

## ОТЗЫВ ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Аль Тахар Инас Ануара, выполненную на тему «Методы обработки принимаемых сигналов в системах связи с пространственно-временным разнесением» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

**Актуальность.** В настоящее время в радиосвязи стали широко использовать методы пространственно-временного кодирования (MIMO), позволяющие увеличить скорость передачи информации или значительно повысить помехоустойчивость систем радиосвязи. Диссертационная работа Аль Тахар Инас Ануара посвящена исследованию методов объединения разнесенных сигналов в системах связи, использующих технологию MIMO, и разработке новых методов сложения разнесенных сигналов. Широкое применение технологии MIMO в радиорелейной и в мобильной связи определяет актуальность темы диссертационной работы.

**Структура и объем диссертации.** Представленная на отзыв диссертация содержит введение, четыре главы с выводами по каждой главе, заключение, список литературы из 104 наименований, 5 приложений в числе которых 4 программы для ЭВМ и два акта внедрения результатов работы. Диссертация содержит 152 страницы, из них 134 страницы основного текста, включая 56 рисунков, 7 таблиц и 4 приложения, содержащие четыре разработанные программы для ЭВМ, 2 акта внедрения результатов выполненного исследования и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Первая глава** диссертационной работы направлена на обзор и анализ систем пространственно-временного кодирования (MIMO). Поставлена цель исследования, заключающаяся в разработке методов и реализующих их алгоритмов обработки принимаемых многолучевых сигналов для повышения помехоустойчивости систем связи, использующих технологии MIMO.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе намечено решить следующие задачи:

- провести анализ методов пространственно-временной обработки сигналов в радиоканалах с многолучевостью и замираниями и алгоритмов объединения разнесенных сигналов на приемной стороне;
- разработать новые алгоритмы обработки сигналов на приемной стороне линии связи с технологией MIMO;
- разработать модель обработки сигналов, принимаемых системой радиосвязи с технологией MIMO и провести модельные исследования процесса приема системой с MIMO на ЭВМ для оценки помехоустойчивости известных и предложенных методов объединения разнесенных сигналов систем связи.

**Во второй главе** определены критерии оценки помехоустойчивости и выполнен анализ известных алгоритмов обработки разнесенных сигналов. Рассмотрены известные методы комбинирования разнесенных сигналов и

исследованы методы разнесенного приема в различных гибридных вариантах использования методов комбинирования.

**Третья глава** направлена на исследование влияния интерференционных замираний сигналов в многолучевых радиоканалах ММО, на помехоустойчивость радиоприема. Обосновано применение более точного описания интерференционных замираний сигнала четырехпараметрическим законом распределения замираний, частными случаями которого являются многие другие распределения, в том числе и релеевское распределение вероятностей.

Разработан алгоритм и программа моделирования и приведены результаты моделирования для систем MISO и MIMO. Выведены выражения для оценки помехоустойчивости методов сложения разнесенных сигналов и определена вероятность срыва связи при разных методах сложения разнесенных сигналов.

**Четвертая глава** направлена на разработку новых путей сложения разнесенных сигналов и компьютерное моделирование методов сложения сигналов при воздействии некоррелированных в разных каналах приема ММО шумов и замираний. Предложен новый метод сложения разнесенных сигналов, отличающийся от известного метода оптимального сложения простотой практической реализации без изменения положительных результатов. Разработана программа на языке С++ для сравнения различных методов сложения сигналов ММО при воздействии на сигнал белого шума и замираний. Модельными экспериментами подтверждена необходимость описания замираний многопараметрическими случайными законами, например, четырехпараметрическим распределением плотности вероятностей

Предложены рекомендации для разработчиков линий многолучевой радиосвязи по обеспечению запаса энергopotенциала на замирания на 1 дБ больше, чем при релеевских замираниях, чтобы учесть возможность более глубоких замираний, которые нередко наблюдаются на линиях радиосвязи.

**В заключении** приведены основные результаты, полученные при выполнении диссертационной работы.

**В приложениях** приведены четыре разработанные программы для ЭВМ, два акта внедрения и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Апробация результатов и публикации по теме работы.** Автором издано 19 публикаций по теме работы, в том числе 4 по списку, рекомендованному ВАК, 7 статей и тезисов докладов вошли в базы данных Scopus или Web of Science, 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и 7 опубликованных тезисов докладов на научных конференциях. Результаты работы докладывались на 12 научных конференциях различного уровня, что говорит о неплохой апробации полученных в работе результатов.

**Научная новизна и практическая значимость** достигнутых результатов определяется следующим:

- Обоснована необходимость использования многопараметрических законов распределения вероятностей при описании интерференционных замираний, возникающих при приеме сигналов в системах ММО.
- Предложена методика оценки вероятности срывов связи в радиоканале приемного устройства при достаточно общей четырехпараметрической модели замираний.
- Разработана модель и реализующая ее программа для сравнения методов сложения разнесенных сигналов ММО.
- Предложена и исследована новая методика оптимального сложения разнесенных сигналов, названная в работе субоптимальной.
- Алгоритм субоптимального сложения сигналов обеспечивает значительное уменьшение вероятности ошибки при двух каналах разнесения ММО, что подтверждено модельными исследованиями.
- Предложены рекомендации по добавлению энергопотенциала при разработке линий связи для систем ММОв целях противодействия глубоким интерференционным замираниям.

Практическая полезность результатов выполненного исследования подтверждается двумя актами внедрения результатов работы, в том числе при разработке радиорелейных линий связи "Иракской службой по метеорологии и сейсмологии".

**Достоверность и обоснованность научных положений,** сформулированных в диссертации, обеспечивается применением в работе при вычислениях и моделировании общеизвестного математического аппарата, а также методики на основе имитационного моделирования сигналов ММО и процессов их объединения.

**Соответствие специальности.** Содержание диссертации соответствует пунктам 12 и 14 паспорта специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

**Автореферат** достаточно подробно освещает суть выполненного исследования и соответствует требованиям ВАК.

**Достоинства** выполненной работы заключаются в достижении новых научных результатов, имеющие практическую значимость, а именно: методики оценки срывов связи в системах, использующих ММО, нового и более просто реализуемого алгоритма сложения сигналов ММО, имитационной модели для ЭВМ, позволяющей исследовать методы сложения разнесенных сигналов систем ММО. Результаты работы широко опубликованы в отечественных и зарубежных журналах и прошли активную апробацию на научных конференциях. Следует отметить, что личный вклад Аль Тахар Инас Ануара в работу подтверждается 5 публикациями, изданными автором без соавторства.

### **Недостатки** диссертационной работы:

- имеются недоработки в оформлении, например, в выражениях (3.15) - (3.19) на стр. 77-78 не раскрыты некоторые переменные;
- назначение алгоритма, представленного на рис. 2.5, стр.49, непонятно, так как в систему связи встраивают только один из методов сложения сигналов;
- предложенный субоптимальный метод сложения разнесенных сигналов сравнивается только с методами линейного сложения и автовыбором и не приводится сравнения с известным оптимальным методом;
- есть замечания и к автореферату: попутана нумерация рисунков, рис.6 (стр.12 автореферата) демонстрирует известные факты, а рис. 9 автореферата (стр. 18) требует дополнительных пояснений.

**Выводы.** Указанные недостатки не влияют фатально на качество выполненной диссертационной работы «Методы обработки принимаемых сигналов в системах связи с пространственно-временным разнесением», которая соответствует пунктам 9-14 Постановления "О порядке присуждения ученых степеней", являясь завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития систем радиосвязи, а ее автор Аль Тахар Инас Ануар заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

### **Официальный оппонент**

кандидат технических наук, начальник сектора  
ОАО " Владимирское конструкторское  
бюро радиосвязи"



/Зеленов Д.Ю./

20.04.2022 г.

Подпись к.т.н. Зеленова Д.Ю. заверяю



/ Хазова О.А./

Зеленов Дмитрий Юрьевич, к.т.н. (05.12.13)  
ОАО " Владимирское конструкторское бюро  
радиосвязи", начальник сектора.  
Адрес: 600017, г. Владимир, ул. Батурина, д. 28.  
Телефон: +7 (4922) 43-15-54  
E-mail: duzel-boss@yandex.ru