

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.233.05  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ», МИНИСТЕРСТВО  
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 03 марта 2020 г. № 1/20  
о присуждении Сергееву Александру Михайловичу, гражданину Российской  
Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Методы преобразования изображений и кодирования  
сигналов в каналах распределенных систем на основе использования  
специальных квазиортогональных матриц»

**по специальности** 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»  
**принята к защите** 24 декабря 2019 года, протокол № 6/19, диссертационным  
советом Д 212.233.05, созданном на базе Федерального государственного  
автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-  
Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения», Министерство науки и высшего образования Российской  
Федерации, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, приказ  
№741/нк от 08.07.2015 г.

**Соискатель** Сергеев Александр Михайлович, 1981 года рождения,  
гражданин Российской Федерации, работает в федеральном государственном  
образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП), г.  
Санкт-Петербург, в должности ведущего инженера кафедры вычислительных  
систем и сетей.

В 2004 году соискатель окончил ГУАП по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». В период с 2004 по 2007 год являлся аспирантом кафедры информационно-сетевых технологий ГУАП. Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов и справка об обучении (периоде обучения) выданы 28 августа 2019 г.

**Диссертация выполнена** на кафедре вычислительных систем и сетей института вычислительных систем и программирования федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

**Научный руководитель** – доктор технических наук, доцент Балонин Николай Алексеевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра вычислительных систем и сетей, профессор.

**Официальные оппоненты:**

1. Фаворская Маргарита Николаевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва».

2. Круглов Сергей Константинович, кандидат технических наук, доцент, доцент высшей школы программной инженерии института компьютерных наук и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и



автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), г. Санкт-Петербург, в своем **положительном** заключении, подписанном доктором технических наук, главным научным сотрудником лаборатории автоматизации научных исследований Кулешовым Сергеем Викторовичем и старшим научным сотрудником лаборатории технологий больших данных социокибернетических систем, кандидатом технических наук Хариновым Михаилом Вячеславовичем, утвержденном директором СПИИРАН, доктором технических наук, профессором Ронжиным Андреем Леонидовичем, указала, что диссертационная работа Сергеева А. М. является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача повышения защищенности передачи цифровой информации в коммуникационных каналах, имеющая важное хозяйственное значение. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Основные положения широко апробированы на значимых российских и зарубежных конференциях, на специализированном международном семинаре. Научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

**Соискатель имеет** 61 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, из них одна монография, в рецензируемых научных изданиях опубликовано 15 работ, 9 работ индексируются в Scopus и Web of Science. Получены акты о внедрении результатов диссертационной работы от трех организаций: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; ООО «АСК Лаборатория», г. Санкт-Петербург; АО «Концерн «Гранит-Электрон», г. Санкт-Петербург. Общий объем научных изданий по теме диссертации составляет 25,61 печатных листов, из которых 12,94 листов отражают личный вклад соискателя в работах, опубликованных вместе с соавторами.

Наиболее **значительные научные работы** по теме диссертации:

1. *Sergeev A.* Generalized Mersenne Matrices and Balonin's Conjecture / A. Sergeev // Automatic Control and Computer Sciences, 2014, Vol. 48, No. 4, pp. 214–220. DOI: 10.3103/S0146411614040063 (объем 1,2 п. л.)
2. *Сергеев А. М.* О взаимосвязи одного вида квазиортогональных матриц, построенных на порядках последовательностей  $4k$  и  $4k-1$  / А. М. Сергеев // Известия ЛЭТИ, 2017. № 7. С. 12 – 17 (объем 0,7 п. л.)
3. *Sergeev A. M.* Two-Circulant Hadamard Matrices, Weighing Matrices, and Ryser's Conjecture / Yu. N. Balonin, A. M. Sergeev // Информационно-управляющие системы. 2018. № 3. С. 2 – 9. DOI:10.15217/issn1684-8853.2018.3.2 (объем 0,84 п. л. / авторский вклад 0,6 п. л.).

Личный вклад: соискателем выявлена связь порядков ортогональных матриц и их структур, предложены бициклические взвешенные матрицы и расширение гипотезы Райзера на симметричные бициклические структуры матриц Адамара до порядка 32, вычислены симметричные бициклические матрицы Адамара порядков 8, 16 и 32, разработан генератор бициклических матриц и кросс-накопитель блоков таких матриц.

4. *Сергеев А.М.* Специальные матрицы: вычисление и применение / А. М. Сергеев, А. А. Востриков. СПб: Политехника. 2018. 114 с. ISBN 978-5-7325-1137-6 (объем 6,51 п. л. / авторский вклад 4,2 п. л.).

Личный вклад: соискателем предложены классификации ортогональных и квазиортогональных матриц порядков, принадлежащих известным числовым последовательностям; математически описаны взаимосвязи таких матриц и численные методы и алгоритмы вычисления квазиортогональных матриц, включая специальные; предложен метод двустороннего матричного маскирования и способ вычисления инвариантных к нему матриц; предложен новый подход к разработке кодов для модуляции сигналов на основе матриц Мерсенна.

5. *Sergeev A.* Use of symmetric Hadamard and Mersenne matrices in digital image



processing / A. Vostricov, M. Sergeev, N. Balonin, A. Sergeev // Procedia Computer Science. 2018. Vol.126. P. 1054-1061. DOI: 10.1016/j.procs.2018.08.042 (объем 0,92 п. л. / авторский вклад 0,34 п. л.).

Личный вклад: соискателем сформулированы требования к базису матриц для цифровой обработки изображений произвольного размера, показана фрактальность симметричных матриц Мерсенна, .

6. *Сергеев А. М.* Исследование и анализ автокорреляционных функций кодовых последовательностей, сформированных на основе моноциклических квазиортогональных матриц / В. А. Ненашев, А. М. Сергеев, Е. А. Капранова // Информационно-управляющие системы. 2018. №3. С. 9 – 14. DOI: 10.31799/1684-8853-2018-4-9-14 (объем 0,62 п. л. / авторский вклад 0,25 п. л.).

Личный вклад: соискателем предложен способ формирования кодов из строк циклических персимметричных матриц Мерсенна порядков простых чисел 3, 7 и 11 при одновременном ослаблении требований к автокорреляционной функции.

7. *Сергеев А.М.* О гибридном методе защиты видеоданных в IP-сетях / А. А. Востриков, Ю. Н. Балонин, Д. В. Куртяник, А. М. Сергеев, О. И. Сеницына // Телекоммуникации. 2018. № 2. С. 34-39 (объем 0,58 п. л. / авторский вклад 0,12 п. л.).

Личный вклад: соискателем предложен метод защиты видеоданных на основе интеграции процедур маскирования и сжатия изображений, а также способ использования уникальных матриц или ключа маскирования – вектора перестановки строк и столбцов известной передатчику и приемнику матрицы.

8. *Сергеев А. М.* Вложенные кодовые конструкции Баркера-Мерсенна-Рагхаварао / В. А. Ненашев, А. М. Сергеев, М. Б. Сергеев // Информационно-управляющие системы. 2019. № 3. С. 63-73. DOI: 10.31799/1684-8853-2019-3-63-73 (объем 1,4 п. л. / авторский вклад 0,5 п. л.)

Личный вклад: соискателем предложено использование моноциклических

квазиортогональных матриц Мерсенна и Рагхаварао как основы создания кодов длин 3, 5, 7, 11 и 13 и вложенных кодовых конструкций с кодами Баркера.

В диссертации Сергеева А. М. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили **отзывы из 11 организаций (все отзывы положительные):**

1. АО «НПП «Радар ммс» (подписал заместитель генерального конструктора по программно-целевому развитию, д-р технических наук, профессор В. М. Балашов). Замечания: 1) В тексте не указаны конкретные максимальные порядки вычисленных автором двухуровневых квазиортогональных матриц, равные числам, входящим в указанные в работе последовательности. Поэтому трудно судить: насколько представительно множество таких матриц. 2) В таблице 1 представлены вычисляемые через  $t$  значения элементов  $-b$ ,  $s$ ,  $d$ . Однако для понимания как выглядят сами указанные матрицы, в том числе симметричные и циклические, необходимо знать положение таких элементов в матрице. Следует уточнить, есть ли алгоритм и условия расстановки этих элементов в квазиортогональной матрице. 3) На стр. 7 в изложении личного вклада автора указаны длины кодов 5, 7, 11. Очевидна ошибка: код длины 5 не может быть получен из матриц, входящих в указанную автором последовательность порядков матриц Мерсенна  $4t-1$ .
2. АО «НИИ телевидения» (подписал заместитель генерального директора по научной работе доктор технических наук, профессор А. К. Цыцулин). Замечания: 1) Предложенные методы кодирования изображений с выбранными преобразованиями, являющиеся попыткой поиска универсального преобразования, требуют тестирования на представительной выборке входных сигналов с широким набором статистик (характеризующих корреляционные свойства изображений и нестационарность сигнала), в то



- время как в работе такая выборка вообще не обсуждается. 2) Практическая значимость работы может быть оценена только с учетом отсутствующих в Заключении количественных показателей эффективности в сравнении с известными методами.
3. ОАО «ЦНПО «Ленинец» (подписал главный специалист, заместитель главного конструктора, доктор технических наук, старший научный сотрудник И. Е. Никульский). Замечания: 1) Судя по автореферату автор работы уделяет повышенное внимание вопросам обработки и восстановления видеоизображений с помощью ортогональных матриц, матриц Адамара и других, но аспекты влияния такой обработки на характеристики видеопотока в IP-ориентированных сетях и на характеристики качества обслуживания видеотрафика в NGN-сетях упущены им из рассмотрения, что несколько сужает представления об исследуемых в работе методах кодирования и преобразования изображений. 2) В работе не приводится анализа влияния вероятностных характеристик каналов связи на качество обслуживания видеотрафика при использовании развитых и исследованных ее автором методов помехоустойчивого кодирования видеопотока.
4. ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО» (подписал главный научный сотрудник факультета информационных технологий и программирования доктор технических наук, профессор А. А. Шалыто). Замечания: 1) Автором предложено обоснованное расширение набора ортогональных матриц для преобразований, выделены специальные матрицы, однако не рассмотрены вопросы поиска оптимальных из предлагаемых матриц для конкретных условий и задач обработки информации. 2) Недостаточно полно охарактеризована природа происхождения помех и их влияние на передаваемую информацию.
5. ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» (подписал заведующий кафедрой «Прикладная математика, информатика и

информационные системы» доктор технических наук, доцент А. А. Тюгашев). Замечания: 1) Матрица дискретного косинусного преобразования представляются с точностью до  $10^{-6}$ . Из автореферата не ясно, с какой точностью представляются элементы  $-b$  матриц Мерсенна. 2) Хотелось бы более подробного описания проведенного эксперимента по замене матрицы ДКП на двухуровневую матрицу Мерсенна-Уолша в алгоритме сжатия JPEG. 3) Из автореферата не вполне понятно, найдены ли матрицы Мерсенна-Уолша на порядках, превышающих 63, и были ли с ними проведены эксперименты?

6. АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (отзыв подписали главный научный сотрудник доктор технических наук, профессор Н. В. Колесов и начальник отдела кандидат технических наук А. М. Грузликов). Замечания: 1) не определено влияние на эффективность алгоритма JPEG замена ДКП структурированными матрицами. 2) Не указан метод формирования тестовых изображений и/или их источник. 3) Не осуществлено сравнение предложенных в работе кодов для сигналов РЛС в условиях сложной электромагнитной обстановки с известными кодами, например, кодами Костаса.
7. АО «ВНИИРА» (подписали доктор технических наук, профессор В. Т. Яковлев и научный сотрудник НТЦ ОрВД кандидат технических наук А. Ю. Княжский). Замечания: 1) Автор ограничивается на стр. 11 автореферата упоминанием формата BMP и визуализации в градации серого. Не ясно, относится ли это к маскируемым изображениям? Почему не приведены примеры маскирования цветных изображений и не указываются перспективы использования метода для них. 2) Из автореферата не понятно, почему для формирования кодовых последовательностей для модулирования сигнала в радиоканале использованы и исследованы только циклические матрицы Мерсенна. Матрицы Эйлера (таблица 1) имеют тоже два значения, структурно связаны с матрицами Мерсенна (стр. 10) и могли бы быть



- использованы для создания кодов. 3) Автор оперирует в автореферате по отношению к методам преобразования информации двумя терминами: помехоустойчивость и помехозащищенность, не раскрывая их отличия в контексте работы.
8. ФГБОУ ВО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева» (подписал заведующий кафедрой «Электротехника и промышленная электроника, доктор технических наук, доцент А. В. Юдин). Замечания: 1) Следовало бы несколько уменьшить количество видов новых рассматриваемых матриц в пользу подробного исследования особенностей отобранных оставшихся матриц. 2) Для систем автоматики и электромеханики ценны были бы практические рекомендации по внедрению хотя бы в виде образцов возможных приложений новых матриц, поскольку инженерное внедрение зависит от степени разработанности научного предложения.
9. ФГБОУ ВО «Ковровская государственная технологическая академия им. В. А. Дегтярева» (подписал заведующий кафедрой «Приборостроение» доктор технических наук, профессор А. Л. Симаков). Замечания: 1) В четвертом разделе слабо представлен эксперимент с новыми матрицами. 2) Следовало бы описать отличие двухуровневой матрицы Мерсенна-Уолша от используемой в алгоритме сжатия модульно двухуровневой.
10. ПАО «Интелтех» (подписали главный научный сотрудник доктор технических наук, профессор А. Н. Путилин и начальник лаборатории 5005 кандидат технических наук В. С. Шаптала; утвердил первый заместитель генерального директора по научной работе, доктор технических наук, доцент И. А. Кулешов). Замечания: 1) Нет сопоставления предложенного метода двустороннего матричного маскирования цифровых визуальных данных с традиционными методами шифрования битового потока. 2) Отсутствуют результаты сравнения реализации модифицированного алгоритма JPEG с

общедоступными реализациями (например, libjpeg) по критериям CPU Load и Memory Usage.

11. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. М. А. Бонч-Бруевича» (СПбГУТ) (подписал профессор кафедры сетей связи и передачи данных, доктор технических наук А. И. Парамонов). 1) В тексте не приведены характеристики изображений, приведенных на рис. 3 в качестве примера, не ясно каков эффект при ином коэффициенте сжатия. Имело бы смысл ввести показатель качества изображения и оценить его применение. 2) На рис. 2 отсутствуют наименования осей и единиц измерения, также имеется ряд стилистических шероховатостей, неудачных формулировок и построений фраз (например, стр.11, 15).

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их известностью своими достижениями в области современных телекоммуникационных систем и наличием соответствующих публикаций, в том числе в ведущих журналах, определенных ВАК при Минобрнауки России. Выбор СПИИРАН в качестве ведущей организации обусловлен огромным опытом настоящего учреждения Российской Академии Наук в области обработки визуальной информации, кодирования, беспроводных сетей, а также большим числом публикаций в данной предметной области.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** метод двустороннего матричного маскирования визуальных данных и коды фазовой модуляции сигналов, включая их комбинации с кодами Баркера, обеспечивающие повышение защищенности передачи изображений в коммуникационных каналах распределенных систем;

**предложены** упрощенная процедура маскирования в видеомодулях встраиваемого класса с использованием специальных матриц, новый подход к



получению кодов фазовой модуляции сигналов на основе строк квазиортогональных матриц, новый класс специальных квазиортогональных матриц и особые изображения, инвариантные к матричному двустороннему маскированию, а также новый способ вычисления симметричных бициклических матриц Адамара;

**доказано** преимущество разработанного метода маскирования изображений и кодов длин 3 и 7 для фазовой модуляции сигналов, используемых для повышения защищенности визуальных данных в коммуникационных каналах по сравнению к существующим аналогичным решениям, а также перспективность использования предложенных специальных матриц для ортогональной обработки визуальной информации;

**введена** новая классификация квазиортогональных матриц, которая впервые объединяет матрицы на порядках последовательности натуральных чисел, что позволяет находить между ними различные связи и облегчать нахождение матрицы нужного размера для конкретного ортогонального преобразования.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказано** существование большого количества матриц, близких по основным характеристикам матрицам Адамара, основанное на развивающейся теории квазиортогональных матриц, объединяющей методы их вычисления, условия существования и характеристики, с учетом основных особенностей текущего этапа развития ортогональных преобразований в модулях телекоммуникационных систем;

**применительно к проблематике диссертации результативно и эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов**

**использованы** методы теории чисел, теории линейной алгебры, теории кодирования, методы обработки изображений, модуляции и кодирования сигналов, проведены испытания использования специальных матриц и кодов на модельных задачах;

**изложены** принципы совершенствования процедур ортогональных

преобразований изображений и сигналов;

**раскрыты** особенности вычисления специальных квазиортогональных матриц и их влияние на характеристики преобразования визуальных данных;

**изучены** взаимосвязи матриц на соседних порядках и известных последовательностях, обеспечивающие их простое вычисление и взаимные трансформации для выбора под конкретное преобразование данных;

**проведена** модернизация и расширение базиса ортогональных матриц за счет предложенных в работе, что вносит существенный вклад в исследование путей совершенствования процедур ортогональных преобразований изображений и сигналов при передаче в коммуникационных каналах.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** программные реализации для системы-на-кристалле с DSP-процессорами, реализующими маскирование и кодирование в мобильных видеомодулях распределенных систем; обоснованные предложения по совершенствованию алгоритмов обработки изображений с использованием новых матриц;

**определены** перспективы практического применения специальных квазиортогональных матриц, разработанного метода маскирования и предложенного способа получения кодов для модуляции сигналов в современных распределенных системах, используемых в ООО «АСК Лаборатория», АО «Концерн «Гранит-Электрон», в учебном процессе ГУАП;

**созданы** практические рекомендации по вычислению и использованию специальных матриц в зависимости от задач, которые рассматривались при выполнении ряда научно-исследовательских проектов, в том числе при исследованиях в НИР «Оптико-электронный модуль мобильного применения» (гос. рег. № 117032810028-3, 2018 г.), при выполнении НИР «Поиск и исследование экстремальных квазиортогональных матриц для обработки информации» (гос. рег. № АААА-А17-117042710042-9, 2017 – 2019 гг.) в рамках



госзадания (2.2200.2017/ПЧ), а также при разработке перспективных радиолокационных станций;

**представлены** результаты, показывающие перспективы применения специальных квазиортогональных матриц в помехоустойчивом кодировании и сжатии цифровых визуальных данных.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием созданных с участием автора: программ для вычисления бициклических и структурированных квазиортогональных матриц; среды моделирования, которая является современным инструментом для анализа и разработки новых алгоритмов обработки изображений на основе предложенных в работе специальных матриц и согласуется с имеющимися практическими результатами в данной предметной области;

**теория** согласуется с известными положениями теории чисел, линейной алгебры, ортогональных преобразований, обработки цифровой визуальной информации, моделями оценки кодов и кодовых конструкций;

**идея базируется** на обобщении передовых решений и опыта ведущих отечественных и зарубежных ученых в области ортогональных матриц и преобразований с их использованием;

**использованы** результаты сравнения полученных в работе экспериментальных результатов с ранее известными практическими результатами;

**установлено** качественное совпадение результатов работы с результатами независимых источников по тематике исследования;

**использованы** современные методики сбора и обработки информации.

**Личный вклад соискателя состоит в** постановке задач исследований, разработке теоретических решений и формулировке предложенных методов и алгоритмов, планировании исследований и экспериментов, обработке данных и интерпретации полученных результатов, обобщении результатов в виде обоснованных выводов и рекомендаций, изложении содержания исследований

в форме научных публикаций и апробации результатов.

На заседании 03 марта 2020 года диссертационный совет принял решение присудить **Сергееву Александру Михайловичу** ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности 05.12.13, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 15, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя диссертационного совета Д 212.233.05  
доктор технических наук, профессор

Бестугин Александр Роальдович

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.233.05  
кандидат технических наук, доцент

Овчинников Андрей Анатольевич

«03» марта 2020 года



работника ГУАП *Бестугина А.Р., Обвинникова А.А.*