

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 04 июня 2026 г., № 5

О присуждении **Тутову Андрею Владимировичу**, гражданину
Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модели и методы распределения информационных и вычислительных ресурсов гетерогенных центров обработки данных» по специальности 2.3.8. – «Информатика и информационные процессы» принята к защите 23 марта 2026 года (протокол заседания № 3) диссертационным советом 24.1.107.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (117342, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Коньково, ул. Профсоюзная, д. 65, стр.2, приказ Минобрнауки России о выдаче разрешения на создание диссертационного совета № 1179/нк от 12.10.2022 г.).

Соискатель **Тутов Андрей Владимирович**, рожденный 30.07.1975 г., окончил в 1998 г. Московский Государственный Авиационный Технологический Университет им. К.Э. Циолковского по специализации «Научно-техническая экспертиза, сертификация и информационные технологии в машиностроении» и получил квалификацию инженера (специальность «Авиационные двигатели и энергетические установки»). В 2017 году окончил заочную аспирантуру Ордена Трудового Красного Знамени Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ). С 03.03.2025 по 02.09.2025 был прикреплен в качестве соискателя ученой степени кандидата наук к отделу докторантуры и аспирантуры Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (далее ИПУ РАН) для подготовки диссертационной работы по научной специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы». В настоящее время **Тутов А.В.** является руководителем службы информационных технологий в международном холдинге АО «БВТ Барьер Рус» и, по совместительству, работает старшим преподавателем кафедры корпоративных информационных систем МТУСИ.

Диссертация выполнена в лаборатории № 17 «Эргатических систем» ИПУ РАН. **Научный руководитель** - доктор технических наук, старший научный сотрудник **Фархадов Маис Паша оглы**, главный научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией № 17 Эргатических систем» ИПУ РАН.

Официальные оппоненты:

Зыков Сергей Викторович, доктор технических наук, доцент, профессор департамента бизнес-информатики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»;

Кочеткова Ирина Андреевна, доктор физико-математических наук, доцент, доцент Института компьютерных наук и телекоммуникаций (кафедра теории вероятностей и кибербезопасности) Российского Университета Дружбы Народов (РУДН),

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» в своем положительном отзыве, подписанном ведущим научным сотрудником, руководителем отдела 51, Отделения 5 Козловым Сергеем Витальевичем и утвержденным директором, член-корреспондентом РАН **Посыпкиным Михаилом Анатольевичем**, отметила теоретическую значимость диссертации, состоящую из совокупности разработанных критериев, моделей и методов распределения ресурсов гетерогенных облачных ЦОД, и практическую значимость, состоящую из алгоритмов, рекомендаций, архитектуры и программных модулей для интеграции результатов работы в программно-аппаратных комплексах распределенного планировщика информационных и вычислительных ресурсов.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания:

1. В главах 2 и 4 критерии оптимизации (энергопотребление, SLA, неиспользованные ресурсы) сформулированы математически, но не всегда ясно, как они соотносятся с реальными бизнес-метриками (например, стоимость владения ЦОД, штрафы за нарушение SLA). Рекомендуется добавить экономическое обоснование выбора весовых коэффициентов в аддитивной свертке.

2. В работе подчёркивается гетерогенность ЦОД, но не всегда ясно, как именно учитываются специфические ограничения (например, совместимость vGPU разных поколений, ограничения по пропускной способности сети при миграции). Рекомендуется дополнить описание алгоритмов деталями о поддержке гетерогенных конфигураций.

3. В главе 4 приведены данные о времени работы венгерского метода, но не рассмотрены сценарии для очень крупных ЦОД, например, 10 000+ серверов. Стоит обсудить возможности распределённой обработки или аппроксимации для промышленного применения.

4. В работе сравниваются предложенные алгоритмы с классическими эвристиками (FFD, BFD), но отсутствует сравнение с последними разработками, например, алгоритмами на основе глубокого обучения или обучения и подкреплением, которые стали применяться в облачных системах в последнее время. Это поможет позиционировать работу в современном контексте.

Отмечено, что указанные замечания не снижают ценности работы и не оказывают решающего внимания на положительную оценку диссертационной работы Тутова А. В.

В отзывах оппонентов имеются следующие замечания:

В отзыве Зыкова С.В.:

1. Понятие гетерогенности ограничено GPU-ускорителями, тогда как в реальности зачастую охватывает гораздо более широкий спектр архитектурно-инфраструктурных характеристик и сетевых топологий.

2. Не исследованы такие современные методы распределения ресурсов, как глубокое обучение с подкреплением, гибридные эволюционные алгоритмы и др. При этом выбор более простых методов, видимо, обусловлен необходимостью решений, близких к реальному времени и критичных для управления ЦОД.

3. Недостаточно подробно описаны ограничения на ВМ (виртуальные машины), в т.ч. переносимость и распределение по физическим серверам, а также не рассмотрено влияние алгоритмов размещения ВМ на работу системы охлаждения ЦОД.

4. Отсутствует описание личного вклада автора в публикациях, что затрудняет понимание его роли в результатах работы.

В отзыве Кочетковой И.А.:

1. Разработанные модели для первоначального и динамического размещения опираются на ряд допущений о характере рабочей нагрузки, однородности сетевой среды или статичности конфигурации ВМ, 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 (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/SSD/HDD, сетевое/локальное).

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

По теме диссертации опубликовано 30 работ, из них 13 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях Перечня ВАК и 8 работ опубликованы в изданиях, индексируемых в международных базах данных. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Недостовверные сведения об опубликованных соискателям работах отсутствуют.

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий:

1. Тутов А.В. Метод первоначального размещения виртуальных машин с графическим процессором в гетерогенных центрах обработки данных // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2025. Т. 27. № 5. С. 5–16.
2. Тутов А.В., Фархадов М.П. Метод и алгоритм статического размещения виртуальных машин для повышения эффективности функционирования инфокоммуникационной системы центров обработки данных // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2024. Т. 26. № 5. С. 107-119.
3. Тутов А.В., Таратухин А.В., Керимов С.С. Метод оценки характеристик процесса миграции виртуальных машин с учетом типа миграций и приложений // Динамика сложных систем. 2024. Т. 18. № 3. С. 48–59.
4. Тутов А.В., Фархадов М.П., Таратухин А.В., Программно-аппаратный комплекс распределенного планировщика ресурсов инфокоммуникационной системы облачного центра обработки данных // Управление большими системами. Выпуск 109. М.: ИПУ РАН, 2024. С.268-292.

На диссертацию и автореферат поступило шесть отзывов, все отзывы положительные.

1. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, доцента МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующего кафедрой «Информационная безопасность» **Басараб М.А.**, содержит следующие замечания:

- Не указано, как обрабатываются коллизии, например, когда две виртуальные машины одновременно выбираются для миграции на один и тот же целевой сервер, как решается конфликт;
- Не приведены графики сходимости муравьиного алгоритма; указано только число итераций и количество агентов, однако нет графиков изменения целевой функции по итерациям для разных начальных условий;
- Отсутствует оценка дополнительных накладных расходов на мониторинг и прогнозирование, а также непонятно, насколько возрастет нагрузка на глобальный контроллер при масштабировании, например, до 1000 серверов.

2. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, доцента МАИ, заведующего кафедрой 311 «Прикладные программные средства и математические методы» **Вестяк В.А.**, содержит следующие замечания:

- В тексте не приведены явные формулы для расчета времени итерационного копирования при миграции pre-cору, что затруднило бы

воспроизведение метода сторонним исследователем без обращения к полному тексту диссертации;

- При описании имитационного моделирования на CloudSim не указана версия библиотеки моделирования и то, вносились ли изменения в его исходный код для поддержки GPU-ресурсов (поскольку стандартный CloudSim не поддерживает GPU);

- В таблице 2 «Сравнение методов прогнозирования» показано, что метод группового учета аргументов (МГУА) дает число обратных миграций ($4,6 \times 10^3$), равное локальной регрессии, но при меньшем числе общих миграций ($29,04 \times 10^3$ против $27,63 \times 10^3$ у регрессии). Хотелось бы услышать объяснение этого, на первый взгляд, неочевидного соотношения.

3. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой теории вероятностей и математической статистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения «Национальный исследовательский Томский государственный университет» **Моисеевой С.П.**, содержит следующие замечания:

- В автореферате нет пояснений, каким образом учитывается влияние миграции ВМ на производительность других виртуальных машин, размещенных на том же физическом хосте;

- Отсутствует количественное сравнение предложенного метода прогнозирования (МГУА) с альтернативными подходами (например, нейронные сети) с точки зрения точности и вычислительных затрат;

- Считаю, что следовало бы указать ограничения предложенной архитектуры распределенного планировщика (максимальное число узлов, допустимые задержки связи между контроллерами и т.п.).

4. Отзыв на автореферат кандидата физ.-мат. наук, доцента кафедры «Индустриальное программирование» РТУ МИРЭА **Осипова А.В.**, содержит следующие замечания:

- В автореферате не приведено сравнение вычислительной сложности предложенного муравьиного алгоритма с альтернативными методами многокритериальной оптимизации, например, с генетическими алгоритмами. Также в главах 2 и 4 используется аддитивная свертка критериев, но не приведены рекомендации по выбору весов в зависимости от приоритетов оператора ЦОД (например, когда качество обслуживания важнее энергопотребления, и наоборот). Это затрудняет воспроизводимость метода на практике.

5. Отзыв на автореферат доктора технических наук, профессора, профессора РАН, директора СПб ФИЦ РАН **Ронжина А.Л.**, содержит следующие замечания:

- Не рассмотрены проблемы контейнеризации и оркестрации систем управления ресурсами;

- Не рассмотрены специализированные ускорители, такие как тензорные процессоры для сверхмощных вычислений и чипы для граничных

вычислений (Edge AI), применяемые на устройствах с низким энергопотреблением, как смартфоны, умные камеры и сенсоры;

- В работе критерий нарушений соглашений об уровне обслуживания (SLA) ограничен только нагрузкой на процессорные устройства, но вариант услуг PaaS или SaaS требует анализа бизнес-метрик с большим числом показателей;

- На рисунках 1,2 следовало подписать оси ординат;

- В Заключении следовало сформулировать какая решена научная задача или выполнена разработка.

6. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента кафедры информационной безопасности факультета информационных технологий и анализа больших данных, ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» **Рыженко А.А.**, содержит следующие замечания:

- В рекомендациях по использованию алгоритма *муравьиных колоний* было бы желательно пояснить как распараллеливать работу муравьев, чтобы увеличить скорость решения задачи; также привести обоснование выбора метода как наиболее рационального варианта;

- При динамической миграции ВМ и выборе сервера назначения предполагается однородная типовая архитектура оборудования. Предлагается также рассматривать ограничения, связанные с разнотипным оборудованием, отличающегося производительностью и составом компонентов, т.к. со временем устаревающие серверы замещаются более современными и уровень унификации снижается. Для данной унификации с практической точки зрения желательно было бы привести аргументацию о применимости разработанных моделей к большинству существующих систем ЦОД;

- В крупных центрах обработки данных в единицу времени может происходить множество миграций виртуальных машин. Желательно было бы рассмотреть вопрос влияния параллельных миграций, а также затронуть вопросы - существуют ли такие проблемы, какие ограничения присутствуют, какие решения применяет глобальный контроллер в случаях необходимости переноса множества машин. Также хотелось бы понять результативность применения разработанных алгоритмов с точки зрения адаптивности к существующим системам ЦОД.

Во всех отзывах отмечено, что замечания не снижают теоретической и практической значимости полученных результатов и не влияют на положительную оценку диссертационного исследования, а Тутов А.В. заслуживает степени кандидата технических наук по специальности 2.3.8. – «Информатика и информационные процессы».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован профилем их научной деятельности и профессиональных интересов, подтвержденных публикациями в рецензируемых изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **Разработаны критерии и метод** многокритериального первоначального размещения разнородных ВМ на физических серверах с GPU-ускорителями, позволяющие соблюдать баланс между компромиссными критериями.
- **Предложено** применение метода группового учета аргументов для прогнозирования загрузки физических серверов на реальных данных, дающего более точный прогноз по сравнению с распространенными на практике методами.
- **Введен критерий** определения рационального размера окна наблюдения за серверами и **предложен метод** расчета вероятности длительности миграции для применения нового критерия.
- **Разработан метод** многокритериального динамического размещения ВМ, который позволяет найти лучшее размещение по комбинированному критерию энергопотребления и нарушения SLA-соглашений за приемлемое время.
- **Доказана** эффективность разработанных методов и алгоритмов за счет инструментов **имитационного моделирования**.
- **Предложены** практические рекомендации по реализации программно-аппаратного комплекса распределенного планировщика ресурсов и его интеграции с облачной архитектурой OpenStack на базе открытого исходного кода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что разработан комплекс моделей и методов для организации процессов распределения информационных и вычислительных ресурсов в гетерогенных ЦОД.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что совокупность **разработанных моделей и методов** успешно решают задачи управления размещением разнородных виртуальных машин, а также актами о внедрении:

- метод первоначального размещения группы виртуальных машин и алгоритмы динамического распределения, в части методов прогнозирования перегрузки и простоя физических серверов и многокритериального определения узлов назначения внедрены в ПАО «МТС»;
- Результаты диссертационной работы в области метода расчета длительности миграции виртуальных машин, алгоритмы и методы статического подхода при размещении виртуальных машин используются в ПАО «Вымпелком»;
- Модели и методы статического и динамического распределения виртуальных машин опробованы в системе управления ресурсами ООО «АЭР – Технологические решения»;
- Модели и методы распределения информационных и вычислительных ресурсов в полном объеме используются в деятельности АО «БВТ БАРЬЕР РУС»;
- Метод многокритериального динамического размещения виртуальных машин и имитационные модели распределения ресурсов внедрены в учебный процесс кафедры «Бизнес-информатика» МТУСИ.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **теория и подходы**, используемые при разработке моделей и методов, основываются на адекватных постановках задач и согласуются с данными публикаций по тематике исследований. Разработанные критерии, модели и методы, лежащие в основе предлагаемого решения по повышению эффективности распределенного планировщика ресурсов гетерогенных ЦОД, успешно прошли апробацию, что подтверждается соответствующими актами о внедрении и публикацией результатов диссертации в рецензируемых изданиях.

- **научные результаты**, представленные в диссертации, не противоречат общепринятым концепциям и положениям, научные выводы подтверждаются результатами имитационного моделирования и проведенных экспериментальных проверок.

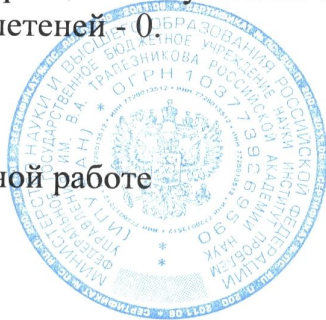
Все **исследования**, представленные в диссертационной работе, проведены **лично соискателем** в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию включен тот материал, который непосредственно принадлежит соискателю.

На заседании 04 июня 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Тутову А.В. ученую степень кандидата технических наук за решение актуальной научно-технической задачи по организации информационных процессов в распределённых ресурсах гетерогенных центров обработки данных.

При проведении тайного голосования по вопросу о присуждении Тутову Андрею Владимировичу ученой степени кандидата технических наук, из 16 человек, входящих в состав совета, присутствовали и голосовали 12 членов диссертационного совета, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации. Результаты голосования: за - 12, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Зам. директора по научной работе

д.т.н.



Краснова С.А.

Председатель диссертационного

совета 24.1.107.03, д.т.н

Вишневский В. М.

Ученый секретарь диссертационного

совета 24.1.107.03, д.т.н.

Барабанова Е. А.

04 июня 2026 г.