

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 14 июня 2023 г. № 6

О присуждении Токарю Михаилу Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Дифференциальный метод передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 12 апреля 2023 года, протокол № 3 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Токарь Михаил Сергеевич, 25 августа 1984 года рождения, работает старшим преподавателем в государственном образовательном учреждении «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко», Министерство просвещения Приднестровской Молдавской Республики. В 2008 году соискатель окончил Одесскую национальную академию связи им. А.С. Попова и получил квалификацию магистра радиосвязи. С 2013 г. по 2017 г. являлся аспирантом государственного образовательного учреждения «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко».

Диссертация выполнена на кафедре проектирования и производства электронно-вычислительных средств федерального государственного бюджетного

образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный технологический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Рябов Игорь Владимирович, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет», кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств, профессор кафедры.

Оппоненты: 1. Файзуллин Рашид Робертович, доктор технических наук, доцент, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», кафедра нанотехнологий в электронике, заведующий кафедрой; 2. Горячкин Олег Валерьевич, доктор технических наук, профессор, основное место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», проректор по научной работе, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, в своем положительном заключении, подписанном Паршиным Юрием Николаевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой радиотехнических устройств, утвержденном Гусевым Сергеем Игоревичем, доктором технических наук, профессором, проректором по научной работе и инновациям, указала, что диссертация «Дифференциальный метод передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием» является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи повышения эффективности систем передачи информации путем разработки метода и алгоритмов дифференциального пространственно-временного кодирования в

условиях быстро изменяющихся параметров сигнала, имеющих существенное значение для систем и устройств телекоммуникаций. Предложенные методы и алгоритмы могут быть применены при создании перспективных стандартов систем радиосвязи, для передачи информации по каналам передачи служебной информации с низким отношением сигнал/шум и в условиях быстро меняющихся параметров канала связи ввиду высокой скорости перемещения мобильных станций. Основные результаты и выводы, полученные в диссертационной работе, могут быть рекомендованы к использованию в процессе обучения специальностям, которые связаны с высокоэффективными системами передачи информации. Диссертация написана ясным языком, каждая глава содержит конкретные выводы, что облегчает понимание материала. Поставленные в работе цели соответствуют полученным результатам. Все основные результаты диссертации опубликованы. Результаты работы и разработанные методики апробированы на российских и международных конференциях. Автореферат правильно отображает содержание диссертации. Работа соответствует критериям, предъявляемым в отношении кандидатских/докторских диссертаций, которые установлены пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842), а её автор Токарь Михаил Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 4, в том числе 3 по искомой специальности, а также: 2 работы в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 2 результата интеллектуальной деятельности; 9 статей в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 4 работ опубликовано соискателем без соавторства. Общий объём авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 13 печ.л. из общего количества 13,5 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Токарь, М.С. Алгоритм декодирования низкой сложности для систем передачи дифференциального пространственно-временного блочного кодирования / М.С. Токарь // Радиотехника. – 2021. – № 4. – С. 89-98.

2. Токарь, М.С. Слепая кадровая синхронизация в системе передачи с дифференциальным пространственно-временным блочным кодированием / М.С. Токарь, И.В. Рябов // Радиотехника. – 2021. – № 4. – С. 99-107.

3. Токарь, М.С. Дифференциальные пространственно-временные блочные коды для современных систем многоантенной радиосвязи / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Электросвязь. – 2017. – № 4. – С. 39-45.

4. Токарь, М.С. Метод дифференциального пространственно-временного блочного кодирования для применения в системах подвижной радиосвязи с использованием технологии MIMO / М.С. Токарь, И.В. Рябов // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. – 2021. – № 6.

Публикации в изданиях, индексируемых в МБЦ:

5. Tokar, M.S. Development of blind frame synchronization for transfer system with differential space-time block coding / M.S. Tokar // Technology audit and production reserves. – 2020. – Vol. 1, no 2(51), – P. 30-34.

6. Tokar, M.S. Development of a differential block coding method for application in mobile radio communication systems using MIMO systems / M.S. Tokar // Technology audit and production reserves. – 2019. – Vol. 4, no 2(48), – P. 28-33.

Результаты интеллектуальной деятельности:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660124 Российская Федерация. Программа дифференциального метода передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием (кодер - декодер) / М.С. Токарь, И.В. Рябов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». – № 2021619300; заявл. 15.07.2021 г.; опубл. 22.07.2021. – 1 с.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660125 Российская Федерация. Программа алгоритма “слепой” кадровой синхронизации декодера сигнала дифференциального пространственно-временного блочного кода / М.С. Токарь, И.В. Рябов; правообладатель ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». – № 2021619304; заявл. 15.07.2021 г.; опубл. 22.07.2021. – 1 с.

Публикации в других изданиях:

9. Токарь, М.С. Дифференциальный метод блочного кодирования для применения в системах ММО / М.С. Токарь // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2018. – № 1. – С. 147-159.

10. Токарь, М.С. Дифференциальные пространственно-временные блочные коды в современных системах многоантенной радиосвязи / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Цифрові технології. – 2016. – № 19. – С. 54-64.

11. Tokar, M.S. Differential space-time block codes in modern system of multi-antenna radiocommunication / M.S. Tokar, A.L. Makarevich // Digest of articles Materials Science and Condensed Matter Physics 2016 – Kishinev, 2016. – pp. 277.

12. Токарь, М.С. Дифференциальные пространственно-временные блочные коды в современных системах многоантенной радиосвязи / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Сборник трудов Международной конференции «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» «СИНХРОИНФО 2016» – Самара, 2016. – С. 205-208.

13. Токарь, М.С. Эффективные методы передачи информации для многоантенных радиосистем / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Вестник Приднестровского университета. – 2015. – № 3. – С. 59-68.

14. Токарь, М.С. Анализ эффективных алгоритмов передачи информации для многоантенных радиосистем / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Материалы 5-й Международной конференции «Telecommunications, Electronics and Informatics» – Кишинев, 2015. – С. 50-55.

15. Токарь, М.С. Анализ эффективных методов передачи информации для многоантенных радиосистем / М.С. Токарь, А.Л. Макаревич // Сборник трудов

Международной конференции «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов в инфокоммуникациях» «СИНХРОИНФО 2015» – Санкт-Петербург, 2015. – С. 188-190.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: официального оппонента Файзуллина Р.Р.; официального оппонента Горячкина О.В.; ведущей организации ФГБОУ ВО «РГРТУ»; Белова Л.А., к.т.н., проф., профессора кафедры формирования и обработки радиосигналов Института радиотехники и электроники Национального исследовательского университета «МЭИ»; Кузнецова И.В., д.т.н., проф., профессора кафедры телекоммуникационных систем и Воронкова Г.С., к.т.н., доц., доцента кафедры телекоммуникационных систем Уфимского государственного авиационного технического университета; Говоруна И.В., к.т.н., научного сотрудника лаборатории Научного приборостроения Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН; Джигана В.И., д.т.н., доц., главного научного сотрудника Института проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук; Карпова А.В., д.ф.-м.н., проф., профессора кафедры радиофизики Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета; Малыгина И.В., к.т.н., доц., доцента Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина; Радченко Ю.С., д.ф.-м.н., проф., профессора кафедры радиофизики Воронежского государственного университета; Салищева С.И., к.ф.-м.н., ведущего инженера ООО «Стереодометр»; Ямпурина Н.П., д.т.н., проф., профессора кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств Арзамасского политехнического института (филиала) Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева.

Все отзывы положительные, но имеются следующие критические замечания. Свойства матрицы канальных коэффициентов могут существенно влиять на выбор алгоритма пространственного кодирования. Поэтому для определения области эффективного применения предложенного алгоритма пространственного

кодирования целесообразно было бы провести анализ эффективности для более широкого класса каналов, а не только для релейского независимого канала, как это выполнено в диссертации. В автореферате и в диссертации неверно сформулирована новизна полученных результатов: в действительности указана не новизна, а положительный эффект. Для описания новизны необходимо указать существенные отличия предлагаемых методов и алгоритмов от известных конкурентоспособных методов и алгоритмов. В том числе указать отличительные признаки по сравнению с известными ([25], «Space-Time block codes from orthogonal designs» V. Tarokh, H. Jafarkhani, A. Calderbank, «A Differential Detection Scheme for Transmit Diversity» Vahid Tarokh, Hamid Jafarkhani, и др.). В диссертации рассматриваются только сигналы с фазовой модуляцией (QPSK, PSK-8), что ограничивает область применения полученных результатов в системах с более эффективными видами модуляции (QAM, OFDM и др.). Трудно без оговорок согласиться с утверждением (стр. 6), что применение пилот-сигналов в системах связи, использующих технологию MIMO является нецелесообразным, а использование фазоразностной модуляции является альтернативой в развитии систем связи; В тексте диссертации не конкретизирована область применения разработанных методов и алгоритмов в контексте специфики современных и перспективных систем и сетей связи. В разделе 2.6 предлагается метод матричного декодирования, уменьшающий вычислительные затраты путем округления комплексных отсчетов и использования таблицы адресов. Подобный прием часто используют в различных вычислениях, поэтому предлагаемый метод декодирования, на мой взгляд, лучше называть табличным. Автор констатирует, что метод ДПВБК может работать при высокой относительной скорости перемещения абонента. Но в работе отсутствуют оценки максимальной скорости (при соответствующих исходных данных), при которой разработанный метод применим. Недостаточно полно изложен механизм формирования таблицы состояния кодера метода ДПВБК для различных вариантов количества передающих антенн и позиционности модуляции L-PSK. Приводятся результаты моделирования разработанных методов и алгоритмов для случая полного

разнесения между собой антенн передатчика и приемника. При этом, не отмечается как изменятся полученные результаты при наличии корреляции между антеннами. В работе не рассмотрены ограничения метода ДПВБК, связанные с растяжением или сжатием сигналов во времени, обусловленные эффектом Доплера. Для более четкого понимания и обозначения результатов работы, необходимо было дополнить раздел 4 сравнением вероятности срыва кадровой синхронизации (рис. 4.1, 4.2) и вероятности битовой ошибки (рис. 4.7, 4.8) при одинаковых исходных данных. В дополнение к косвенным методам оценки эффективности, приведенным в автореферате, желательно использовать методы количественной оценки энергетической эффективности разработанного ПВБК. Было бы интересно увидеть сравнение эффективности предложенного метода с существующими, например, с нелинейным МП-приемником, а также с приемниками ZF и МСКО, при применении традиционных способов ПВБК без обратной связи. Не обозначены условия проведения имитационного моделирования разработанных методов и алгоритмов. Не конкретизировано значение вероятности ошибки, относительно которого производилось сравнение энергетического выигрыша для метода кодирования и алгоритма кадровой синхронизации. Основные результаты получены при помощи средств моделирования MATLAB без практической проверки возможности их использования в системах подвижной связи. В описании второй главы диссертации не указаны критерии применимости разработанного дифференциального метода кодирования при условии наличия эффекта Доплера. В описании четвертой главы диссертации не указано с каким алгоритмом кадровой синхронизации проводилось сравнение разработанного алгоритма слепой кадровой синхронизации (табл. 4 и табл. 5). В работе представлены численные оценки лишь для случая идеального разнесения всех передающих и приемных антенн. Представляет интерес, насколько ухудшается производительность разработанных кодеков и методов синхронизации при наличии остаточной корреляции между антенными каналами. Разработанный алгоритм слепой кадровой синхронизации не устойчив к сдвигам на четное количество блоков. Оценки вероятности подобных событий в работе не представлены. В описании главы второй диссертации

недостаточно прозрачно изложен механизм расчета дифференциальных коэффициентов R_1, R_2, \dots, R_i . Отсутствует структурная схема либо пояснения работы предлагаемого алгоритма матричного декодирования. Рассмотрен ограниченный набор случаев, не исследован вопрос построения универсального алгоритма для произвольного числа M, N . О новизне метода передачи дифференциального ПБПК (стр. 5) можно говорить лишь при наличии правоустанавливающего документа (патента на способ или устройство), но его, похоже, пока нет, поэтому лучше говорить только о его научной новизне.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью и значимой позицией в научных кругах крупнейших специалистов в области сетей и систем связи, в том числе в областях, связанных с профилем диссертационной работы, а также значительным числом публикаций в рецензируемых научных изданиях по тематике диссертационного исследования.

Так официальный оппонент д.т.н., профессор Горячкин О.В. специалист в области разработок алгоритмов подавления межканальных и межсимвольных помех в системах 5G, 6G, совмещением систем зондирования и связи, а также в области слепой обработки сигналов на основе полиномиальных представлений. Файзуллин Р.Р., д.т.н., профессора кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем, заведующий кафедрой нанотехнологий в электронике, специалист в области математического моделирования задач повышения помехоустойчивости и спектральной эффективности систем связи с подвижными объектами в негауссовских каналах в условиях воздействия внутрисистемных помех множественного доступа, а также в области моделирования сетевых процессов в информационных системах.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина» является ведущей организацией в компетенциях, связанных, в том числе, с моделированием сетей связи, многоканальными, пространственно распределенными радиосистемами, пространственно-временной и адаптивной обработкой сигналов (Паршин Ю.Н., Шумов А.П., Клочко В.К.). Заведующий

кафедрой радиотехнических устройств Паршин Ю.Н. является ведущим специалистом в области радиотехнических систем и устройств.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований поставленная цель достигнута, в частности: разработаны метод дифференциального пространственно-временного блочного кодирования, отличающийся от известных дифференциальных методов тем, что позволяет увеличить энергетическую эффективность и снизить вычислительную сложность; алгоритм матричного декодирования для систем связи с последовательной и параллельной передачей информации, в отличие от известных алгоритмов имеющий меньшую вычислительную сложность, при этом, не зависящую от объема канального алфавита; алгоритм «слепой» кадровой синхронизации, отличающийся от известных алгоритмов кадровой синхронизации систем ПВБК тем, что обеспечивает снижение времени вхождения в синхронизм и вычислительной сложности; **предложены** нетрадиционный подход для цели обеспечения декодирования принимаемых символов, который был заложен в разработанный алгоритм матричного декодирования; принцип, позволяющий, за счёт когерентного накопления, принимать решение по отслеживанию и корректировке кадрового окна для цели обеспечения кадровой синхронизации; **доказана** перспективность использования новых идей, которые могут быть применимы при создании перспективных стандартов систем радиосвязи, в том числе для передачи информации по каналам передачи служебной информации с низким отношением сигнал/шум и в условиях быстро меняющихся параметров канала связи ввиду высокой скорости перемещения мобильных станций; **введены** правило дифференциального кодирования, обеспечивающее расчёт значений дифференциальных символов, на основании которых формируются матрицы передачи (канальные матрицы), а также новые методы, позволяющие декодировать сигналы при минимальных вычислительных затратах и отслеживать кадровую синхронизацию.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказана эффективность применения разработанных методов и алгоритмов с точки зрения

повышения помехоустойчивости и сокращения вычислительных затрат на реализацию; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы статистической радиотехники, теории математической статистики, теории матриц и имитационного математического; **изложены** основные положения новых разработанных методик, которые позволили достичь определенных результатов; **раскрыты** особенности применимости модели дифференциального пространственно-временного кодирования и факторы её ограничивающие; **изучены** существующие методы и алгоритмы пространственно-временного кодирования, при этом акцентируя их возможные недостатки применения в сложных условиях состояния среды распространения; **проведена модернизация** программного комплекса, позволяющего обеспечить проведение математического моделирования методов и алгоритмов систем передачи информации, что позволило обеспечить разработку программного кода в среде MATLAB и проведение успешного имитационного моделирования.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены в рамках образовательного процесса при чтении лекций, проведении практических и лабораторных работ в Приднестровском государственном университете им. Т.Г. Шевченко при подготовке обучающихся по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплинам «Построение современных сетей мобильной связи», «Системы и сети мобильной связи», а также в рамках опытно-конструкторской работы «Системы радиосвязи», проводимой государственным унитарным предприятием связи «Центр регулирования связи» (г. Тирасполь); **определены** возможности и направления применения предлагаемых методов и алгоритмов на практике при внедрении в перспективные стандарты систем радиосвязи; **созданы** программная модель и блок-схемы разработанных методов и алгоритмов для цели практической реализации; **представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию разработанных методов и алгоритмов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании и с использованием системы моделирования MATLAB, обеспечивающей необходимую достоверность экспериментальных исследований; **теория** построена на известных положениях теории цифровой связи, теории алгоритмов, математической статистики и теории матриц, а также согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации; **идея** разработанного метода кодирования **базируется** на анализе практики, обобщении передового опыта, а также предложенных существующих подходов; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике; **установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** сравнение полученные в диссертационной работе результатов и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике, а также современные подходы к проведению моделирования систем с применением апробированной системы компьютерной математики MATLAB.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все основные результаты диссертационной работы, в том числе результаты теоретических и экспериментальных исследований, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит основная роль при постановке и решении задач, а также обобщении полученных результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1. Почему при проведении моделирования была использована только модель канала связи с некоррелированными релейскими замираниями? 2. Скажите пожалуйста, у вас в диссертации, в заголовке и в положениях на защиту приводится словосочетание «дифференциальный метод кодирования». Это вы придумали, или кто-то до вас? И откуда этот термин, что забыли перевести на русский, как разностный? 3. Почему вы не использовали каскадные коды в пространственно-временных каналах, возможно ввиду сложности? 4. У вас в цели работы

приводится: «для радиотехнических систем передачи информации в условиях быстро изменяющихся параметров радиоканала». В докладе не было сказано, какие это параметры, и сколь быстро они меняются и как это влияет? 5. В заключении приводится словосочетание «10-40 кадров, в зависимости от состояния канала». Состояние – это измеримое понятие? Или что? 6. В своей работе Вы использовали фазовую модуляцию. А почему вы не использовали модуляцию КАМ, она более эффективна и должна дать больше выигрыш? 7. В чем «изюминка» вашего алгоритма декодирования по сравнению со сферическим алгоритмом? 8. Энергетическая эффективность алгоритма слепой кадровой синхронизации у Вас выросла. За счет чего? Если сформулировать по пунктам?

Соискатель Токарь М.С. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию:

1. Модель канала связи без памяти с некоррелированными релеевскими замираниями была использована потому, что наиболее распространена при моделировании для получения потенциальных характеристик, сравнения характеристик тех или иных алгоритмов и методов кодирования.
2. Данное словосочетание встречается в отечественной литературе и, также, в англоязычной. На счет перевода я согласен, возможно было применить и другое название.
3. Каскадные коды в данном случае не были рассмотрены именно по причине дифференциального механизма, так как работа строилась относительно некогерентного приема. В работе делается акцент на сложные условия распространения в канале связи и в данных условиях дифференциальные методы являются наиболее эффективными.
4. В докладе вот на слайде 7 приводится условие, которое должно соблюдаться для того, чтобы дифференциальный метод работал. Неравенство относительно времени когерентности. Также представлены графики. Если рассмотреть левый, зависимость времени когерентности от частоты для различных относительных скоростей перемещения мобильного абонента, то на этом графике показана горизонтальная зеленая прямая, ниже которой указанное неравенство не соблюдается и метод не работает. Т.е. минимальная длительность квазистационарности канала должна быть не менее чем длительность передачи

двух канальных матриц. 5. В данном случае имелось ввиду состояние, зависящее от отношения сигнал/шум в канале связи. 6. Потому что, изначально, фазовая модуляция распространена в подвижных системах связи, а также имеет малый пик-фактор по сравнению с КАМ, что немаловажно. Модуляция КАМ в рамках данной работы не рассматривалась, но в дальнейшем планируется к рассмотрению в рамках этого метода. 7. Сферическое декодирование обладает случайной вычислительной сложностью в условиях низкого отношения сигнал/шум в канале связи. В данном алгоритме декодирования вокруг восстановленного значения очерчивается круг определенного начального радиуса. Те точки сигнального созвездия, которые попали в эту окружность и рассматриваются далее. Бывают случаи, что радиус окружности необходимо переопределить в большую сторону, следовательно, необходимо проводить повторный перебор по большему значению. У разработанного алгоритма матричного декодирования вычислительная сложность постоянна и не зависит от отношения сигнал/шум в канале связи. Отсутствует как таковой механизм перебора. 8. Энергетическая эффективность разработанного алгоритма выросла по сравнению с существующим алгоритмом кадровой синхронизации, отмеченным в диссертации. Выигрыш получен исходя из использования свойства пространственно-временной избыточности канальных матриц, т.е. рабочего сигнала, а также исходя из разработанной схемы алгоритма.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Дифференциальный метод передачи сигналов для систем связи с пространственно-временным кодированием» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 4, 15 и 18 паспорта научной специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 14 июня 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Токарю М.С. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по разработке метода кодирования и алгоритмов декодирования и синхронизации, имеющих важную практическую значимость в области проектирования и разработки систем радиосвязи.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

И.о. ученого секретаря диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Парамонов Александр Иванович

16 июня 2023 года