

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.002.01
НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И
ИНФОРМАТИКИ» (подведомственного Министерству цифрового
развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 15.05.2025 г. N 129 **о присуждении**
гражданину Ву Ши Дао ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Обнаружение и синхронизация слабых по мощности периодических шумоподобных сигналов» по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» принята к защите «04» марта 2025г. (протокол № 126) диссертационным советом 55.2.002.01 на базе Ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (далее МТУСИ), Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, 8а, Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 244/нк от 03 марта 2016 г., изменения в составе утверждены Приказами Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 37/нк от 30.01.2019, № 599/нк от 15.10.2020, №804/нк от 16.12.2020 г., № 331/нк от 12.04.2021г., № 679/нк от 24.06.2022г., № 1215/нк от 12.10.2022г.

Соискатель Ву Ши Дао «02» декабря 1996 года рождения, в 2021 году окончил Военную академию войсковой противовоздушной обороны Вооруженных Сил Российской Федерации имени Маршала Советского Союза

А.М. Василевского, по специальности 11.05.02 – «Специальные радиотехнические системы», является аспирантом МТУСИ 4-го года обучения по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи». Кандидатские экзамены сданы в 2023 году (имеется справка о сдаче экзаменов).

Диссертация выполнена на кафедре «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Научный руководитель – Горгадзе Светлана Феликсовна доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Радиооборудование и схемотехника» МТУСИ.

Официальные оппоненты:

1. Михайлов Владимир Юрьевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры 402 «Радиосистемы и комплексы управления, передачи информации и информационная безопасность» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

2. Лисничук Александр Александрович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Радиоуправление и связь» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (далее НИУ МИЭТ), в своем положительном заключении, подписанном Бахтиным А. А., к.т.н., доцентом, заведующим кафедрой телекоммуникационных систем, утвержденном Дроновым А. А., к.т.н., проректором по научной работе НИУ МИЭТ, указала, что диссертация имеет значение для повышения эффективности цифровых алгоритмов обнаружения

слабых по мощности шумоподобных сигналов, а также анализа совместной работы соответствующих устройств с петлевыми схемами слежения за изменением их параметров при заданной точности их конечной оценки, а также выработки единого критерия качества синхронизации с целью развития соответствующих инновационных технологий.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 11 работ, из них 2 - работы, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК, 1 - работа, индексируемых в международной базе SCOPUS и 6 прочих работ, 2 свидетельства об официальной государственной регистрации программ для ЭВМ. Также результаты прошли апробацию и были доложены на международных конференциях.

Основные публикации:

1. Горгадзе С. Ф. Обнаружение и синхронизация слабых по мощности шумоподобных сигналов в спутниковой радиосистеме / С. Ф. Горгадзе, **Ш. Д. Ву**. – DOI: 10.36724/2072-8735-2023-17-8-4-20 // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт – 2023. – Т. 17. №8. – С.4-20. (17 стр. Личный вклад автора – 75%).

2. **Ву, Ш. Д.** Статистические характеристики двумерных автокорреляционных функций шумоподобных сигналов / **Ш. Д. Ву**. // Электросвязь. – 2024. – № 6. – С. 53-61. (8 стр. Личный вклад автора – 100%).

3. **Vu, S. D.** "Fast Spectral Transformations in the Truncated Walsh-Hadamard Basis and Synchronization of M-like Sequences" / **S. D. Vu**, A. V. Ermakova and S. F. Gorgadze. – DOI: 10.1109/SYNCHROINFO61835.2024.10617540. // В сборнике: 2024 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. – 2024. – pp. 1-6 (6 стр. Личный вклад автора – 70%).

4. Горгадзе С. Ф. Синхронизация последовательностей Голда на основе быстрого преобразования в усеченном базисе функций Уолша-Адамара / С. Ф. Горгадзе, **Ш. Д. Ву**, А. В. Ермакова // Радиотехника и Электроника. 2024. – Т. 69. № 2. – С.137-145 (9 стр. Личный вклад автора – 70%).

5. Горгадзе С. Ф. Синхронизация М-последовательностей на основе быстрого преобразования Адамара / С. Ф. Горгадзе, **Ш. Д. Ву**, А. В. Ермакова // Радиотехника и Электроника. 2024. – Т. 69. № 2. – С.122-136 (15 стр. Личный вклад автора – 70%).

6. **Ву, Ш. Д.** Устройство ускоренного поиска шумопо-добного сигнала / **Ш. Д. Ву**, С. Ф. Горгадзе // Технологии информационного общества. Сборник трудов XVI Международной отраслевой научно-технической конференции – Москва, 2022. – С. 88-90 (3 стр. Личный вклад автора – 78%).

7. **Ву, Ш. Д.** Эффективность устройства грубой оценки параметров синхронизации шумоподобного сигнала / **Ш. Д. Ву**, С. Ф. Горгадзе // DPSA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. – 2023. – Т. 13. № 1. – С. 31-39 (9 стр. Личный вклад автора – 75%).

8. **Ву, Ш. Д.** Вероятностные характеристики ускоренного поиска шумоподобных сигналов / **Ш. Д. Ву**, С. Ф. Горгадзе // Телекоммуникации и информационные технологии, 2022. – Т. 9 № 2. – С. 120-127 (8 стр. Личный вклад автора – 80%).

9. **Ву, Ш. Д.** Быстрые спектральные преобразования в усеченном базисе Уолша-Адамара и синхронизация М-подобных последовательностей / **Ш. Д. Ву**, А. В. Ермакова, С. Ф. Горгадзе // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, 2024. – Т. 15. № 9. – С. 32-39 (8 стр. Личный вклад автора – 70%).

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618362 Российская Федерация. Программа вычисления и исследования статистических характеристик двумерных автокорреляционных шумоподобных сигналов / С. Ф. Горгадзе, **Ш. Д. Ву**, А. В. Ермакова; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2024617404; заявл. 10.04.2024; опубл. 10.04.2024 (Личный вклад автора – 75%).

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024663135 Российская Федерация. Программа построения матриц-циркулянтов М-последовательности и кода Голда на основе

мультипликативных групп расширенных полей Галуа / С. Ф. Горгадзе, Ш. Д. Ву; заявитель и правообладатель МТУСИ. – № 2024661989 ; заявл. 28.05.2024; опубл. 04.06.2024 (Личный вклад автора – 90%).

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, отсутствуют.

На диссертацию и автореферат поступило 11 положительных отзывов от официальных оппонентов Михайлова В. Ю. и Лисничука А. А., ведущей организации ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Российского технического университета «Московский институт радиотехники, электроники и автоматики», Общества с ограниченной ответственностью «НИРИТ СИНВЭЙ Телеком Технолоджи», ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина», ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «Московский энергетический институт (национальный исследовательский университет)», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики».

Были отмечены следующие недостатки:

1. В третьей главе не рассмотрена взаимосвязь скорости изменения частоты обнаруживаемого сигнала и величины динамической ошибки системы фазовой автоподстройки частоты, использующейся для слежения за ее изменением. В связи с этим и выбор минимально допустимой ширины полосы пропускания петлевого фильтра представляется недостаточно обоснованным.

2. В диссертации предполагается, что обнаружение шумоподобного сигнала производится только по одному периоду его повторения. Вопросы, связанные с важными для практических приложений ситуациями, когда

необходимо обрабатывать только отрезок сигнала, по длительности меньший, чем его период, либо несколько периодов повторения сигнала, не рассматривается. Последетекторный накопитель энергии, который может использоваться на выходе устройства свертки шумоподобного сигнала с целью обеспечения необходимых значений вероятностных характеристик его обнаружения, только упоминается в работе. Принципы его построения не рассматриваются.

3. На странице 72 диссертации сокращение, ранее раскрытое в тексте, повторно расшифровывается, что не является необходимым.

4. В параграфе 3 третьей главы (стр. 78) частично дублируется содержание последнего параграфа первой главы.

5. Некоторые символы, например, m и z , используются в диссертации повторно для обозначения разных величин.

6. В четвертой главе не расшифрованы обозначения: $N_{аб}-?$, $K_{ш}-?$, $\mu_{т.і}-?$.

7. Двумерные авто- и взаимно корреляционные функции двоичных псевдослучайных последовательностей, которые рассматриваются в Разделе 4 диссертации, достаточно подробно исследованы к настоящему времени, и имеются многочисленные публикации на данную тему. В диссертации отсутствует обзор соответствующих литературных источников, выводы по Разделу 4 диссертации выглядят тривиально. Кроме того, не разъясняется назначение и новизна результатов работы разработанной компьютерной программы.

8. В 3-ей главе диссертации, кроме двоичных фазоманипулированных шумоподобных сигналов, рассматриваются также и сигналы с скачками по частоте. Исследуется общая структура канала синхронизации для двух типов сигналов, состоящая из одних и тех же устройств – устройства ускоренного обнаружения и двухпетлевой схемы слежения за частотами и задержками по времени обнаруженных сигналов. Вместе с тем, сигналы с скачками по частоте не рассматриваются ни в предыдущих, ни в последующей главах диссертации.

Их двумерные корреляционные функции не исследуются, и методика их расчета не разработана. Необходимость рассмотрения этих сигналов в третьей главе диссертации никак не обоснована, поскольку полноценное сравнение характеристик обнаружения и синхронизации двух типов сигналов с использованием предлагаемого варианта канала синхронизации в диссертации отсутствует.

9. Не проведено сравнение разработанного алгоритма быстрой синхронизации ПСП Голда на основе БПА с ранее проведенными исследованиями в этой области. Более того, не дается никакой оценки ранее полученным результатам других авторов, посвященных этой же теме.

10. Позиции 1-3 Положений, выносимых на защиту, и позиция 1 раздела «Научная новизна» Введения к диссертации сформулированы как математические выражения из области теории полей Галуа, в которых не разъясняется, какое отношение они имеют к названию диссертации и технической проблеме, решаемой в ней.

11. В пункте 6 Положений, выносимых на защиту, а также в Разделе 4 автореферата и диссертации не оговариваются условия, при которых боковые пики двумерных автокорреляционных функций шумоподобных сигналов могут считаться случайными величинами, кроме того, не указывается, что законы их распределения являются усеченными, то есть соответствуют номинальным законам распределения только на конечном интервале определения случайной величины.

12. Раздел 2 Автореферата перегружен формулами и математическими выкладками, но в нем явно недостаточно выводов и формулировок результатов исследований, что в Автореферате было бы необходимо в большей степени.

13. В Автореферате, а возможно и в диссертации, следовало бы рассматривать более краткое и формализованное описание совместно работающих устройств обнаружения шумоподобных сигналов и двухпетлевых схем слежения за их параметрами с целью акцентирования внимания лишь на

тех элементах и узлах схем, которые имеют значение для последующего рассмотрения.

14. В первой главе формулируется задача обнаружения совокупности рассогласованных по частоте и временной задержке копий одного и того же сигнала, но при этом не указывается, известно ли априори число обнаруживаемых копий, или в приемнике решается задача как обнаружения копий сигнала, так оценки их числа. Таким образом, не указано, какое решающее правило используется – на основе выставления порогового уровня или производится оценка параметров по заранее заданному числу наибольших значений откликов устройств сжатия шумоподобного сигнала. Отсутствует расчет порогового уровня при решении задачи обнаружения.

15. Не оговаривается, что задача совместного обнаружения и оценки параметров совокупности копий шумоподобного сигнала фактически сведена к задаче оптимального обнаружения-различения ортогональных сигналов; вместе с тем, ни разные шумоподобные сигналы, ни их рассогласованные копии не являются в строгом смысле ортогональными, что подтверждается результатами исследований, проведенных в четвертой главе диссертации.

16. В третьей главе заданы одинаковые вероятностные характеристики обнаружения сигнала на каждом этапе многоэтапной параллельно-последовательной процедуры и утверждается, что это может быть достигнуто при изменении порогового уровня в решающем устройстве на каждом этапе, но никакого способа оценки величины порога не предложено.

17. Во второй главе при рассмотрении свойств упорядоченной матрицы-циркулянта M -последовательности указывается: «Другим важным свойством упорядоченной матрицы-циркулянта является ... сдвиг каждой последующей строки на один элемент вправо...». Однако в соответствующей таблице, на которую автор ссылается, представлен сдвиг на один элемент влево.

18. Для матриц, в виде произведения которых представляется матрица Адамара при ее факторизации, по ходу изложения текста диссертации

использует разные обозначения - B_m и B_{2^m} . Также используется запись: $B_{2^m}^m$. При этом не поясняется, что имеется в виду простая -я степень матрицы B_{2^m} .

19. Рис. 9 отражает возможности минимизации продолжительности времени поиска и синхронизации сигналов, что является важным результатом оптимизации предлагаемого в работе алгоритма, а потому было бы полезно проанализировать условия формирования этого минимума для обеспечения возможности его получения и при ином сочетании параметров измерений, однако обнаружить комментарии на этот счет в автореферате не удаётся.

20. На стр.22 автореферата говорится, что «длительность времени накопления энергии ... должна быть такой, чтоб выполнялось неравенство $p_{лт,i} \leq 10^{-6}$, поскольку в противном случае $p_{обн}$ будет меньше 0,7». Однако, как правило, для понижения вероятности ложной тревоги порог обнаружения приходится повышать, что и влечет снижение вероятности обнаружения. Соответственно, идея о целесообразности выбора $p_{лт,i} \leq 10^{-6}$ (с позиции гарантии надёжного обнаружения сигналов) оказывается спорной.

21. На рисунке 1 автореферата в качестве опорного сигнала используется действительная часть комплексной огибающей опорного сигнала для перемножения как с синфазной, так и с квадратурной составляющей входного сигнала на выходе схемы квадратурного приемника. Данное обстоятельство нуждается в пояснении.

22. В автореферате не пояснено, что представляют собой предпочтительные М-последовательности, а также их упорядоченные матрицы-циркулянты. Не ясно, почему для формирования матрицы-циркулянта последовательности Голда используются матрицы М-последовательностей, сформированные только на основе сопровождающих матриц их неприводимых примитивных полиномов только лишь одного типа, в то время как в автореферате приведены два вида таких сопровождающих матриц для каждой М-последовательности.

23. В автореферате не обоснован и указан тип закона распределения суммарной помеховой составляющей, на фоне которой производится

обнаружение шумоподобного сигнала с неизвестной частотой и задержкой по времени. В частности, формула (21), описывающая вероятность правильного обнаружения сигнала и включающая распределение Релея-Райса, содержит дополнительный множитель, смысл которого не разъяснен в автореферате. Также отсутствует обоснование значения нижнего порога интегрирования в формулах (19), (21), (23).

24. Отсутствуют рекомендации по выбору цифрового сигнального процессора для практической реализации алгоритма ускоренного обнаружения совокупности шумоподобных сигналов; в третьей разделе приводятся результаты вычисления длительности времени вхождения в синхронизм аппаратуры синхронизации в спутниковой системе, но не указан тип цифрового сигнального процессора, для которого произведены расчеты;

25. На рисунке 1 автореферата имеются точки «1», «2», «3», однако в тексте отсутствуют их упоминание и разъяснение необходимости их использования на рисунке.

26. В положениях, выносимых на защиту, отсутствуют численные показатели эффективности проведенных исследований.

27. Число положений, выносимых на защиту (их 6), избыточно. И не ясно, в каких конкретно главах диссертации они защищаются. Было бы логично объединить ряд положений до трех-четырех. И каждому положению выделить отдельную главу!

28. Не ясно, что главное – эффективность реализации с позиции повышения вероятности обнаружения и точности синхронизации сигналов или многократное уменьшение вычислительных затрат?

29. Автореферат перенасыщен аббревиатурами, что без листа с их расшифровкой затрудняет восприятие.

30. Не понятно, что со временем обнаружения и синхронизации, так как только приведенные на рис. 8 на стр. 20 схемы ФАПЧ и АПВ достаточно инерционны.

31. Судя по автореферату, в работе рассмотрены варианты построения матриц-циркулянтов М-последовательностей только на основе двух мультипликативных группы поля Галуа. Известны и две другие группы, но никаких исследований или выводов по поводу возможности их применения для приведения М-последовательностей к функциям Уолша в работе не сделано. Поэтому научные результаты по вопросу приведения М-последовательностей к функциям Уолша на основе мультипликативных групп расширенного поля Галуа, приведенные в диссертации, не являются полными и законченными.

32. Во втором разделе автореферата упоминается: "... С целью разработки ускоренных алгоритмов синхронизации ПСП при обнаружении-различных СлС с неизвестными параметрами разрабатываются и исследуются варианты построения матриц-циркулянтов (МЦ) ПСП на основе мультипликативных групп расширенного поля Галуа по модулю неприводимого примитивного полинома, а также варианты приведения этих матриц к полной или усеченной матрице Адамара, либо её аналогам." Уточните, пожалуйста, какие неизвестные параметры сигналов имеются в виду, поскольку вид принимаемого сигнала в приемной части заранее должен быть известен для его обнаружения.

33. Как проверялась точность моделей, описанных в работе? Проводилось ли сравнение результатов имитационного моделирования с практическими измерениями? Если да, то как соотносятся эти параметры, какая погрешность оценки параметров, по предложенным в главе 4 диссертации методикам расчета ДАКФ?

34. Из материалов автореферата не вполне ясно, как можно сократить на практике время вхождения в синхронизм по слабым шумоподобным сложным сигналам до 0,2 с.

35. В автореферате допущены отклонения от ГОСТ Р 7.0.11-2011. Объем автореферата значительно превышает рекомендованный.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты и представители ведущей

организации имеют значительное количество публикаций, близких к теме диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- обоснована возможность использования алгоритмов быстрых спектральных преобразований непосредственно в аппаратуре обработки шумоподобных сложных сигналов при вычислении их двумерных корреляционных функций, что при возможности преобразования отсчетов исходных сигналов к полному базису функций Уолша-Адамара позволяет снизить вычислительную сложность цифровых алгоритмов их обнаружения приблизительно в 50...630 раз при длинах используемых псевдослучайных последовательностей от 511 до 8191, по сравнению с традиционным методом вычислений;

- показано, что в случае, если циклические сдвиги применяемых типов псевдослучайных последовательностей не приводятся к полной системе Уолша-Адамара, можно использовать разработанный алгоритм их преобразования к неполной ортогональной системе функций Радемахера, что позволяет обеспечить выигрыш алгоритма их обработки по вычислительной сложности примерно в 3-8 раз при длинах (периодах) последовательностей, указанных в предыдущем пункте, по сравнению с простым векторно-матричным перемножением;

- оказалось возможным оптимизировать длительность времени обнаружения и синхронизации слабых по мощности шумоподобных сигналов при подборе числа этапов многоэтапной параллельно-последовательной процедуры их поиска, реализуемой с использованием совместно работающих устройств их ускоренного обнаружения и слежения за их параметрами; в диссертации показано, что в спутниковой радиосистеме длительность времени вхождения в синхронизм по слабым шумоподобным сигналам в случае совместного использования разработанных цифровых устройств их ускоренного обнаружения и аналоговых петлевых схем слежения за их частотами и

задержками по времени можно сократить на практике приблизительно до 0.2 с; в случае использования последовательного корреляционного алгоритма эта длительность времени при таких же исходных условиях будет составлять несколько десятков секунд.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации получены новые результаты в области использования теории ускоренного декодирования циклических двоичных блочных кодов максимальной длины, а также циклических кодов, производных от них, на основе быстрого преобразования Уолша-Адамара для синхронизации периодических псевдослучайных последовательностей.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что в настоящее время фактор минимизации мощности излучаемых сигналов предъявляет высокие требования к качеству алгоритмов, используемых на приемной стороне для поиска в эфире целевых сигналов, оценивания их параметров, реализации частотно-временной синхронизации с ними. К практически полезным результатам диссертации следует отнести используемые для вычисления двумерных автокорреляционных функций шумоподобных сигналов алгоритмы быстрых спектральных преобразований, способ определения циклического сдвига преобразованной М-последовательности и циклического сдвига кода Голда с использованием алгоритма быстрого преобразования Уолша-Адамара, рекомендации по оптимизации многоэтапной параллельно-последовательной процедуры поиска и оценки параметров радиосигналов.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается использованием адекватных современных методов исследований, соотнесением результатов, полученных на основе теоретических исследований и результатов компьютерного моделирования, а также широкой апробацией на международных и российских конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном получении соискателем всех выносимых на защиту научных результатов. Из работ,

Диссертация Ву Ши Дао является научно-квалификационной работой, содержащей решение актуальной научной задачи – комплексного рассмотрения и оптимизации процедуры совместного обнаружения и оценки параметров совокупностей слабых по мощности шумоподобных сигналов, по критериям длительности времени правильной оценки их несущих частот и задержек по времени с заранее заданными погрешностями и вероятностями.

На заседании «15» мая 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Ву Ши Дао ученую степень кандидата технических наук.

Председатель

Ученый секретарь

Григорьев

М. В. Терешонок

14