

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Тугова Андрея Владимировича

на тему «Модели и методы распределения информационных и вычислительных ресурсов гетерогенных центров обработки данных», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности

2.3.8 – «Информатика и информационные процессы»

Актуальность работы

Работа Тугова Андрея Владимировича посвящена решению актуальной задачи повышения эффективности функционирования центров обработки данных (ЦОД). Актуальность разработки новых моделей и методов распределения информационных и вычислительных ресурсов в ЦОД обусловлена комплексом взаимосвязанных технологических и экономических вызовов современной цифровой эпохи. Стремительный рост объемов данных, вызванный распространением технологий искусственного интеллекта, интернета вещей, облачных сервисов и больших данных, предъявляет беспрецедентные требования к производительности и гибкости ЦОД. При этом инфраструктура ЦОД принципиально усложнилась, став гетерогенной: в ней одновременно используется оборудование с классическими процессорными модулями (Central Processing Unit, CPU), графическими ускорителями (Graphics Processing Unit, GPU) и разнотипные системы хранения. Традиционные подходы к распределению ресурсов, создававшиеся для однородных сред, оказываются неэффективными в таких условиях, приводя к неоптимальной загрузке дорогостоящего оборудования, дисбалансам нагрузки и потерям энергии. Таким образом, разработка научных методов для эффективного управления ресурсами в гетерогенных ЦОД представляет собой значимую задачу. Ее решение позволит снизить эксплуатационные затраты и повысить общую эффективность ЦОД, что имеет важное практическое значение для ИТ-отрасли. Диссертация Тугова А.В. непосредственно нацелена на достижение этой цели.

Структура диссертации

Работа включает введение, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Общий объем диссертации составляет 212 страниц, содержащих 25 таблиц и 67 рисунков.

Во введении представлено обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы научная новизна и практическая значимость исследования, описана апробация полученных результатов, а также изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ проблемы повышения эффективности функционирования ЦОД, связанной с распределением информационных и вычислительных ресурсов. Проведен анализ современных подходов к повышению эффективности управления ресурсами в ЦОД, а также оценена степень их научной и практической разработанности.

Во второй главе диссертации представлена разработанная математическая модель для первоначального размещения виртуальных машин в условиях гетерогенного центра обработки данных. В рамках этой главы дана постановка задачи многокритериальной оптимизации, целью которой является нахождение наилучшего распределения виртуальных машин по физическим серверам. Для решения данной задачи был адаптирован и применен муравьиный алгоритм. Подобраны оптимальные параметры алгоритма, позволяющие достичь сбалансированных результатов по ключевым показателям: энергопотреблению, использованию ресурсов и соблюдению соглашений об уровне сервиса.

В третьей главе диссертации исследуется комплексная задача динамического распределения ресурсов в облачном ЦОД, включающая этапы мониторинга, прогнозирования загрузки серверов, выбора виртуальных машин для миграции и их последующего размещения. В целях повышения точности прогнозирования перегрузки и недогрузки серверов автором предложено применять метод группового учета аргументов (МГУА), при этом для предварительной обработки данных используется сглаживание методом скользящего окна. Для обоснования выбора алгоритмов и оценки их эффективности проведено имитационное моделирование, позволившее определить рациональные параметры, такие как размер обучающей выборки и окна сглаживания. В рамках главы также введен коэффициент устойчивости миграции, который устанавливает взаимосвязь между продолжительностью процесса миграции и размером окна наблюдения. Кроме того, разработан метод расчета длительности миграции и простоя виртуальных машин, основанный на анализе функции плотности вероятности. Полученные результаты способствуют повышению точности прогнозирования временных параметров миграции и позволяют минимизировать риски нарушения соглашений об уровне сервиса.

В четвертой главе диссертации сформулирована задача двухкритериальной оптимизации, направленная на поиск наилучшего размещения виртуальных машин, отобранных для миграции. Эта задача представляет собой комбинаторную проблему с бинарными переменными. Для ее решения предложен метод, основанный на сведении исходной постановки к классической закрытой транспортной задаче. Для оценки разработанного метода была проведена серия экспериментов, включающая три основных направления: сравнение производительности с известными эвристическими

алгоритмами (Best Fit Decreasing, BFD и First Fit Decreasing, FFD), анализ масштабируемости метода и имитационное моделирование его работы в условиях крупномасштабного ЦОД.

В пятой главе изложены прикладные аспекты реализации разработанных в диссертации моделей и методов в рамках распределенного планировщика ресурсов ЦОД. Представлена двухуровневая архитектура системы управления, включающая локальные контроллеры на уровне отдельных хостов и глобальный контроллер для координации на уровне всего кластера. В рамках данной архитектуры разработаны и описаны алгоритмы для ключевых операций управления: обнаружения состояний недогрузки и перегрузки физических серверов, а также выбора виртуальных машин для миграции и их оптимального размещения с учетом минимизации как времени самой миграции, так и сопутствующих накладных расходов. Особое внимание уделено практической интеграции предложенных решений. Разработаны рекомендации по внедрению алгоритмов в программную среду открытой облачной платформы OpenStack.

В приложениях содержатся объемные рисунки, свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, а также акты о внедрении результатов работы.

Научная новизна

В диссертационном исследовании разработаны модели и методы, направленные на повышение эффективности программно-аппаратного комплекса распределенного планировщика в условиях гетерогенного центра обработки данных. К основным научным результатам, составляющим вклад автора, относятся:

1. Модель и метод первоначального или статического размещения виртуальных машин в гетерогенной инфраструктуре ЦОД.
2. Модель и алгоритм для рационального динамического перераспределения виртуальных машин с учетом изменяющейся нагрузки.
3. Новый критерий для определения рациональной длительности окна наблюдения за состоянием серверов, основанный на оценке длительности процесса «живой» миграции.

Практическая значимость

Подтверждается разработанным комплексом прикладных решений. В него входят конкретные алгоритмы, архитектурные решения, практические рекомендации и программные модули, предназначенные для интеграции в программно-аппаратный комплекс распределенного планировщика. Реализация этих результатов позволяет непосредственно повысить эффективность управления информационными и вычислительными ресурсами в реальных гетерогенных ЦОД.

Замечания к работе

В работе следует отметить следующие недостатки:

1. Разработанные модели для первоначального и динамического размещения опираются на ряд допущений о характере рабочей нагрузки, однородности сетевой среды или статичности конфигурации виртуальных машин, что не всегда может соответствовать реальной динамике и разнообразию коммерческих ЦОД.
2. Основные результаты получены путем имитационного моделирования, однако эффективность алгоритмов в реальной промышленной среде с «шумными» данными, непредсказуемыми сбоями и человеческим фактором может отличаться. Необходимо обсуждение условий, при которых результаты остаются репрезентативными.
3. Введенный комбинированный критерий (энергопотребление + нарушения SLA-соглашений) требует обоснования весовых коэффициентов. Их выбор может быть субъективным и влиять на итоговое сравнение методов.
4. В работе основное внимание уделено размещению и миграции виртуальных машин. Недостаточно рассмотрены такие важные задачи, как управление энергопотреблением на уровне охлаждения, балансировка сетевой нагрузки (Software-Defined Networking, SDN) в рамках той же инфраструктуры.
5. В работе введен коэффициент, связывающий длительность миграции и окно наблюдения, однако может потребоваться более детальный анализ влияния миграции на производительность соседних виртуальных машин (эффект «шумного соседа») и учет типа хранилища данных (NVMe (Non-Volatile Memory Express) / SSD (Solid-State Drive) / HDD (Hard Disk Drive), сетевое / локальное).

Однако указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Тутова А.В. характеризует его как самостоятельного ученого, способного ставить и решать научные задачи. Разработанные методы, модели и алгоритмы позволят повысить эффективность распределения ресурсов в гетерогенных ЦОД, интегрировав полученные в диссертации результаты в облачную платформу. Считаю, что диссертация Тутова Андрея Владимировича «Модели и методы распределения информационных и вычислительных ресурсов гетерогенных центров обработки данных» является законченным научным исследованием, полностью удовлетворяющим всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.8. Информатика и информационные процессы, а ее автор, Тутов Андрей Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

На включение персональных данных, содержащихся в отзыве, в документах, связанных с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку согласна.

Официальный оппонент,
Кочеткова Ирина Андреевна,
д.ф.-м.н., доц., доцент кафедры теории
вероятностей и кибербезопасности РУДН

24 апреля 2026 г.



И.А. Кочеткова

Сведения об оппоненте:

Кочеткова Ирина Андреевна, гражданка Российской Федерации, доктор физико-математических наук по специальности 1.2.3 «Теоретическая информатика, кибернетика» (2025 г.), доцент по специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики» (2015 г.), доцент кафедры теории вероятностей и кибербезопасности ФГАОУ ВО РУДН

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
+7 (495) 955-07-13, kochetkova-ia@rudn.ru

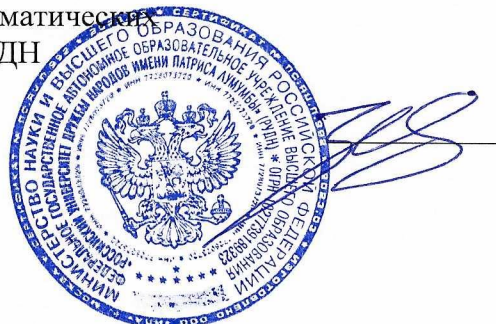
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (РУДН)

Адрес: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
<http://www.rudn.ru/>, +7 (499) 936-87-87, rudn@rudn.ru

Подпись Кочетковой И.А. удостоверяю

Зарядов Иван Сергеевич,
к.ф.-м.н., ученый секретарь Ученого совета
факультета физико-математических
и естественных наук РУДН

24 апреля 2026 г.



И.С. Зарядов