

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.120.01,
созданного на базе
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт системного программирования им. В.П. Иванникова
Российской академии наук
Министерства науки и высшего образования РФ
по диссертации на соискание ученой степени доктора наук**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 09 декабря 2021 года № 2021/24

О присуждении Черных Андрею Николаевичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы решения задач оптимизации ресурсов в нестационарных распределенных гетерогенных вычислительных средах» по специальности 2.3.5 – «математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей» принята к защите 09 сентября 2021 года, протокол № 2021/23 диссертационным советом 24.1.120.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук (ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования РФ; адрес: 109004, г. Москва, ул. А. Солженицына, дом 25), создан Приказом Минобрнауки России о советах по защите докторских и кандидатских диссертаций от 2 ноября 2012 г. № 714/нк.

Соискатель Черных Андрей Николаевич, 1953 года рождения.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Параллельные вычисления на ассоциативных сетях и автоматическое распараллеливание программ» защитил в 1986 году в диссертационном совете, созданном на базе Института точной механики и вычислительной техники АН СССР.

Работает ведущим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук» (ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования РФ).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук» (ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования РФ).

Научный консультант – доктор физико-математических наук, Академик РАН, Аветисян Арутюн Ишханович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук», директор.

Официальные оппоненты:

1. Якобовский Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, член-корр. РАН, заместитель директора по научной работе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша Российской академии наук»,
2. Ильин Вячеслав Анатольевич, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
3. Шабанов Борис Михайлович, доктор технических наук, доцент, директор Межведомственного Суперкомпьютерного Центра РАН, заместитель директора по научной работе Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна) в своем положительном заключении, подписанном Кореньковым Владимиром Васильевичем, доктором технических наук, директором Лаборатории информационных технологий им. М.Г. Мещерякова, указала, что диссертационная работа содержит математически обоснованные положения и практические результаты, которые могут быть в целом квалифицированы как решение крупной научной проблемы, направленной на повышение качества разрабатываемого программного обеспечения.

Соискатель имеет более 200 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 64 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 21 работа, включая 12 публикаций в изданиях с квартилем Q1, 1 – с квартилем Q2, 5 – с квартилем Q3, и 2 – с квартилем Q4. В трудах российских и международных конференций опубликованы 42 работы. Получены четыре свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ [65-67] и один патент [64].

Наиболее значимые работы соискателя:

1. Hiraes-Carbajal, A., Tchernykh, A., Yahyapour, R., González-García, J. L., Röblitz, T., & Ramírez-Alcaraz, J. M. Multiple workflow scheduling strategies with user run time estimates on a grid // Journal of Grid Computing. – 2012. – Т. 10. – №. 2. – С. 325-346. (Q1)
2. Kliazovich, D., Pecero, J. E., Tchernykh, A., Bouvry, P., Khan, S. U., & Zomaya, A. Y. CA-DAG: Modeling communication-aware applications for scheduling in cloud computing //Journal of Grid Computing. – 2016. – Т. 14. – №. 1. – С. 23-39. (Q1)
3. Ramírez-Alcaraz, J. M., Tchernykh, A., Yahyapour, R., Schwiegelshohn, U., Quezada-Pina, A., González-García, J. L. Hiraes-Carbajal, A. Job allocation strategies with user run time estimates for online scheduling in hierarchical grids //Journal of Grid Computing. – 2011. – Т. 9. – №. 1. – С. 95-116. (Q1)

4. Ramírez-Velarde, R., Tchernykh, A., Barba-Jimenez, C., Hiraes-Carbajal, A., Nolazco-Flores, J. Adaptive resource allocation with job runtime uncertainty // *Journal of Grid Computing*. – 2017. – T. 15. – №. 4. – C. 415-434. (Q1)
5. Tchernykh, A.; Babenko, M.; Chervyakov, N.; Miranda-Lopez, V.; Avetisyan, A.; Drozdov, A.Y.; Rivera-Rodriguez, R.; Radchenko, G.; Du, Z. Scalable data storage design for nonstationary IoT environment with adaptive security and reliability // *IEEE Internet of Things Journal*. – 2020. – T. 7. – №. 10. – C. 10171-10188. (Q1)
6. Tchernykh, A.; Cortés-Mendoza, J.M.; Bychkov, I.; Feoktistov, A.; Didelot, L.; Bouvry, P.; Radchenko, G.; Borodulin, K. Configurable cost-quality optimization of cloud-based VoIP // *Journal of Parallel and Distributed Computing*. – 2019. – T. 133. – C. 319-336. (Q1)
7. Tchernykh, A.; Lozano, L.; Schwiegelshohn, U.; Bouvry, P.; Pecero, J.E.; Nesmachnow, S.; Drozdov, A.Y. Online Bi-Objective Scheduling for IaaS Clouds Ensuring Quality of Service // *Journal of Grid Computing*. Springer-Verlag, (2016) vol. 14, Issue 1, pp 5–22. doi:10.1007/s10723-015-9340-0. (WoS IF 3.986, Q1; Scimago/Scopus: Q1)
8. Tchernykh, A.; Pecero, J.E.; Barrondo, A.; Schaeffer, E. Adaptive energy efficient scheduling in Peer-to-Peer desktop grids // *Future Generation Computer Systems*. – 2014. – T. 36. – C. 209-220. (Q1)
9. Tchernykh, A.; Schwiegelshohn, U.; On-line hierarchical job scheduling on grids with admissible allocation // *Journal of Scheduling*. – 2010. – T. 13. – № 5. – C. 545-552. (Q1)
10. Tchernykh, A.; Schwiegelshohn, U.; Talbi, E.; Babenko, M. Towards understanding uncertainty in cloud computing with risks of confidentiality, integrity, and availability // *Journal of Computational Science*. – 2019. – T. 36. – C. 100581. (Q1)
11. Quezada-Pina, A., Tchernykh, A., González-García, J. L., Hiraes-Carbajal, A., Ramírez-Alcaraz, J. M., Schwiegelshohn, U., Yahyapour, R., & Miranda-López, V. Adaptive parallel job scheduling with resource admissible allocation

on two-level hierarchical grids //Future Generation Computer Systems. – 2012. – Т. 28. – №. 7. – С. 965-976. (Q1)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью и достижениями в данной отрасли науки, наличием публикаций в сфере исследований, соответствующей теме диссертации, и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Сформулирована проблема планирования в гетерогенной распределенной вычислительной системе в условиях ее нестационарности и предложены подходы к ее решению путем динамической адаптации к изменению системных параметров.
- Показано, что планирование в ГРИД является более сложной задачей, чем соответствующее планирование для многопроцессорной системы
- Доказано, что граница списочного алгоритма 2-1/m Гаррея и Грэхэма (одновременная подача работ), а также Naroska и Schwiegelshohn (построение онлайн расписания), к ГРИД не применима.
- Представлены решения для планирования в ГРИД, расширяющие решения для многопроцессорного планирования. Представлен подход, использующий несколько списков работ для каждой машины.
- Разработан алгоритм планирования работ с фиксированной степенью параллелизма и неизвестным временем обработки, использующий подход «кражи работ» (англ., job stealing), для которого доказан конкурентный фактор 5 для онлайн случая и аппроксимационный фактор 3 для оффлайн случая.
- Предложена и проанализирована адаптивная схема планирования работ с использованием концепции допустимого распределения. Проанализирована двухуровневая модель ГРИД, которая интегрирует распределение

параллельных работ с неопределенными требованиями ко времени выполнения по машинам и составление локальных расписаний.

- Получены 3-х и 9-ти аппроксимационные, а также 5-ти и 11-ти конкурентные факторы для алгоритмов, что улучшает и расширяет известные результаты.
- Представлено подробное исследование влияния коэффициента допустимости, включенного в политику планирования, на общую эффективность работы системы. Показано, как коэффициент допустимости может быть динамически скорректирован для того, чтобы справиться с динамическим изменением рабочей нагрузки, улучшая конкурентный фактор.
- Представлено новое семейство стратегий планирования, основанных на двух фазах, которые сочетают последовательное и параллельное выполнение работ.
- Предложено планирование работ, фокусирующееся на регулировании периодов простоя машин. Обобщены известные предельные границы производительности планирования в наихудшем случае.
- Предложена оригинальная модель облачных вычислений на основе понятия уровня обслуживания. Каждый уровень обслуживания определяется slack-фактором и ценой за единицу времени обработки. Предложен ряд алгоритмов и проведен конкурентный анализ для различных сценариев с одним или несколькими уровнями обслуживания, с одной или несколькими машинами.
- Разработан и исследован облачный VoIP планировщик, который учитывает динамическую рабочую нагрузку, зависящую от числа и типа вызовов, вариативность времени запуска VM, свойства вызовов, и т. д. Задача планирования рассмотрена как частный случай динамической упаковки в контейнеры. Временное существование элементов (вызовов) при упаковке является принципиальной новизной данной проблемы. Экспериментальный анализ на реальных данных компании MiXvoip (телекоммуникационный и Интернет-провайдер, Люксембург) показал, что предложенные алгоритмы

превосходят известные стратегии, обеспечивая высокое качество обслуживания и более низкую стоимость и могут быть эффективно использованы в облачной среде VoIP.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- изучено влияние различных аспектов планирования в распределенных гетерогенных системах в условиях нестационарности;
- получены теоретические оценки границ оптимизации;
- предложены новые алгоритмы с улучшенными по сравнению с известными в литературе аппроксимационными и конкурентными факторами, доказана корректность разработанных алгоритмов;
- для разработанного алгоритма планирования работ с фиксированной степенью параллелизма и неизвестным временем обработки, использующий подход «кражи работ» (англ., job stealing), доказаны теоремы о конкурентном факторе 5 для онлайн случая и аппроксимационном факторе 3 для оффлайн случая.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что на основе предложенных автором алгоритмов и архитектуры распределенной среды разработано и реализовано семейство планировщиков, используемых в рамках ряда научно-технических работ, выполненных в российских и зарубежных научно-исследовательских организациях. Их применение продемонстрировало повышение эффективности планирования параллельных работ в гетерогенных распределенных средах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- в работе корректно применяются классические методы исследования;
- приводятся строгие доказательства;
- проводится анализ эффективности разработанных моделей и алгоритмов на экспериментальных данных;

- полученные результаты исследования подтверждаются численными экспериментами;
- разработанные алгоритмы и полученные теоретические результаты находятся на мировом уровне, будучи сопоставимыми с опубликованными в литературе.

Личный вклад соискателя состоит в личном участии на всех этапах процесса разработки, реализации предложенных алгоритмов и их теоретического анализа. В опубликованных совместных работах постановка и исследование задач осуществлялись совместными усилиями соавторов при непосредственном участии соискателя. Выносимые на защиту результаты получены соискателем лично.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- Отмечается, что в диссертации используется много русскоязычных терминов, которые не являются общеупотребительными, некоторые термины, являющиеся «калькой» англоязычных, затрудняют чтение. Также не все термины и аббревиатуры определены.
- Недостаточно внимания уделено проблем надежности распределенных систем.
- Не уточнены классы приложений и процессов организации работ в распределенной системе, для которых предложенные методы позволяют получить эффективное решение. В частности, в ряде экспериментов по оптимизации распределения ресурсов было бы интересно исследовать обобщение области дискретных значений варьируемых исходных параметров предложенных моделей на некоторую допустимую непрерывную область значений таких параметров.
- В изложенных методах и подходах не рассматриваются вопросы планирования ресурсов хранения данных (дисковые и ленточные,

например), было бы желательно исследовать применимость результатов работы и к системам с такими ресурсами.

- Было бы интересно исследовать вопросы влияния механизмов информационной безопасности на показатели оптимальности использования ресурсов распределенной системы.

Соискатель Черных А.Н. согласился с замечаниями и ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

На заседании 09 декабря 2021 года диссертационный совет принял решение: за решение научной проблемы, имеющей важное научное и практическое значение, присудить Черных А.Н. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор

Петренко А. К.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

Зеленов С. В.

09 декабря 2021 года.