатываемых в инструментальном комплексе Orlando Tools пакетов.

Из текста диссертации не ясно, как учитывается время выполнения сервисов при оценке времени реализации схемы решения задачи.

Отмеченные выше недостатки, в целом, не снижают высокого научного уровня и практической значимости работы.

## **Заключение**

Диссертация Феокистова Александра Геннадьевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решение проблемы, имеющей существенное значение для теории и практики управления предметно-ориентированными распределенными вычислениями в гетерогенных вычислительных средах.

Тема, содержание и результаты диссертации в полной мере соответствуют областям исследования паспорта специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей».

Работа выполнена на высоком научно-практическом уровне и свидетельствует о высокой профессиональной квалификации автора в области математического и программного обеспечения распределенных вычислительных систем.

Таким образом, считаю, что представленная диссертационная работа Феокистова Александра Геннадьевича «Организация предметно-ориентированных распределенных вычислений в гетерогенной среде на основе мультиагентного управления заданиями» отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», а ее автор Феокистов Александр Геннадьевич заслуживает присуждения ему искомой ученой степени.

#### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой Вычислительных технологий  
Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Топорков Виктор Васильевич

«18» марта 2022 года



*Вернее*

Директор  
КАБИНЕТА  
НАЧАЛЬНИКА  
УПРАВЛЕНИЯ  
КАДРОВ  
И ПЕРСОНАЛОМ  
Л.И. ПОЛЕВАЯ

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:  
05.13.15 – «Вычислительные машины, комплексы и компьютерные сети»

111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, 14.  
Тел.: +7(495)362-71-45, +7(916) 717-04-42, e-mail: ToporkovVV@mpei.ru