УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
и цифровому развитию
ФГБОУ ВО « СГУ
имени Н.Г. Чернышевского»
д.ф.-м.н., профессор
Алексей Александрович Короновский



«13» октября 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации Лобова Александра Андреевича «Моделирование и анализ отказоустойчивости вычислительных систем с топологией, основанной на гиперкубах» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, выполненной на кафедре теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии.

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ №206-Д от 26.12.2025 г.

Соискатель Лобов Александр Андреевич в 2019 году окончил с отличием ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность» с присвоением квалификации «Специалист по защите информации» (диплом серия 106404 номер 0001939 от 18.02.2019 г.).

С 2019 г. по 2023 г. соискатель обучался в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по группе научных специальностей 1.1 Математика и механика (приказ о зачислении №798-П от 18.09.2019 г.). С 2020 г. по 2023 г. работал ассистентом кафедры теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии, а с 2023 г.

по настоящее время работает в должности старшего преподавателя той же кафедры.

Справка о сданных кандидатских экзаменах № 87-2026 выдана 16 сентября 2026 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Научный руководитель Абросимов Михаил Борисович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии факультета компьютерных наук и информационных технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утверждённый приказом ректора СГУ № 206-Д от 26.12.2025 г., представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашенными специалистами по теме диссертации из других подразделений СГУ.

На заседании кафедры присутствовали: заведующий кафедрой д.ф.-м.н., профессор Абросимов М.Б., д.ф.-м.н., профессор Молчанов В.А., д.ф.-м.н., профессор Андрейченко Д.К., д.ф.-м.н., доцент Богомолов А.С., д.т.н., доцент Вешнева И.В., д.ф.-м.н., доцент Сидоров С.П., к.ф.-м.н., доцент Тяпаев Л.Б., к.ю.н., доцент Гортинский А.В., к.ф.-м.н. Жаркова А.В., к.ф.-м.н. Новиков В.Е., к.ф.-м.н., доцент Миронов С.В., к.ф.-м.н., доцент Фёдорова А.Г.

Рецензентами диссертационной работы выступили д.ф.-м.н., профессор Андрейченко Д.К. и к.ф.-м.н., доцент Тяпаев Л.Б., которые представили положительные отзывы о диссертации.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность темы и направленность исследования. Актуальность работы обусловлена необходимостью исследования моделей отказоустойчивых реализаций вычислительных систем, которые представляются графами. Диссертационная работа Лобова А.А. посвящена исследованию отказоустойчивости вычислительных систем, которые имеют топологии на основе гиперкубов.

Личный вклад автора. Соискатель лично, используя аппарат теории графов, комбинаторики и теории алгоритмов, разработал новую математическую модель представления графа, которая позволяет использовать метод канонических представителей и метод Рида-Фараджева для исключения изоморфных копий при построении суперграфов и частей графа; разработал и обосновал вычислительный алгоритм построения минимальных вершинных k-расширений, основанный на методе объединения изоморфных графов, который был реализован в программе, написанной на языке C++, и позволил впервые решить задачу построения минимальных вершинных 1-расширений 16-вершинного гиперкуба в ходе вычислительного эксперимента; предложил оптимизированные модели построения вершинных 1- и 2-расширений гиперкубов, в которых количество рёбер на 1 и 2 меньше, чем в тривиальных вершинных 1- и 2- расширениях соответственно, которые применимы и ко всем двудольным графам, отличным от полных двудольных; предложил исчерпывающее решение задачи построения оптимальной устойчивой к отказу одного ребра модели системы, основанной на топологии гиперкуба, доказал теорему о полноте найденного решения, подтверждающую её завершённость.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивается корректностью математической постановки задачи, применением строгих математических методов, сравнением полученных результатов с известными теоретическими результатами и результатами, полученными экспериментально.

Научная новизна. Разработанная математическая модель представления графа позволила применить метод канонических представителей и метод Рида-Фараджева для решения задачи построения суперграфов и частей графа, что было невозможно при использовании традиционных методов кодирования графа. Реализованная программа «GenSupg» является первой, использующей данный подход к решению этой задачи. Разработан новый вычислительный алгоритм построения минимальных вершинных k-расширений, основанный на методе объединения изоморфных графов. Данный алгоритм был реализован в программе «extvu» и позволил снизить комбинаторную сложность задачи так, что впервые удалось построить все минимальные вершинные 1-расширения 16-вершинного гиперкуба в ходе вычислительного эксперимента. Полученные

модели построения устойчивых к отказу 1 и 2 узлов основанных на топологии гиперкуба систем являются более оптимальными, чем предыдущие результаты. Найдено исчерпывающее решение задачи построения устойчивой к отказу одной связи системы, основанной на топологии гиперкуба. Данный результат сформулирован в виде теоремы и аналитически доказан.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты имеют как практический, так и теоретический характер. **Теоретическая значимость** состоит в том, что разработанный метод кодирования графов позволяет применять методы канонических представителей и Рида-Фараджева для задачи построения частей графа и суперграфов, что невозможно было при иных способах кодирования. Сформулированы теоремы, позволяющие строить оптимизированные устойчивые к отказу узлов системы, базирующиеся как на топологии гиперкубов, так и на любых других топологиях, представимые двудольными графами, отличными от полных двудольных графов. В работе сформулированы и доказаны теоремы, которые полностью покрывают все возможные минимальные рёберные 1-расширения гиперкубов, что полностью закрывает данную задачу.

Практическая значимость состоит в том, что предложенный способ кодирования графа позволяет избежать хранения в памяти всех предшествующих решений, что позволяет радикально сократить используемую оперативную память по сравнению с другими алгоритмами. В данной работе в программных реализациях на языке программирования C++ это позволило эффективно распараллеливать вычисления как на основе многопоточности, так и на основе передачи сообщений (технология параллельного программирования MPI). Следовательно, все предложенные алгоритмы будут эффективны как на достаточно мощных современных симметричных мультипроцессорных системах с общей памятью, так и на высокопроизводительных кластерных системах с распределенной памятью. Реализованные приложения «extvu», «GenSupg» и «FTConstuctor» позволяют строить графовые модели оптимальных отказоустойчивых реализаций систем, в том числе и гиперкубов.

Апробация работы. Результаты работы были представлены на всероссийских и международных конференциях:

VIII Международная научная конференция «Компьютерные науки и информационные технологии» памяти А. М. Богомолова, СГУ, Саратов, 2018.

Международная конференция «Ломоносов-2018», МГУ, Москва, 2018.

17-я международная конференция «Сибирская научная школа-семинар «Компьютерная безопасность и криптография»» Sibecrypt'18, Томск, 2018.

XIII Международный семинар «Дискретная математика и её приложения» имени академика О.Б. Лупанова, МГУ, Москва, 2019.

18-я международная конференция «Сибирская научная школа-семинар «Компьютерная безопасность и криптография»» Sibecrypt'19, Томск, 2019.

Международная конференция «Ломоносов-2021», МГУ, Москва, 2021.

IX Международная научная конференция «Компьютерные науки и информационные технологии» памяти А. М. Богомолова, СГУ, Саратов, 2021.

21-я международная конференция «Сибирская научная школа-семинар «Компьютерная безопасность и криптография»» имени Г. П. Агибалова Sibecrypt'22, Красноярск, 2022.

Публикации автора. Основные результаты диссертации **в полном объеме** опубликованы в 19 работах, в том числе в 6, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК, Web of Scince или Scopus:

1. Лобов, А. А. Построение всех неизоморфных минимальных вершинных расширений графа методом канонических представителей / М. Б. Абросимов, И. А. К. Камил, А. А. Лобов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 479-486.

Личный вклад соискателя состоит в получении результатов, касающихся способа кодирования графа, при котором возможно построение суперграфов с применением техник построения графов без проверки на изоморфизм.

2. Лобов, А. А. Построение минимальных рёберных расширений графа без проверки на изоморфизм / А. А. Лобов, Х. Х. К. Судани, М. Б.

Абросимов, // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2020. – Т. 20, вып. 1. – С. 105-115.

Личный вклад соискателя состоит в описании способа построения суперграфов без проверки на изоморфизм.

3. Лобов, А. А. Вершинные расширения 4-слойных графов и гиперкубов / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 536-548.

Личный вклад соискателя состоит в получении и доказательстве всех научных результатов. Вклад соавтора (научного руководителя) состоит в постановке задачи и корректировке статьи.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Лобов, А. А. Построение минимальных вершинных расширений графа методом Рида-Фараджева / И. А. К. Камил, М. Б. Абросимов, А. А. Лобов // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – vol. 8, no.4, pp. 54–58.

Личный вклад соискателя состоит в результатах, связанных со способом кодирования графа и деревом кодов, позволяющем применять технику исключения изоморфных копий Рида-Фараджева при построении суперграфов.

2. Лобов, А. А. Единственность минимального рёберного 1-расширения гиперкубов / А.А. Лобов // International Journal of Open Information Technologies. 2023. – vol. 11, no. 9, pp. 28 – 32.

3. Лобов, А. А. Построение минимальных вершинных расширений графа путём объединения его изоморфных копий / А. А. Лобов // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. – 2026. – № 1. – С. 79–88.

Публикации статей и материалов конференций:

1. Лобов, А. А. О вершинном 1-расширении гиперкуба / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Компьютерные науки и информационные технологии : Материалы Международной научной конференции, Саратов, 02–03 июля 2018 года. – Саратов: ИЦ «Наука». – 2018. – С. 249–251.

2. Лобов, А. А. О минимальном рёберном 1-расширении гиперкуба / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Прикладная дискретная математика. Приложение. – 2018. – № 11. – С. 109-111.

3. Лобов, А. А. Построение минимальных расширений графа методом канонических представителей / А. А. Лобов, И. А. К. Камил, Х. Х. К. Судани, М. Б. Абросимов // Прикладная дискретная математика. Приложение. – 2019. – № 12. С. 179–182.

4. Лобов, А. А. Построение всех неизоморфных суперграфов без проверки на изоморфизм / А. А. Лобов, И. А. К. Камил, Х. Х. К. Судани, М. Б. Абросимов // Прикладная дискретная математика. – 2020. – № 48, С.82–92.

5. Лобов, А. А. О вершинных 2-расширениях 4-слойных графов / М. Б. Абросимов, Лобов А. А. // Компьютерные науки и информационные технологии : Материалы Междунар. науч. конф. – Саратов : Издат. центр «Наука», 2021. – С. 97-99.

6. Лобов, А. А. О единственности минимального рёберного 1-расширения гиперкуба / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Прикладная дискретная математика. Приложение. – 2022. – № 15. – С. 110-112.

7. Лобов, А. А. О единственности минимального рёберного 1-расширения гиперкуба Q4 / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Прикладная дискретная математика. – 2022. – № 58. – С. 84-93.

8. Лобов, А. А. Оценка количества дополнительных рёбер в минимальном вершинном 1-расширении подкласса двудольных графов / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2018» / Отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2018. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader. – 1450 Мб. – 11000 экз. ISBN 978-5-317-05800-5.

9. Лобов, А. А. О генерации графов, содержащих заданный подграф / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Материалы XIII Международного семинара «Дискретная математика и её приложения», имени академика О. Б. Лупанова (Москва, МГУ, 17-22 июня 2019 г.) / Под редакцией О. М. Касим-Заде. – М.: Изд-во МГУ, 2019. – С. 223–226.

10. Лобов, А. А. О вершинном 1-расширении некоторых торов / А. А. Лобов, М. Б. Абросимов // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2021» / Отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, Е. И. Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2021. – 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – 2000 экз.

Объекты интеллектуальной собственности:

1. Лобов А. А., Абросимов М. Б. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020610497 Российская Федерация. GenSupg : № 2019666671 – заявл. 19.12.2019 : опубл. 15.01.2020.

2. Лобов А. А., Камил И. А. К., Судани Х. Х. К., Абросимов М. Б. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020614773 Российская Федерация. Построение оптимальных отказоустойчивых реализаций графов FTConstructor : № 2020612581 – заявл. 10.03.2020 : опубл. 24.04.2020.

3. Лобов А. А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026614160 Российской Федерации. extvu : № 2026612945 – заявл. 06.02.2026 : опубл. 12 февраля 2026.

Ценность научных работ Лобова А.А. заключается в получении новых результатов, которые не только решают вопрос о построении отказоустойчивых реализаций для вычислительных систем с топологией на основе гиперкуба, но также могут быть использованы и для исследования отказоустойчивости других топологий. В частности, разработана математическая модель представления графа, которая позволяет применить метод канонических представителей и метод Рида-Фараджева для решения задачи построения суперграфов и частей графа, а также доказана теорема об отказоустойчивых реализациях вычислительных систем с топологиями на основе произвольных двудольных графов, отличных от полных.

Диссертационная работа Лобова А.А. соответствует паспорту научной специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в части пунктов 1 (Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений), 2 (Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий), 3 (Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента), 8 (Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента).

Диссертационная работа Лобова Александра Андреевича «Моделирование и анализ отказоустойчивости вычислительных систем с

топологией, основанной на гиперкубах» соответствует требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры теоретических основ компьютерной безопасности и криптографии факультета компьютерных наук и информационных технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», протокол № 5 от 9 октября 2026 г.

Присутствовало на заседании кафедры 12 человек, из них 6 докторов наук и 6 кандидатов наук по профилю рассматриваемой диссертации. Результаты голосования: «за» – 12 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет.

Председатель заседания
профессор кафедры теоретических основ
компьютерной безопасности и криптографии
доктор физико-математических наук,
профессор Молчанов Владимир Александрович

Подпись Молчанова В.А. удостоверяю
Ученый секретарь
Ученого совета СГУ В.В. Сергеева
«13» октября 2026