

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича  
**«Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

В диссертации В.С. Усатюка содержатся следующие результаты его исследования:

1. Дан анализ существующих методов и алгоритмов построения низкоплотностных кодов применительно к архивной голографической памяти ЭВМ.
2. Предложен метод построения низкоплотностных кодов для накопителей архивной голографической памяти.
3. Разработан метод оценки кодового расстояния линейных блочных кодов на основе математической теории точечных решеток в евклидовом пространстве. Этот метод реализован в виде аппаратно-ориентированного алгоритма оценки кодового расстояния.
4. Создан высокопроизводительный спецвычислитель, реализованный на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), осуществляющий поиск кратчайшего вектора в решетке, с помощью которого на практике осуществляется экспериментальная оценка надежности считывания данных из голографической памяти.

Диссертационная работа В.С. Усатюка является научно-технической. В ней содержатся и результаты из области чистой (теоретической) математики, и инженерно-технические разработки.

*Основным математическим результатом*, с моей точки зрения, является успешное применение методов теории точечных решеток, относящейся к разделу «геометрия», к решению задач теории кодов, исправляющих ошибки, относящейся к другому разделу – «дискретная математика». Тем самым В.С. Усатюк дал частичный ответ на одну из проблем, поставленную авторитетными специалистами в теории кодирования и опубликованную в предисловии к изданию Влэдуц С.Г., Ногин Д.Ю., Цфасман М.А. «Алгеброгеометрические коды. Основные понятия.-М.: МЦНМО, 2003», см. стр. 8: «*Но каким образом можно ввести структуру*

метрического пространства на  $F_q^n$  – конечномерном пространстве над конечным полем? Мы не знаем никакой метрики более естественной, чем метрика Хэмминга...». В.С. Усатюк предложил использовать метрику специальной точечной решетки в евклидовом пространстве и это дало положительный результат. В этом проявилась эффективность методов теории решеток. Однако в целом значение этой теории и соответствующих специалистов остаются у нас недооцененными.

**Основным инженерно-техническим результатом** является созданный спецвычислитель. Он был разработан для экспериментальной оценки надежности считывания данных из голографической памяти. Однако, с моей точки зрения, этот же спецвычислитель может быть использован для взлома криптосистемы RSA в рамках методики, предложенной известным немецким математиком Клаусом Питером Шнорром в нашумевшей работе Schnorr C.P. “Factoring Integers by CVP and SVP Algorithms” (04.03.2020). Аббревиатура «SVP» как раз и означает «Shortest Vector Problem», т.е. в переводе на русский язык – тот самый «поиск кратчайшего вектора в решетке», который осуществляет спецвычислитель, разработанный В.С. Усатюком. Это обстоятельство придает чрезвычайную ценность диссертационной работе В.С. Усатюка.

Основные научные выводы и результаты в достаточной степени представлены в научных журналах и изданиях, в том числе входящих в перечень ВАК РФ и в международные базы данных Scopus и WoS. Автореферат и опубликованные работы отражают ее основное содержание. Полученные автором диссертации результаты обладают научной новизной и практической значимостью.

По содержанию автореферата имеются следующие замечания.

1. Предложенную методику построения кодов имеет смысл распространить и на сильноплотные коды.


2. Имеется ряд однотипных замечаний по оформлению текста. Все они относятся к несоблюдению требований ГОСТ, предъявляемых к оформлению научно-технических документов. Например, рисунок 2 «Аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке» (стр. 15),

расположен «на боку», что не соответствует ГОСТ, его следует повернуть на 90 градусов по часовой стрелке.

Однако указанные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертационной работы.

Диссертационная работа Усатюка Василия Станиславовича является завершённой научно-исследовательской квалификационной работой, обладает внутренним единством. Работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», паспорту научной специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор Усатюк Василий Станиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Главный специалист отдела онлайн-овых систем управления автоматизации операций с платежными картами Департамента платежных технологий и дистанционных каналов АО «Российский Сельскохозяйственный банк» (АО «Россельхозбанк»)

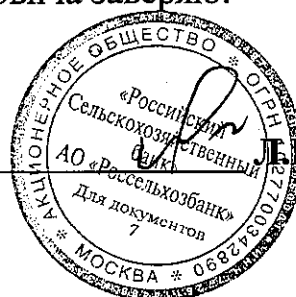
кандидат физико-математических наук  Анзин Максим Михайлович

Научная специальность: 01.01.09 – «Дискретная математика и математическая кибернетика». Кандидатская диссертация защищена в Д. 501.001.84 МГУ, 2003 г. Тема защищённой диссертации: «Метод проективных неравенств и совершенные формы». УДК 511.9 Геометрия чисел. УДК 514.174 Расположения геометрических фигур. УДК 519.6 Вычислительная математика, численный анализ и программирование (машинная математика).

119034, г. Москва, Гагаринский переулок, д. 3, тел. (495) 651-60-95 внутр. 3941, [anzinmm@rshb.ru](mailto:anzinmm@rshb.ru); тел. (495) 363-02-90, факс (495) 363-02-76, E-mail: [office@rshb.ru](mailto:office@rshb.ru)

Подпись к.ф.-м.н. Анзина Максима Михайловича заверяю:

Заместитель директора  
Департамента по работе с персоналом



М. Лысенко

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Диссертационное исследование В. С. Усатюка посвящено построению низкоплотностных кодов для декодеров, обеспечивающих повышение надежности чтения в архивной голографической памяти.

В работе автором поставлены и решены следующие задачи:

1. Проведен анализ существующих методов построения низкоплотностных кодов, используемых в накопителях архивной голографической памяти.

2. Предложен и реализован на практике метод построения низкоплотностных кодов для накопителей архивной голографической памяти.

3. Предложены и реализованы на практике алгоритм оценки кодового расстояния с использованием методов параллельного программирования и аппаратно-ориентированный алгоритм вычисления кодового расстояния, основанные на нетривиальных свойствах алгебраических решеток.

4. Спроектировано и реализовано на ПЛИС специализированное устройство, осуществляющее вычисление кодового расстояния в подрешетке размерности  $m$  для построения низкоплотностных кодов.

Для решения поставленных задач автором, использованы методы алгебры, теории кодирования, теории информации, геометрии чисел, теории вероятностей, прикладной топологии и статистической физики, теории сложности вычислений, теории графов, математического моделирования.

Основные научные результаты в достаточной мере представлены в научных рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, публикациях в международной базе Scopus. Оригинальность технических решений, предложенных автором, подтверждена тремя международными патентами на изобретения.

Особенный интерес в работе В. С. Усатюка представляют предложенные автором подходы к использованию методов геометрии чисел для вычисления кодового расстояния, а именно:

- вложение линейного блочного кода в решетку, с помощью техники Каннана, широко используемой для решения задач теории решеток, в том числе, при построении и анализе систем защиты информации;

- приведение базиса решеток блочным методом Коркина-Золотарева и поиск кратчайшего ненулевого вектора решетки для определения кодового расстояния низкоплотностного кода.

В качестве недостатков по автореферату необходимо отметить следующее:

– При исследовании преимущества от повышения надежности воспроизведения информации в голографической памяти для различных значений отношения сигнал-шум целесообразно провести исследование преимущества в виде уменьшения избыточности в хранимых данных при фиксированной надежности их воспроизведения.

– При исследовании преимущества от повышения надежности воспроизведения информации в голографической памяти на отдельном секторе размером 32 000 бит представляет интерес оценка Q-фактора (уменьшения вероятности битовой ошибки на выходе по сравнению с входной битовой ошибкой) для оценки совокупного повышения надежности голографической памяти.

– В работах Александра Сергеевича Рыбакова 2021 года были получены оценки длин ненулевых кратчайших векторов некоторых решеток. Представляет интерес исследование применимости используемой в этих работах техники для задач оценки кодового расстояния низкоплотностного кода.

– На наш взгляд, в автореферате мало внимания уделено вероятностным алгоритмам решения поставленных задач, в том числе и предложенным автором работы. Целесообразно провести сравнительный обзор существующих и предложенных автором вероятностных алгоритмов.

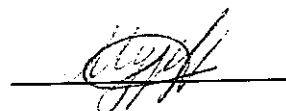
– При оформлении рекомендуем использовать русскую нотацию, в частности отделять дробную часть десятичной дроби запятой, а не точкой, во избежание недоразумений.

Указанные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертационной работы. Автореферат и опубликованные работы отражают ее основное содержание.

Диссертационная работа Усатюка Василия Станиславовича является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, обладает внутренним единством.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», паспорту научной специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор Усатюк Василий Станиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Директор института  
информационной безопасности,  
кандидат физико-математических наук

 Мурин Д. М.

Научная специальность: 05.13.19 – «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность»

Тема защищённой диссертации: «Компьютерно-аналитическое исследование задач рюкзачного типа как средство анализа и

совершенствования систем защиты информации», УДК 511.48 Геометрия чисел.

Подпись Мурина Д.М. удостоверяю:

Заместитель начальника управления  
кадровой политики и социальной работы  
Директор центра кадровой политики



 Куфирина Л. Н.

Сведения о лице, подписавшем отзыв

Мурин Дмитрий Михайлович, Ярославская область, 150003, г. Ярославль, ул. Советская, д. 14, телефон (служ.) 8-980-664-00-92, ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова», директор института информационной безопасности, доцент кафедры компьютерной безопасности и математических методов обработки информации, кандидат физико-математических наук.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Накопители архивной голографической памяти должны обеспечивать хранение большого объема данных с высокой надежностью. Обеспечить эти требования невозможно без использования помехоустойчивого кодирования, в качестве которого используются низкоплотностные коды. Однако коррекция ошибок, возникающих в каналах воспроизведения накопителей архивной голографической памяти, в настоящее время с точки зрения достижения максимальной степени повышения достоверности считываемых с носителя данных осуществляется недостаточно эффективно, в первую очередь из-за того, что потенциальные корректирующие способности низкоплотностных кодов используются не полностью.

В связи с этим сформулированная в диссертации В.С. Усатюка научно-техническая задача является весьма актуальной и значимой как в теоретическом, так и в практическом аспекте.

Последовательность решаемых в диссертации частных задач, направленных на повышение надежности чтения в архивной голографической памяти, за счет разработки метода, аппаратно-ориентированного алгоритма и специализированного устройства для построения низкоплотностных кодов, составляет логически связанную цепочку действий.

Защищаемые положения, в целом, удовлетворяют критериям новизны. Наибольший интерес представляет предлагаемый метод построения низкоплотностных кодов, а также аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство, осуществляющее оценку кодового расстояния с использованием геометрии чисел.

Кроме теоретической части, работа содержит в необходимом объеме часть, посвященную вопросу разработки специализированного устройства, осуществляющего поиск кодового расстояния в подрешетке  $m$ -размерности, и экспериментальной оценке надежности считывания данных из голографической памяти.

Таким образом, работа носит законченный характер, обладает внутренним логическим единством и создает необходимый задел для последующего практического применения.

В то же время при знакомстве с авторефератом были выявлены некоторые недостатки работы:

1. В автореферате имеют место пунктуационные, грамматические ошибки и погрешности. В частности:

- страница 4, первый абзац содержит лишние запятые;
- страница 6, первый абзац в разделе «СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ» – написано «диссертационный работы» вместо «диссертационной работы».

2. В автореферате отсутствует сравнение аппаратной сложности декодера для предложенного автором низкоплотного кода с декодером F-LDPC низкоплотного кода компании TrellisWare.

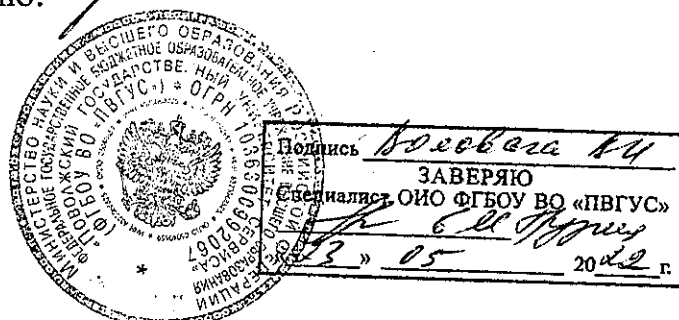
Данные недостатки не являются принципиальными по отношению к достигнутой цели работы. Работа представляется логически завершенным исследованием, направленным на решение актуальной научно-технической задачи. Ее результаты в большей части применимы не только при разработке накопителей архивной голографической памяти, но и при разработке кодеков помехоустойчивых кодов телекоммуникационных систем и других накопителей внешней памяти ЭВМ. Например, флэш-памяти.

Диссертационная работа Усатюка В.С. «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотных кодов архивной голографической памяти», является завершенным научным исследованием и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», паспорту научной специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Усатюк Василий Станиславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Зав. кафедрой информационного и электронного  
сервиса ФГБОУ ВО «ПВГУС»,  
доктор технических наук по специальности  
05.12.04 – Радиотехника, в том числе  
системы и устройства телевидения,  
доцент

В.И. Воловач

Подпись Воловача В.И. удостоверяю:



Сведения о лице, подписавшем отзыв: Воловач Владимир Иванович, д.т.н., доцент, заведующий кафедрой информационного и электронного сервиса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет сервиса» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»); ул. Гагарина, д. 4, г. Тольятти, 445017, Поволжский государственный университет сервиса; телефон (служ.) (8482)48-65-70; E-mail: volovach.vi@mail.ru



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Усатюка Василия Станиславовича на тему «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Повышение объемов хранимой информации требует развития новых технических решений по архивированию электронной информации. Одним из путей решения этой проблемы являются системы голографического архивного хранения данных с кодированием данных при записи и декодированием при воспроизведении. Однако требования к надежности считывания информации достаточно жесткие, так как необходимо обеспечивать при считывании вероятность ошибки на бит не хуже  $10^{-8}$ . Особенностью канала считывания информации голографического носителя является группирование ошибок и высокий уровень вероятности ошибки на бит, примерно  $10^{-2}$ .

Исправить ошибки можно применяя корректирующее кодирование. В середине прошлого века были предложены низкоплотностные коды, а позднее и алгоритмы их мягкого декодирования. Однако при построении кодов не уделялось достаточного внимания учету их дистантных свойств и спектров связности, что усложнило построение низкоплотностных кодов с высокой корректирующей способностью, требуемых в системах голографической памяти.

Повышение эффективности исправления ошибок, возникающих в каналах считывания архивной голографической памяти, за счет построения низкоплотностных кодов, декодируемых с приемлемой аппаратной сложностью, является важной задачей, имеющей теоретическое и практическое значение. Поэтому диссертационная работа Усатюка В.С., направленная на разработку теоретических и реализационных основ построения низкоплотностных кодов, повышающих надежность коррекции ошибок в архивной голографической памяти, представляет научный и практический интерес и является своевременной и актуальной.

Судя по автореферату, выполненная работа имеет четкую логическую структуру и методически верно построена, так как содержит обзор современного состояния в анализируемой проблемной области, формулировку цели исследования, разработку методов и реализующих их алгоритмов, а также специализированного устройства для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти.

В результате решения поставленных в работе задач получен ряд новых научных результатов, основными из которых являются следующие:

1. Предложен метод построения низкоплотных кодов, который обеспечивает получение необходимых дистантных свойств кодов и их спектров связности.

2. Разработан новый метод оценки кодового расстояния, позволяющий ускорить нахождение кодового расстояния. Метод основан на вложении кода в решетку и отличается применением для поиска кратчайших векторов параллельного перебора линейных комбинаций базисных векторов решетки.

3. Разработан аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке, отличающийся этапом распараллеливания вычислений координатных компонент, позволяющий оперативно получить необходимые индексы и ускоряющий поиск.

4. Создано специализированное устройство поиска кратчайшего вектора в решетке, отличающееся использованием регистровых стеков и параллельным выполнением мультипликативных операций в одном временном интервале, позволяющее в подрешетке 512-размерности сократить количество DSP процессоров.

Из автореферата видно, что исследование содержит в необходимом объеме часть, посвященную разработке аппаратно-ориентированного алгоритма поиска кратчайшего вектора в решетке и специализированного устройства, выполняющего этот алгоритм на ПЛИС.

Следует положительно отметить хорошую апробацию работы на многочисленных научных конференциях и публикацию основных результатов в известных рецензируемых научных журналах. Вместе с тем можно отметить и некоторые недостатки, а именно:

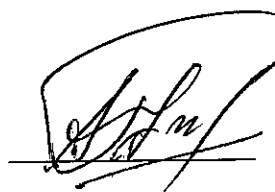
1. Из автореферата следует, что повышение эффективности исправления ошибок низкоплотными кодами ограничено типовой моделью канала с гауссовым шумом. Имело смысл рассмотреть и каналы с замираниями при различных законах распределения их вероятностей.

2. В автореферате не затронут вопрос совместной оптимизации построения низкоплотного кода при мягком декодировании, что дало бы возможность ослабить требования к спектру связности низкоплотного кода.

Отмеченные замечания не затрагивают положений, выносимых на защиту, и не снижают высокий научный уровень диссертационной работы. Автореферат подробно отражает ее сущность и соответствует требованиям ВАК. Считаю, что выполненное исследование является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи,

имеющей существенное значение для развития систем архивной голографической памяти, а автор диссертационной работы, Усатюк Василий Станиславович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Самойлов Александр Георгиевич  
Зам. директора по научной работе Института  
информационных технологий и радиоэлектроники  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых» – (ВлГУ)  
доктор технических наук, профессор  
*Специальность 05.13.05.*  
600000, г. Владимир, Горького, 87, ВлГУ.  
Тел.: +7 (4922) 534 238.  
E-mail: ags@vlsu.ru



/ Самойлов А.Г./  
26.05.2022 г.

Подпись профессора Самойлова А.Г. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета ВлГУ



/ Коннова Т.Г./

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления»

В диссертационной работе В.С. Усатюка разработан метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти, повышающих надежность чтения в канале чтения архивной голографической памяти. Актуальность работы не вызывает сомнений, поскольку применение нового метода, аппаратно-ориентированного алгоритма и специализированного устройства для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти позволит значительно улучшить характеристики накопителей архивной голографической памяти.

Научная новизна диссертации связана с построением низкоплотностных кодов для архивной оптической памяти и включает:

1. Метод построения низкоплотностных кодов, состоящий из двух фаз построения и расширения протографа, отличающийся комбинированием жадного алгоритма запрещенных коэффициентов и стохастического алгоритма отжига, позволяющих улучшить дистантные свойства кодов и их спектры связности для фильтрации кодов кандидатов, обеспечивающий повышение надежности считывания информации в голографической памяти.

2. Метод оценки кодового расстояния, основанный на вложении кода в решетку, отличающийся применением для поиска кратчайших векторов параллельного перебора линейных комбинаций базисных векторов решетки, а также применением на этапе ортогонализации параллельных методов QR-разложения матриц, применением метода ветвей и границ в скользящем окне по подрешеткам  $m$ -размерности, позволяющий ускорить нахождение кодового расстояния.

3. Аппаратно-ориентированный алгоритм поиска кратчайшего вектора в решетке, отличающийся этапом распараллеливания вычисления координатных компонент с использованием зигзагообразного обхода Шнора элементов решетки, позволяющий оперативно получить необходимые индексы и кратчайший вектор.

4. Специализированное устройство поиска кратчайшего вектора в решетке, отличающееся использованием регистровых стеков и параллельным выполнением мультипликативных операций в одном временном интервале, позволяющее в подрешетки  $m$ -размерности сократить количество DSP процессоров в устройстве.

Достоверность результатов диссертации обеспечивается обоснованным и корректным применением положений и методов математического аппарата алгебры и комбинаторики, теории вероятности, теории графов, теории помехоустойчивого кодирования, теории проектирования ЭВМ, а также подтверждается совпадением теоретических выводов с результатами имитационного моделирования.

Представляют практический интерес разработанные автором диссертации принципы структурно-функциональной организации специализированного устройства поиска кратчайшего вектора. Приложение разработанных диссертантом метода, аппаратно-ориентированного алгоритма и специализированного устройства для построения низкоплотностных кодов, подтвержденное актом внедрения в компании ООО «Техкомпания Хуавей», указывает на их востребованность и эффективность.

В качестве недостатков по автореферату необходимо отметить следующие:

- в автореферате не хватает оценки фактора увеличения скорости (эффективности) поиска треппин-сетов, с которой статистика метода выборки по значимости достигнет такой же точности, как и статистика оценки «полки», полученная методом имитационного моделирования.

- в автореферате для оценки штрафной функции решается задача построения ковариационной матрицы нелинейной системы мягкого декодера низкоплотностных кодов при помощи метода «Эволюции Ковариации». Большой интерес имеет возможность его статистической линеаризации на основе модели броуновского движения с параметризацией (например, параболическим дрейфом, квадратичным сдвигом) относительно решения, полученного методом «Эволюции плотностей» при помощи функции Эйри (Airy function).

Однако указанные недостатки не снижают научного и практического уровня диссертационной работы.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа Усатюка Василия Станиславовича является законченной научно-исследовательской квалификационной работой, обладает внутренним единством. В связи с этим следует констатировать, что работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», паспорту научной

специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор Усатюк Василий Станиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

И. о. заведующего кафедрой программного обеспечения и администрирования информационных систем  
ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»,  
кандидат технических наук

К.С. Макаров

Диссертационная работа защищена по специальности 20.02.14 Вооружение и военная техника. Комплексы и системы военного назначения

Подпись к.т.н. Макарова К.С. удостоверяю,  
ученый секретарь ученого совета  
ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»



Т.М. Малыгина

Сведения о лице, подписавшем отзыв (п. 28 «Положения о присуждении ученых степеней»):

Константин Сергеевич Макаров, 305000, г. Курск, ул. Радищева, 33, телефон (служ.): (4712) 70-22-39, e-mail: makarov\_ks@kursksu.ru, Курский государственный университет, и.о. заведующего кафедрой программного обеспечения и администрирования информационных систем

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича  
МЕТОД, АППАРАТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ АЛГОРИТМ И  
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ  
НИЗКОПЛОТНОСТНЫХ КОДОВ АРХИВНОЙ ГОЛОГРАФИЧЕСКОЙ  
ПАМЯТИ

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления»

Помехоустойчивые коды низкой плотности (LDPC-коды) широко используются для обеспечения надежной передачи и хранения данных в информационных системах. Эти коды предполагают невысокую сложность мягкого итеративного декодирования. Зависимость вычислительной трудоемкости декодирования кодов низкой плотности от длины кода при использовании метода «belief propagation» является полиномиальной. Линейная трудоемкость декодирования получается при использовании его аппроксимаций. Чаще всего используют различные варианты «min-sum» декодера. Это обусловило их широкое практическое применение. Низкоплотностные коды применяются в беспроводных (WIFI, 5G eMBB), спутниковых (DVB-S2), оптоволоконных (DWDM) каналах передачи цифровой информации, в накопителях информации на флеш-памяти и архивной голографической памяти. Они получили распространение в спутниковой навигации для передачи навигационных эфемеридных данных навигационной системы Galileo.

Однако, вопросы касающиеся методов построения эффективных низкоплотностных кодов, как правило, являются коммерческой тайной организаций – лидеров отрасли (Samsung, Qualcomm, TrellisWare). Представленные ими коды являются неплохими, но тем не менее в реальных системах теоретических пределов корректирующих возможностей не достигают. Это обуславливает актуальность разработки новых методов построения эффективных низкоплотностных кодов, в том числе и для повышения надежности хранения информации в системах голографической памяти.

В работе Усатюка В.С. предложен метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти. Предложенный диссертантом метод

позволяет построить проверочные матрицы низкоплотных кодов с требуемым уровнем ошибки на бит (BER) в области «полки». Предложенный подход предполагает оцениваемый метод выборки по значимости и наилучший уровень «водопада», который оценивается «методом эволюции ковариации». Для этого оптимизируется спектр связности Таннер-графа при помощи жадного алгоритма запрещенных коэффициентов и имитации отжига. Также улучшаются «дистантные» свойства низкоплотных кодов за счет оценки кодового расстояния методами Геометрии чисел. Для наиболее вычислительно затратной части метода построения кода – оценки кодового расстояния разработан аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. В приложении 4 приведены ссылки на опубликованные исходные коды алгоритмов для предложенного метода построения низкоплотных кодов.

После чтения автореферата можно заключить, что он отражает суть выполненного диссертационного исследования. Полученные диссертантом результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Достоверность выводов диссертации подтверждается наличием публикаций в рецензируемых научных изданиях, тремя международными патентами на изобретения, а также результатами внедрения в ООО «Техкомпания Хуавей».

Приведенный в автореферате патент автора «No. EP3533145 Generation of spatially-coupled quasi-cyclic ldpc codes» имеет прямое отношение к теме диссертации.

Расположение материала в автореферате методически продуманно, автореферат легко читается.

В то же время, следует отметить следующие недостатки:

– автор использует технику вложения Каннана (Kannan embedding techniques) для поиска кодового расстояния двоичного линейного блочного кода, путем вложения порождающей матрицы кода в геометрическую решетку и поиска кратчайшего вектора в ней. Остается открытым вопрос приложения этого метода для поиска кодового расстояния недвоичных помехоустойчивых кодов.

– автором был предложен метод имитации отжига для квазициклического расширения базовых матриц, продемонстрировавший увеличение на порядок



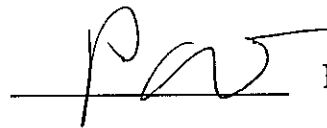
вероятности успешного расширения, по сравнению с ранее предложенными методами. Метод отжига применительно к таким задачам слабо приспособлен к распараллеливанию.

Перечисленные недостатки не отражаются на общей высокой оценке диссертации В.С. Усатюка. Данная работа представляется целостной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи. Диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» и соответствует паспорту научной специальности 05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Главный научный сотрудник

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

доктор физико-математических наук



Рапопорт Лев Борисович

Специальность 01.01.11 Системный анализ и автоматическое управление

Сведения о лице, подписавшем отзыв:

Рапопорт Лев Борисович,


г. Москва, ул. Профсоюзная 65,

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук,

Лаборатория № 16 «Динамики нелинейных процессов управления им. Е.С.

Пятницкого»

Подпись *Рапопорт Лев Борисович*  
ЗАКРЫТО  
ЗЕД. ИФЭНЕР  
ЗАЛОЖЕН: 1



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Усатюка Василия Станиславовича «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления

Устройства внешней оптической памяти ЭВМ, и, в частности, архивная голографическая память, обладают рядом преимуществ, среди которых возможность хранения больших объёмов данных и низкая цена. Однако для них также характерен относительно высокий уровень ошибок в считываемых данных. Для коррекции ошибок в голографической памяти применяется помехоустойчивое кодирование с использованием низкоплотностных кодов, однако используемые в настоящее время коды недостаточно эффективны, их корректирующие способности далеки от теоретических пределов.

Поэтому решаемая в диссертации В.С. Усатюка научно-техническая задача создания метода, аппаратно-ориентированного алгоритма и специализированного устройства, позволяющих построить низкоплотностные коды с более высокой корректирующей способностью, и тем самым обеспечивающих повышение надежности считывания информации в голографической памяти, является актуальной и значимой как в теоретическом, так и в практическом аспектах.

Выносимые на защиту положения и выводы, в целом, удовлетворяют критериям новизны.

Наибольший интерес с теоретической точки зрения представляет предложенный метод построения низкоплотностных кодов, отличающийся комбинированием жадного алгоритма запрещенных коэффициентов и стохастического алгоритма отжига. Это позволило улучшить дистантные свойства кодов и их спектры связности, что в итоге после фильтрации кодов кандидатов дало возможность получить код с лучшей корректирующей способностью.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет разработка аппаратно-ориентированного алгоритма и реализующего его устройства, позволивших ускорить получение оценок кодового расстояния.

Диссертационная работа Усатюка В.С. носит законченный характер, обладает внутренним единством и является перспективной для последующего практического применения.

В то же время при знакомстве с авторефератом были выявлены определенные недостатки:

1. Не указаны методы цифровой обработки сигналов, позволяющие перейти от нелинейной модели канала архивной голографической памяти к АБГШ-каналу.

2. В качестве входных параметров при построении низкоплотностного кода автором не используется минимальная требуемая

пропускная способность декодера и его аппаратная сложность. Использование этих входных параметров при построении помехоустойчивых кодов повысило бы практическую значимость предложенного метода.

Тем не менее, данные недостатки не ставят под сомнение достижение цели работы. Созданный метод, алгоритм и устройство могут быть применены не только при построении новых низкоплотностных кодов для голографической памяти, но и при построении низкоплотностных кодов для различных телекоммуникационных систем.

Диссертационная работа Усатюка В.С. «Метод, аппаратно-ориентированный алгоритм и специализированное устройство для построения низкоплотностных кодов архивной голографической памяти» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а соискатель Усатюк Василий Станиславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления.

Главный научный сотрудник ИППМ  
РАН, доктор технических наук по  
специальности 05.12.04 -  
Радиотехника, в том числе системы и  
устройства телевидения, доцент

Джиган Виктор Иванович



Подпись Джигана В.И. заверяю

*Марьям Викторовна*  
*М.В. Соколова*



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем проектирования в микроэлектронике  
Российской академии наук (ИППМ РАН), 124365 Москва, Зеленоград, ул. Советская, дом 3,  
djigan@ippm.ru, +7-925-008-0903