

УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ФГБОУ ВО

«Ульяновский государственный  
технический университет», к.э.н.

А.П. Пинков

« 3 » сентября 2019 г.



## О Т З Ы В

ведущей организации

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»  
на диссертационную работу Мыцко Евгения Алексеевича «Алгоритмы и  
аппаратная реализация на ПЛИС устройств обнаружения или исправления  
пакетных и независимых ошибок для сообщений короткой длины»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности

05.13.05 – «Элементы и устройства вычислительной техники и систем  
управления»

### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Развитие цифровой экономики выдвигает постоянно растущие требования к системам обмена данными по скорости их обработки и достоверности. Эти факторы непосредственным образом связаны с методами повышения спектральной и энергетической эффективности систем связи за счет применения сложных видов модуляции и средств помехоустойчивого кодирования. Наряду с этим, продолжаются поиски эффективных алгоритмов декодирования данных, обеспечивающих полное использование введенной в помехоустойчивый код избыточности. Особенно актуальным это становится для приложений, использующих короткие коды для защиты команд управления и сообщений в системах реального времени при дистанционном управлении робототехникой, беспилотными средствами и в системе обработки данных на базе современных микропроцессоров. Развитие методов многопорогового декодирования, методов турбокодирования с использованием итеративных преобразований данных, совершенствование систем на базе кодов с малой плотностью проверок на четность и систем с многомерным кодированием по объективным причинам не могут отвечать указанным требованиям. Поэтому с развитием указанных направлений защиты данных от ошибок возникла необходимость применения помехоустойчивых кодов в системах управления, которые объективно требуют использования коротких кодовых конструкций. Во многом такой подход определяется требованиями к длительности цикла управления разнообразных беспилотных средств, роботизированных автономных систем, возможностями защиты данных от перехвата управления беспилотными системами, развитием

интеллектуальных транспортных и многочисленных технологических систем подобного типа в разнородных предметных областях. Методы обработки помехоустойчивых кодов в таких системах призваны повысить эффективность их телекоммуникационной составляющей, которая непосредственным образом влияет на результативность информационно-управляющего комплекса в целом. В этой связи диссертационная работа Е.А. Мыцко, направленная на решение задачи поиска и разработка эффективных алгоритмов, программ и устройств обнаружения и исправления пакетных или независимых ошибок при передаче и хранении данных с информационным сообщением короткой длины представляется актуальной и своевременной. Это объясняется тем, что в системах управления с защитой передаваемых данных от ошибок (как и в системах хранения данных) модули обнаружения и исправления ошибок являются вспомогательными, а основные ресурсы памяти и вычислительные мощности устройств используются для решения задач согласно прямому назначению системы. Принципиально для достижения поставленной цели необходима многокритериальная оптимизация по параметрам относительной скорости кода, сложности реализации кодеков с учетом архитектуры используемых микропроцессорных элементов (в частности ПЛИС) и объема памяти. По сути автор работы решает следующие научные задачи:

- проводит анализ существующих способов и алгоритмов обнаружения и исправления ошибок, применяемых в устройствах передачи и хранения данных, оценивая их достоинства и недостатки;

- разрабатывает и реализует алгоритм на микроконтроллере и ПЛИС, сравнивая его с известными алгоритмами и решениями;

- разрабатывает устройства исправления независимых ошибок на ПЛИС с использованием известных циклических помехоустойчивых кодов короткой длины и предложенного помехоустойчивого кода, построенного на основе результатов поиска образующего полинома, для сравнения быстродействия и аппаратных затрат этого устройства с известными аналогами;

- осуществляет поиск образующих полиномов для построения циклических кодов, исправляющих пакетные ошибки.

## **2. Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации и их достоверность**

Сравнительный анализ результатов диссертации с известными данными других авторов позволил выделить ряд технических решений, характеризующиеся научной новизной.

1. Матричный алгоритм вычисления контрольной суммы циклических избыточных кодов, отличающийся от известных подобных алгоритмов более высоким быстродействием при реализации на ПЛИС и меньшим требуемым объемом памяти при его программной реализации.

2. Алгоритм поиска образующих полиномов, адаптированный для параллельных вычислений и отличающийся от известных тем, что позволяет получать полиномы более короткой длины для построения циклических помехоустойчивых кодов, более эффективных с точки зрения относительной

скорости кода, чем коды БЧХ.

3. Предложенные быстродействующие декодирующие устройства на основе циклического помехоустойчивого кода (17, 9, 5) с меньшими аппаратными затратами, чем устройства на основе близкого ему по параметрам укороченного кода БЧХ (19, 9, 5).

4. Предложена модификация циклического алгоритма декодирования с применением образующих полиномов, полученных с помощью предложенной в работе программы их поиска, позволившая исправлять пакетные ошибки для циклических помехоустойчивых кодов без ограничения длины кодового слова.

Таким образом, диссертационная работа содержит важные научные результаты по заявленной специальности: 05.13.05 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления (пункты 1 и 4 паспорта специальности).

Достоверность полученных в работе теоретических результатов подтверждается использованием общепринятых методов и методик оценки возможностей блоковых избыточных кодов в системах вычислительной техники, а также обоснованностью и выверенностью предложенных алгоритмов, программ и аппаратных реализаций декодеров подтвержденных результатами экспериментальных исследований на базе компьютерного моделирования в САПР Quartus II и серией публикаций основных научных результатов работы в ведущих российских изданиях и трудах зарубежных конференций.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных и научно-практических конференциях: Международная научно-практическая конференция «Молодежь и современные информационные технологии» (г. Томск, 2012 – 2017 гг.), Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Современные техника и технологии» (г. Томск, 2012, 2014 гг.), 9-й Международный Форум по Стратегическим Технологиям 2014, IFOST- 2014 (г. Дакка, Бангладеш, 2014 г.), XII Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи, SIBCON-2016 (г. Москва, 2016 г.), III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине» (г. Томск, 2016 г.), 55-ой Международная научная студенческая конференция МНСК-2017, (г. Новосибирск, 2017 г), Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященная 55-летию ТУСУРа, «Научная сессия ТУСУР-2017» (г. Томск, 2017 г.), III Всероссийский молодежный научный форум «Наука будущего – наука молодых», (г. Нижний Новгород, 2017 г), Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации», (г. Новосибирск, 2017 г), VIII Международная научно-практическая конференция «Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии в научных исследованиях, автоматизации управления и производства», ВВСТ– 2018 (г. Барнаул, 2018 г.).

Результаты диссертационной работы были отмечены медалью Российской академии наук в области информатики, вычислительной техники и автоматизации за научно-исследовательскую работу «Исследования матричного алгоритма

вычисления контрольной суммы CRC и его аппаратная реализация» по итогам конкурса 2014 г (постановление Президиума РАН № 24 от 17.02.2015 г.).

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 6 статьях рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК РФ. Четыре публикации индексированы в Международной базе данных SCOPUS (Conference paper) и 6 публикаций – в Web of Science (Conference paper). Автором работы получено 4 свидетельства о регистрации соответствующих теме исследования программ для ЭВМ.

### **3. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов.**

Полученные алгоритмы, программы и аппаратные модули на ПЛИС применены в системе управления электрофизической установки Токамак КТМ (Национальный ядерный центр, Республика Казахстан, г. Курчатов), в том числе разработанное устройство на ПЛИС для исправления пакетных ошибок длиной до 3 бит при длине сообщения 8 бит с модулем вычисления CRC8 в системе передачи команд от центрального блока подсистемы синхронизации к локальным модулям синхронизации.

Отдельные результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе НИ ТПУ в дисциплинах «Микропроцессоры и микроконтроллеры», «Программирование на языках описания аппаратуры».

Значимость для науки и производства результатов диссертационного исследования, а также их достоверность подтверждается возможностями практического их использования на ведущих предприятиях радиотехнического комплекса: АО «Концерн «Созвездие» (г. Воронеж), ОАО «Электросигнал» (г. Воронеж), АО «НВП «ПРОТЕК» (г. Воронеж), АО «ИРКОС» (г. Москва), АО «Воронежское центральное конструкторское бюро «Полус» (г. Воронеж), ФНПЦ АО «НПО «Марс» (г. Ульяновск), «Концерн «Полет» (г. Нижний Новгород).

Полученные основные результаты диссертации подтверждаются публикациями в научных изданиях. Диссертация написана ясным и лаконичным языком, является законченным трудом с хорошей структурой и изложением материала. Оформление диссертации в достаточной степени соответствует предъявляемым требованиям. Основные научные результаты достаточно полно отражены в публикациях, в том числе и по перечню ВАК. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Повышенный объем диссертационной работы объясняется большим количеством таблиц, позволяющим объективно представить полученные в ходе исследований научные результаты.

### **4. Рекомендации по использованию полученных в работе результатов.**

Результаты диссертационной работы рекомендуется к использованию при проектировании современных высокопроизводительных систем управления, при решении задач проектирования и модернизации радиотехнических систем и комплексов. Материалы диссертации рекомендуется также использовать в учебном процессе ВУЗов страны при преподавании таких дисциплин как «Основы

конструирования электронных средств», «Математическое моделирование при проектировании электронных средств», «Моделирование и вычисления на ЭВМ», «Основы корректирующего кодирования» и др.

Практическая значимость работы подтверждается результатами внедрения отдельных положений, выводов и технических решений при проведении работ в интересах соответствующих организаций.

## 5. Замечания по работе

1. В ряде разделов работы автор безосновательно заменяет общепринятые обозначения и термины, используемые в теории помехоустойчивого кодирования, на иные. Например, вводится понятие *«высокой эффективности – как лучшее отношение полезной информации к избыточной»* (с. 10 диссертации). В последующем автор не указывает вкладывает ли он в это понятие повторы данных, сигналы синхронизации или какие-либо служебные команды. По контексту становится ясным, что по сути имеется ввиду только отношение числа информационных разрядов к общему числу символов в кодовом векторе, что в теории помехоустойчивого кодирования трактуется как «относительная скорость кода» или просто «скорость кода». При этом термин «эффективность» используется применительно к коду всего один раз на с. 88.

2. Не оправдана замена общепринятого обозначения числа информационных разрядов  $k$  на обозначение  $m$ . Это затрудняет чтение диссертации и автореферата особенно при анализе математических выражений, нумерация которых в тексте диссертации выполнена с нарушением установленных правил их выравнивания по правому краю рукописи, а отказ автора от специфических редакторов математических формул не лучшим образом отражается на общем представлении работы.

3. Говоря о длинах кодов БЧХ в выражении  $n = 2^h - 1$  на сс. 38 и 89 диссертации, автор допускает ошибку, утверждая, что параметр  $h$  является *«любым целым числом»*. Этот параметр может быть только положительным целым числом, по сути любым натуральным числом (У. Питерсон, Р. Морелос-Сарагоса).

4. Названия всех таблиц в диссертации ошибочно отформатированы по правому краю, что является нарушением установленных правил представления названий таблиц диссертации. Названия таблиц предписано форматировать по левому краю.

5. Справедливости ради на рисунке 1.1 (с.22 диссертации) в классификации избыточных кодов необходимо было указать коды с малой плотность проверки на четность, полярные коды и выделить класс комбинированных систем кодирования.

Указанные недостатки носят в основном редакционный характер и не влияют на значимость полученных в диссертационной работе практических результатов.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным положением о присуждении ученых степеней**

Диссертация Е.А. Мыцко является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи программно-аппаратной реализации оптимального алгоритма обработки комбинаций двоичных кодов.

Результаты исследований апробированы на достаточном количестве научных конференций. Основные результаты диссертационной работы в требуемом объеме отражены в опубликованных автором научных трудах, в том числе – в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК. Уровень и объем публикаций соответствует требованиям п.11 и п.13 Положения.

Автореферат диссертации полно отражает ее содержание и соответствует требованиям п.25 Положения. Поэтому считаем, что работа Е.А. Мыцко удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертантам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», а ее автор Мыцко Евгений Алексеевич заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук.

Отзыв составлен на основании обсуждения диссертации и положительного заключения кафедры «Телекоммуникации» УлГТУ протокол № 7 от 29 августа 2019 г. Присутствовало 10 человек. Решение принято единогласно.

Заведующий кафедрой к.т.н. доцент

В.Е. Дементьев

Профессор кафедры д.т.н. профессор

А.А. Гладких

Секретарь

И.В. Косихина

432027, г. Ульяновск, ул. Северный венец, д. 32

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет»

тел. 8 (8422) 43-06-37, E-mail: [rector@ulstu.ru](mailto:rector@ulstu.ru)

факс: 8 (8422) 43-06-43, сайт: <http://ulstu.ru>