

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор, к.т.н.  
И.Н. Пестовский  
«29» 02 2022 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации Акционерное общество «Российский институт мощного радиостроения» на диссертационную работу Рабина Алексея Владимировича «Ортогональное кодирование и многопозиционная модуляция в помехозащищенных системах передачи информации», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций (технические науки)

#### 1. Актуальность темы диссертационной работы

Достаточное число исследований, связанных с применением помехоустойчивого кодирования, посвящено анализу систем связи со сравнительно малым значением спектральной эффективности и/или малом отношении сигнал/шум. Вместе с тем, при больших отношениях сигнал/шум потенциально можно обеспечить как высокую спектральную эффективность, так и высокую помехозащищенность. Тем не менее, существующие методы, как правило, обеспечивают одну из этих характеристик в отсутствие другой. Они в большей степени направлены на обеспечение энергетического выигрыша при введении помехоустойчивого кодирования и в меньшей степени учитывают обменные соотношения между помехоустойчивостью, отношением сигнал/шум, спектральной эффективностью и сложностью реализации.

В диссертации А.В. Рабина предлагается в цифровых системах передачи сообщений наряду с помехоустойчивым кодированием использовать дополнительное ортогональное кодирование. В работе показано, что совместное использование обоих видов кодирования обеспечивает дополнительный энергетический выигрыш по сравнению с использованием только помехоустойчивых или только ортогональных кодов.



## 2. Основные научные результаты и их значимость для науки и производства

Диссертационная работа А.В. Рабина включает в себя введение, пять глав, заключение, список использованных источников и пять приложений.

В первой главе представлены результаты аналитического обзора известных подходов к реализации помехозащищенных радиолиний телекоммуникационных систем. Показано, что существует противоречие между требованиями к помехозащищенности современных телекоммуникационных систем, обусловленными, как правило, возможностями систем радиоподавления и недостаточно разработанными методами повышения помехозащищенности при передаче с высокой спектральной эффективностью, включающими использование высокоскоростных модуляционных кодов.

Вторая глава имеет наибольшее значение с точки зрения научной новизны результатов исследований. В ней разработаны метод синтеза декодирующих и кодирующих матриц на основе многочленов степени больше единицы для формирования кодовых последовательностей, обеспечивающих реализацию ортогонального кодирования, и класс ортогональных кодов, обеспечивающих повышение помехозащищенности каналов передачи информации телекоммуникационных систем. Указанные метод синтеза и класс кодов являются первым и вторым научными результатами, выносимыми на защиту.

Автором создан комплекс моделей каналов передачи информации телекоммуникационных систем, использующих предложенное ортогональное кодирование. В третьей главе рассмотрены модели, рассматривающие применение ортогонального кодирования в отсутствие корректирующих кодов. В четвертой главе диссертации представлены модели, анализирующие совместное применение ортогональных и корректирующих кодов. Данный комплекс моделей является третьим научным результатом, выносимым на защиту. А.В. Рабиным рассмотрено применение ортогонального кодирования в системах с ОФМ, АМ, КАМ и ЧМ в каналах с АБГШ, случайной фазой и замираниями, приведены оценки уменьшения вероятности ошибки на бит за счет использования ортогонального кодирования.

В пятой главе разработаны научно-технические предложения по реализации технологии повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем при высоком отношении сигнал/шум для достижения требуемой спектральной эффективности, представляющие собой четвертый научный результат, выносимый на защиту.



Полученные в диссертации третий и четвертый научные результаты представляют интерес, прежде всего, с точки зрения практической реализации на предприятиях радиоэлектронной промышленности.

Значимость для науки теоретических результатов диссертации обусловлена разработкой новой методологии повышения помехозащищенности телекоммуникационных систем посредством применения ортогональных кодов, формируемых сопряженными парами квадратных матриц.

Практическое значение результатов работы заключается в том, что в ней разработан метод ортогонального кодирования, обеспечивающий существенный энергетический выигрыш практически без внесения избыточности и без значительного увеличения сложности аппаратуры. На каждом шаге процесс декодирования сводится к вычислению нескольких скалярных произведений и сравнению с фиксированным (в данном случае нулевым) порогом. Разработанный автором метод ортогонального кодирования можно рассматривать как разновидность приема в целом сигналов многопозиционной модуляции с оптимальным выбором манипуляционного кода.

### 3. Обоснованность и достоверность основных результатов диссертации

Полученные в диссертации основные положения и выводы в достаточной степени обоснованы теоретически. Достоверность основных положений работы обусловлена физически адекватной постановкой задачи. Используемые допущения и ограничения технически обоснованы. Математический аппарат использован корректно и соответствует сложности решаемых задач.

### 4. Рекомендации по использованию полученных результатов

Результаты диссертации могут быть использованы для реализации в телекоммуникационных системах ортогонального кодирования, эффективность применения которого подтверждена количественными оценками и простыми процедурами кодирования и декодирования. Также представляется перспективным рассмотреть возможность применения разработанного автором подхода в системах с OFDM-модуляцией, а также в MIMO-системах.

Результаты диссертации целесообразно использовать в организациях, занимающихся разработкой устройств приема и передачи информации в помехозащищенных телекоммуникационных системах, таких как ЛОНИИС, ЛОНИИР, АО "РИМР" и др.

### 5. Соответствие автореферата основным идеям диссертации

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертации и основные полученные в работе результаты исследования.

## 6. Общее впечатление о работе

Работа А.В. Рабина содержит в достаточном объеме анализ существующих подходов к решению поставленных задач, описание исходных данных, включает таблицы, пояснения, рисунки, графики, примеры, подробные расчеты. Язык и стиль диссертации соответствует устоявшейся научно-технической терминологии и стилю изложения. Диссертация аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом имеются содержательные выводы. Автором решены все задачи, поставленные для достижения цели работы. В результате исследования разработан метод ортогонального кодирования, повышающий помехозащищенность каналов передачи информации телекоммуникационных систем при минимальном изменении скорости кодирования.

## 7. Основные недостатки и замечания

1) Первая глава работы носит обзорный характер и содержит сведения, которые в дальнейшем практически не используются, за исключением пятой главы.

2) Недостаточно четко сформулированы понятия ортогональности в символьном виде, определяемые в конечных полях, и в сигнальном виде, определяемые в евклидовой метрике.

3) Предложенные автором неэквидистантные сигнальные созвездия ОФМ сигналов являются оптимальными только в частных случаях.

4) Утверждение автора об эффективности ортогонального кодирования в нестационарных каналах связи подтверждено только результатами имитационного моделирования для частных моделей каналов связи.

5) Показатели эффективности разработанного метода ортогонального кодирования сравниваются в основном с известными методами кодирования. Сравнение с потенциально достижимой эффективностью, характеризуемой шенноновским пределом, обозначено лишь в заключительной части диссертации.

6) Текст диссертации перегружен известными результатами зависимостей показателей помехоустойчивости различных видов сигналов от характеристик каналов связи.

Указанные недостатки не снижают научной и практической значимости исследования и не ставят под сомнение основные результаты работы.



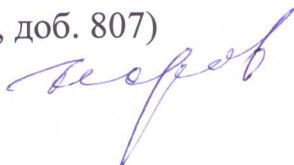
## Заключение

Диссертация Рабина Алексея Владимировича является завершенной научно-квалификационной работой, в которой решена важная научно-техническая проблема использования ортогонального кодирования для разработки помехозащищенных телекоммуникационных систем, обеспечивающих при высоком отношении сигнал/шум передачу с близкой к предельно возможной спектральной эффективностью.

В целом работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Рабин Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв составили:

Главный научный сотрудник НТЛ-00220 АО «РИМР», доктор технических наук, старший научный сотрудник  
(тел.: +7(812) 328-45-50, доб. 807)



Егоров Владимир Викторович

Заместитель технического директора АО «РИМР», кандидат технических наук (тел.: +7(812) 328-80-05)



Мингалев Андрей Николаевич

Начальник НТЛ-00220 АО «РИМР», кандидат технических наук  
(тел.: +7(812) 328-45-50, доб. 536)



Тимофеев Александр Евгеньевич

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании научно-технического совета Акционерного общества «Российский институт мощного радиостроения», протокол № 1 от 09.02.2022 г.

Ученый секретарь АО «РИМР», кандидат технических наук, доцент  
(тел.: +7(812)328-45-50, доб. 310)



Шарко Геннадий Васильевич

« 09 » 02 2022 г.