



УТВЕРЖДАЮ:
проректор по научной работе МИЭТ

к.т.н., доцент

А.А. Дронов

« 26 » марта 20 26 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

Диссертация Карпова Вадима Николаевича на соискание ученой степени кандидата технических наук «Способ сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах с аналого-информационным преобразователем» выполнена в Институте Микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина (Институте МПСУ) Национального исследовательского университета «МИЭТ».

В период подготовки диссертации соискатель Карпов Вадим Николаевич обучался в аспирантуре.

Соискателем успешно сданы все кандидатские экзамены по направлению 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические системы).

Удостоверение (справка) о сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2026 году в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Научный руководитель - Лялин Константин Сергеевич кандидат физико-математических наук, заместитель директора Института МПСУ Национального исследовательского университета «МИЭТ»

В Институт МПСУ представлена диссертация и на заседании института был заслушан доклад Карпова Вадима Николаевича по теме диссертации. По докладу и представленным научно-техническим материалам были заданы вопросы. На заданные вопросы Карпов Вадим Николаевич дал ответы, свидетельствующие о высоком уровне его научной квалификации и подтверждающие соответствие работы предъявляемым требованиям.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Максимальная частота дискретизации современных представленных на рынке аналого-цифровых преобразователей (АЦП) ограничивает максимальную полосу пропускания сигналов, которые могут быть оцифрованы на приемниках

многоканальных радиосистем, что не позволяет добиться хорошей разрешающей способности таких систем. Также количество выборок, которые могут быть получены при очень высоких частотах дискретизации, поднимает серьезную проблему емкости памяти и увеличивает вычислительную мощность, необходимую для блоков цифровой обработки. Рост этих трех факторов (частота дискретизации, объем памяти и вычислительная мощность) увеличивает сложность и стоимость систем, обрабатывающих аналоговые сигналы в цифровом виде.

Одним из вариантов решений данной проблемы является метод обработки сигналов, который состоит в уменьшении частоты дискретизации аналогово-цифрового преобразования путем сжатия сигнала на этапе сбора данных. Такой подход получил название сжатая дискретизация или сжатое считывание.

Когда сигнальная среда относительно разрежена, то информация из сигнала может быть получена с помощью гораздо меньшего количества дискретов, чем этого требуют традиционные критерии Котельникова/Найквиста, при условии, что сигнал имеет разреженное (или почти разреженное) представление в некотором базисе. Одним из наиболее удивительных аспектов сжатой дискретизации является то, что для сжатия не требуются априорные знания о сигнале, кроме базового предположения о разреженности или сжимаемости сигнала.

Устройства, работа которых основана на теории сжатой дискретизации, именуется как аналогово-информационные преобразователи (АИП). АИП — это устройство, которое принимает на вход аналоговый сигнал и, в отличие от традиционных АЦП, выдает на выходе оцифрованную и сжатую версию входного сигнала. Ключевое отличие по сравнению со сжатием цифровых данных заключается в том, что в аналого-информационном преобразователе сигналы сжимаются во время оцифровки, а не после нее. Таким образом, частота дискретизации и потребность в памяти могут быть уменьшены одновременно и без потери полезной информации.

Таким образом, настоящая диссертационная работа посвящена **решению актуальной научной задачи**, заключающейся в разработке и исследовании способа сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах на основе аналого-информационного преобразователя, обеспечивающего снижение частоты дискретизации и информационного потока при сохранении возможности точного восстановления исходных сигналов.

Цель работы: разработка и исследование способа аналого-информационного преобразования в многоканальных радиосистемах

Основные научные задачи исследования:

1. Анализ современных методов и способов сжатого считывания данных.
2. Разработка методики оценки степени разреженности сигналов для применения теории сжатой дискретизации.
3. Исследование и разработка способа сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах с АИП.
4. Исследование взаимного влияния параметров реальных радиосистем и параметров работы способа обработки сигналов с АИП.
5. Экспериментальная апробация способа и оценка качества работы АИП.

Методы исследований. Для решения поставленных задач в работе используются методы математического моделирования, известные методы частотного и временного анализа сигналов. Проводились лабораторные и экспериментальные исследования.

Научная новизна работы заключается в том, что:

1. Предложена новая методика сокращения информационного потока в приемных каналах многоканальных радиотехнических систем, за счет применения теории сжатой дискретизации.
2. Впервые разработан способ сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах с аналого-информационным преобразователем, позволяющий оцифровывать входной сигнал с частотой дискретизации меньшей, чем этого требуют традиционные подходы, основанные на критерии Котельникова/Найквиста.
3. Предложены технические основы проектирования многоканальных радиосистем с аналого-информационным преобразователем на основе разработанного способа в части системного проектирования.
4. Разработан прототип аналого-информационного преобразователя для многоканальной радиосистемы на основе разработанного способа.

Достоверность основных положений и выводов, выносимых на защиту, подтверждается использованием общеизвестного математического аппарата, математическим моделированием и экспериментальной отработкой.

Практическая значимость исследования

Проведенные исследования показали, что разработанный способ сжатия сигналов с аналого-информационным преобразователем может применяться в разработках новых многоканальных радиосистем, в том числе FMCW датчиков, систем структурного мониторинга и когнитивного радио. Использование данного

способа позволяет снизить частоту дискретизации АЦП в 4 раза по сравнению с классическим критерием Котельникова/Найквиста, что существенно упрощает аппаратную часть аналого-цифрового тракта, снижает требования к производительности АЦП и уменьшает энергопотребление. Так, для реализации рабочей полосы частот входного сигнала до 2 МГц при традиционной схеме необходимо применять АЦП с частотой дискретизации не менее 4 МГц и разрядностью 10–12 бит, что требует использования дорогостоящих высокоскоростных преобразователей и сложных антиалиасинговых фильтров. Применение предложенного способа снижает требуемую частоту дискретизации до 1 МГц и разрядность до 8 бит, что позволяет применять более доступные и энергоэффективные компоненты, снижая себестоимость модуля обработки сигналов ориентировочно в 5–8 раз. В многоканальных конфигурациях, например, в 16-канальной FMCW ММО-системе, суммарный информационный поток сокращается с 4,46 Гбит/с до 1,115 Гбит/с (более чем в 4 раза), что пропорционально уменьшает требования к памяти и вычислительным ресурсам. Кроме того, разработанный способ может быть использован в беспроводных сенсорных сетях интернета вещей для снижения энергопотребления и увеличения срока автономной работы устройств.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Института микроприборов и систем управления имени Л.Н. Преснухина «МИЭТ» при проведении занятий по курсу «Цифровая обработка сигналов», а также использованы в ООО «Квантум-ЦТ» при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Положения, выносимые на защиту

1. Разработанная методика оценки степени разреженности сигналов для систем сжатой дискретизации, позволяет установить предельную разреженность, равную 2%, для архитектуры случайного демодулятора при четырехкратном снижении частоты дискретизации.
2. Разработанный способ сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах на основе аналого-информационного преобразователя обеспечивает уменьшение информационного потока от АЦП к вычислителю не менее чем в 4 раза без потери точности восстановления исходных сигналов.
3. Проведенный комплексный анализ влияния дестабилизирующих факторов радиосистем, приближенных к реальным, уточнил предельную разреженность входных сигналов до 1,85%.

4. Натурные испытания разработанного способа на созданном прототипе АИП показали, что при четырехкратном снижении частоты дискретизации уровень паразитных гармоник в восстановленном спектре не превышает -20 дБ относительно полезного сигнала.

Апробация результатов работы. Результаты работы доложены на девяти научно-технических конференциях: 2023 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT); XXV Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (ПТиТТ-2023); 2024 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT); 31-й Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов «Микроэлектроника и информатика – 2024»; XXVI международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологий телекоммуникаций» (ПТиТТ-2024); 10-й Научной конференции «ЭКБ и микроэлектронные модули». Российский форум «Микроэлектроника 2024»; XXXI Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC*2025); 11-я Научной конференции «ЭКБ и микроэлектронные модули». Российский форум «Микроэлектроника 2025»; XXVII Международной научно-технической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций» (ПТиТТ 2025).

Публикации. Основное содержание работы представлено в 11 научных публикациях, в том числе 2 статьи в научных журналах, входящих в Перечень ВАК, 2 публикации, в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных Scopus и Web of Science, и 1 патент на изобретение.

Личный вклад автора. Основные научные результаты диссертационной работы получены автором лично. Выполнен анализ методов сжатой дискретизации, обоснован выбор архитектуры случайного демодулятора, разработана методика оценки степени разреженности сигналов. Автором предложен и теоретически обоснован способ сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах с аналого-информационным преобразователем, на основе математического моделирования и комплексных исследований влияния реальных факторов, уточнены требования к параметрам тракта радиосистем и предельная разреженность входных сигналов. Автором предложен и экспериментально апробирован прототип аналого-информационного преобразователя, подтвердивший работоспособность разработанного способа при четырехкратном снижении частоты дискретизации.

Соответствие диссертации научной специальности. Диссертация соответствует специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения (технические системы). Представленные результаты соответствуют паспорту специальности: п. 1 «Исследование процессов и явлений

позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств и систем», п. 10 «Разработка и исследование методов и устройств передачи, приема, обработки, отображения, регистрации, хранения и распространения информации, включая беспроводные, космические, эфирные, кабельные и мобильные системы передачи информации» и п. 16 «Разработка научных и технических основ проектирования, конструирования, технологии производства, испытания и сертификации радиотехнических и телевизионных устройств и систем, включая черно-белые, цветные, спектрональные, инфракрасные, терагерцовые и многоракурсные телевизионные системы, пассивные и активные системы объемного телевидения».

Совокупная оценка содержания представленной диссертации, научных достижений автора, публикаций и результатов внедрения позволяет сделать вывод о том, что автор диссертационной работы является зрелым научным работником, способным самостоятельно вести научные исследования.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842. Текст диссертации представляет собой самостоятельную научно-квалификационную работу, не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования.

Диссертация Карпова Вадима Николаевича «Способ сжатия сигналов в многоканальных радиосистемах с аналого-информационным преобразователем» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Заключение принято на заседании ученого совета Института МПСУ

Присутствовало на заседании 16 чел.

Результаты голосования: "за" - 16 чел., "против" - 16 чел., "воздержалось" - 0 чел., протокол № 5/1 от "25" марта 2026 г.

И. о. директора Института
МПСУ, к.т.н



Д.В. Калеев

Ученый секретарь Института
МПСУ, д.т.н., доцент



М.П. Кочетков