



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ
АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

ФАКУЛЬТЕТ Авиационных систем и комплексов

КАФЕДРА ТЭРЭО ВТ

Направление подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы
связи

(код и наименование направления подготовки)

Направленность Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения


(наименование направленности)

НАУЧНО-КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Тема Поляризационно-манипулированные сигналы с непрерывным
изменением параметров поляризации и методы их поляризационно-
временной обработки

Обучающийся:

Власюк А.П.
(Ф.И.О.)


(Подпись)

Научный руководитель:

к.т.н., доцент Яманов Д.Н.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

Рецензенты:

д.ф.-м.н., профессор Козлов А.И.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

к.т.н., доцент Илюхин А.А.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

Работа допущена к защите:

Заведующий кафедрой

д.т.н., доцент Болелов Э.А.
(уч.степень, уч.звание, Ф.И.О.)


(Подпись)

МОСКВА 2023

Актуальность научно квалификационной работы (НКР). Важнейшей проблемой, возникающей в процессе разработки и эксплуатации систем связи является обеспечение высокой достоверности приема передаваемой информации с учетом конкретных условий эксплуатации, т.е. в сложной помеховой обстановки (СПО). Возможными причинами, определяющими энергетические потери в каналах связи и, в конечном итоге, препятствующими решению указанной проблемы, являются: неоптимальность методов приема и обработки сигналов, несовершенство технической реализации средств связи, потери при распространении электромагнитных волн (ЭМВ) в пространстве, наличие помех в канале связи и т.д. Из всего комплекса причин, влияющих на достоверность приема информации в каналах связи, особо следует выделить потери, возникающие при распространении ЭМВ. Указанный тип потерь обусловлен многообразием путей и случайной неоднородностью электрофизических свойств среды распространения ЭМВ и проявляется в форме замираний (интерференционных, поляризационных и др.). Таким образом, одним из возможных путей обеспечения высокой достоверности приема передаваемой информации является устранение энергетических потерь, обусловленных несоответствием поляризационных характеристик принимаемой ЭМВ и антенны. Случайный характер изменений поляризационной структуры ЭМВ в каналах связи требует реализации динамических систем с управляемыми поляризационными параметрами принимаемых и передающих антенн – системы поляризационно-временной обработки (СПВО). Актуальность НКР определяется тем, что она направлена на решение задачи повышения помехоустойчивости систем передачи информации за счет использования ПМН сигналов и методов их ПВО.

Объектом исследования являются ПМН сигналы и помехи.

Предмет исследования – алгоритм поляризационно-временной обработки ПМН сигналов.

Целью работы является разработка и исследование систем поляризационно-временной обработки перспективных для использования в системах передачи дискретной информации (СПДИ) поляризационно-манипулированных сигналов в СПО.

Поставленная цель достигается решением следующих основных задач:

1. Анализ особенностей поляризационной структуры ЭМВ в различных каналах связи.
2. Обоснование выбора ПМН сигнала, перспективного для использования в системах передачи дискретной информации.
3. Синтез оптимальных структурных схем поляризационно-временной обработки сигналов ПМ для случаев изменения параметров поляризации ЭМВ: а)

угла ориентации при постоянном значении угла эллиптичности; б) угла эллиптичности при постоянном значении угла ориентации; в) воздействии на вход приемника поляризованных помех.

4. Оценка помехоустойчивости приема ПМ сигналов в случае их квазикогерентного приема и не идеальности поляризационного согласования ЭМВ с антенной системой.

5. Анализ эффективности систем поляризационно-временной обработки сигналов ПМ.

6. Моделирование оптимального приемника, систем поляризационно-временной обработки и фазовой синхронизации сигналов ПМ с целью проверки справедливости результатов теоретических исследований.

7. Анализ чувствительности синтезированных систем поляризационно-временной обработки и фазовой синхронизации ПМ сигналов к отклонениям параметров указанных систем от априорных.

Методы исследования. Поставленные задачи решаются с использованием методов теории вероятностей и математической статистики, статистической теории радиотехнических устройств, теории методов оптимальной нелинейной фильтрации марковских процессов, теории случайных процессов, вычислительной математики, математического моделирования радиотехнических систем.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней впервые:

- синтезированы структурные схемы поляризационно-временной обработки ПМ сигналов с использованием геометрических параметров эллипса поляризации ЭМВ;

- получены точностные характеристики синтезированных систем поляризационно-временной обработки сигналов;

- выведены соотношения, позволяющие оценить помехоустойчивость приема ПМ сигналов синтезированными приемниками при неидеальном согласовании принимаемой ЭМВ с антенной, а также синхронизации по фазе несущего колебания.

- выполнен сравнительный анализ улучшения помехоустойчивости приема ПМ сигналов при реализации в рамках структуры приемного устройства систем поляризационно-временной обработки в конкретных условиях эксплуатации, т.е. в СПО;

- поведено моделирование оптимального приемника ПМ сигнала при линейной поляризации угла ориентации ЭМВ, результаты которого подтвердили справедливость результатов проведенного теоретического исследования;

- на основе модели выполнен анализ чувствительности синтезированных систем поляризационно-временной обработки и фазовой синхронизации ПМ сигналов к отклонениям параметров указанных систем от априорных.

Практическая ценность НКР состоит в следующем:

1. Рассмотренные методы построения СПВО цифровых сигналов и проведенный синтез позволяют: выбрать наилучшую структуру СПВО ПМ сигналов; определить оптимальные значения параметров функциональных элементов СПВО ПМ сигналов; оценить точностные характеристики СПВО с учетом статистических характеристик канала связи; определить функциональные взаимные связи СВПО с другими системами приемника (схемой оценки дискретного параметра и системой фазовой синхронизации), что является необходимым при составлении технического задания на проектирование СПДИ.

2. Полученные результаты по оценке помехоустойчивости приема ПМ сигналов в условиях неидеальных поляризационного согласования принимаемой ЭМВ с антенной и фазовой синхронизации сигналов позволяют: провести анализ эффективности методов поляризационно-временной обработки ПМ сигналов; обосновано сформулировать требования, предъявляемые к помехоустойчивости цифровых радиолиний связи, работающих в СПО, и, исходя из априорных статистических характеристик канала связи, определить область применения таких систем связи.

3. Теоретические вопросы, связанные с методами поляризационно-временной обработки сигналов, могут быть использованы при разработке радиолокационных средств и систем дистанционного зондирования.

На защиту выносятся теоретическое и экспериментальное обоснование целесообразности и возможности использования методов построения систем поляризационно-временной обработки ПМ сигналов в радиолиниях передачи дискретной информации.

Результаты НКР использованы в ИНИР: МГТУГА №06-15 «Помехоустойчивый прием поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации»; №05-21 «Поляризационно-манипулированные сигналы и методы их поляризационно-временной обработки».

Основные положения НКР докладывались и обсуждались на: X Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации» (г. Иркутск, 2021г.); XIV Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации - 2021» (г. Иркутск, 2021г.); XV Всероссийской научно-практической конференция студентов и аспирантов «Актуальные проблемы развития авиационной техники и методов ее эксплуатации – 2022» (г. Иркутск,

2022г.); Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники, общества».

По материалам НКР опубликовано 7 работ.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения.

В первом разделе рассматривается проблема поляризационно-временной обработки сигналов в радиолиниях передачи данных. Проводится анализ особенностей поляризационной структуры ЭМВ в каналах связи, а также выявляются причины, обуславливающие случайный характер изменения поляризационных параметров в указанных каналах. Обосновывается выбор перспективного для использования в системах передачи цифровой информации ПМ сигнала.

Для организации связи применяются средства радиосвязи диапазонов МВ, ДКМВ, ГКМВ и спутниковой связи. Основу авиационной воздушной связи составляют каналы связи МВ-диапазона. Средства радиосвязи других диапазонов используются на воздушных трассах большой протяженности (трансокеанических и трансконтинентальных), где средства связи МВ-диапазона не эффективны. В этой ситуации создание спутниковых систем связи является одним из важнейших путей повышения пропускной способности системы УВД. Однако и существующая дальняя ДКМВ-связь имеет ряд неиспользованных ресурсов, определяющих направления в улучшении ее качества.

Важнейшей проблемой, возникающей в процессе разработки и эксплуатации указанных средств связи, является обеспечение высокой достоверности приема передаваемой информации с учетом конкретных условий эксплуатации. Возможными причинами, определяющими энергетические потери в каналах связи и, в конечном итоге, препятствующими решению вышеуказанной проблемы, являются неоптимальность методов приема и обработки сигналов, несовершенство технической реализации средств связи, потери при распространении ЭМВ в пространстве, наличие помех в каналах связи и т.д. При этом, именно потери, обусловленные условиями распространения ЭМВ, в наименьшей степени поддаются учету и устранению. Причиной, определяющей указанный вид потерь, является неоднородность электрофизических свойств среды распространения ЭМВ, а именно: наличие границы раздела атмосфера-Земля, неоднородное строение атмосферы и земной поверхности. В таких условиях амплитуда ЭМВ может уменьшаться с увеличением расстояния не только за счет сферической расходимости фронта волны, но и за счет поглощения и рассеяния электромагнитной энергии (в Земле и гидрометеорах), а также за счет пространственного перераспределения электромагнитной энергии при интерференции ЭМВ. Фаза волны будет определяться не только расстоянием от

излучателя, но и изменением скорости распространения из-за электрофизической неоднородности атмосферы и появлением отражений от границы раздела. Все эти факторы, в конечном итоге, приводят к изменениям поляризационной структуры ЭМВ в месте приема.

Одним из возможных путей обеспечения высокой достоверности приема передаваемой информации является устранение энергетических потерь, обусловленных поляризационными изменениями ЭМВ в каналах связи. Реализация этого возможна только применением поляризационных методов обработки радиосигналов.

В настоящее время методы поляризационной обработки сигналов широко используются для решения задач согласования параметров поляризации ЭМВ и антенных систем, подавления помех, распознавания радиолокационных целей, разделения сигналов в системах с повторным использованием частот (ПИЧ), дистанционного зондирования земных покровов, а также передачи сообщений посредством поляризационной модуляции параметров ЭМВ. Поэтому традиционно поляризационные параметры антенных систем выбирались статическими, то есть фиксированными на основании усреднения параметров поляризации сигналов и помех в различных каналах связи. В то же время изменения поляризационной структуры ЭМВ обусловлены анизотропными средствами среды распространения, случайный пространственно-временной характер изменения которых требует построения динамических систем с управляемыми поляризационными параметрами приемных и передающих антенн, т.е. реализации поляризационно-временных методов обработки радиосигналов.

На рисунке 1 представлены зависимости величины энергетических потерь δq от значений геометрических параметров поляризации ЭМВ при $m=1$ для случая ее приема на антенну линейной поляризации ($\varepsilon_2=0$). Данные зависимости позволяют оценить границы области изменения энергетических потерь, обусловленных несогласованностью поляризационных характеристик принимаемой ЭМВ и приемной антенны. Указанные потери могут составлять $0 \div 3$ дБ для значений рассогласования по углу ориентации поляризационных эллипсов $\beta_1 - \beta_2 \leq \pi/4$ и значительно превышать 3 дБ для значений $\beta_1 - \beta_2 > \pi/4$, что определяет в целях обеспечения высокого уровня помехоустойчивости приема сигналов необходимость реализации методов поляризационной обработки в тех каналах связи, где возможны изменения поляризационных свойств ЭМВ.

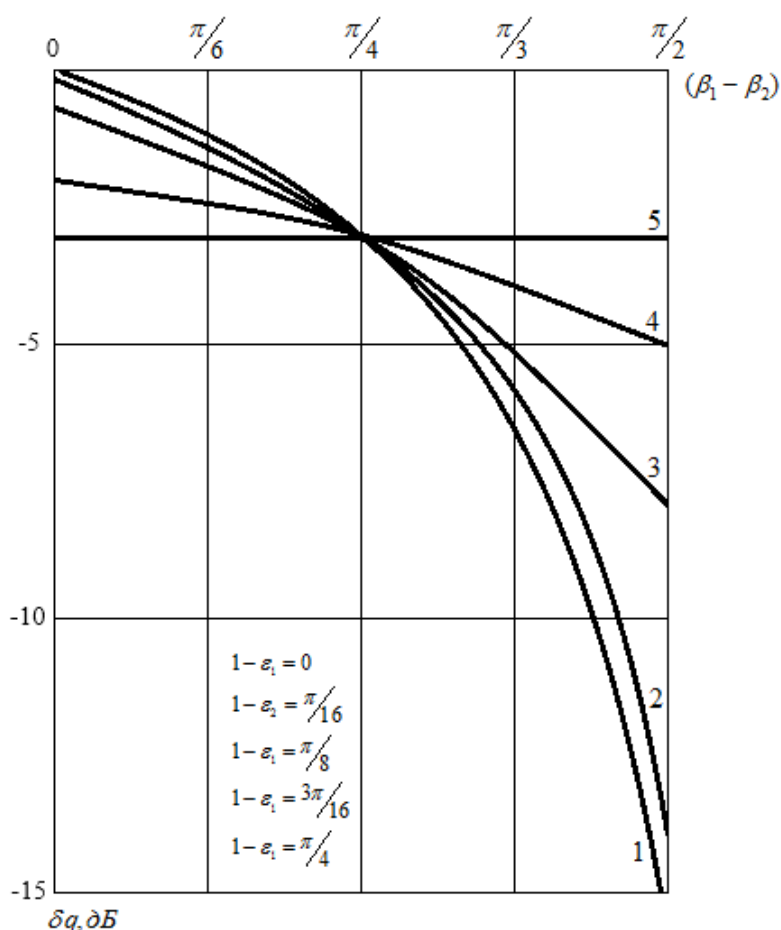


Рисунок 1 - Зависимость величины энергетических потерь от несогласованности параметров поляризации принимаемой ЭМВ и приемной антенны

Интерес к поляризационно-временным методам обработки сигналов вызван еще и тем, что они допускают одновременное сочетание со всеми другими известными методами помехозащиты и, кроме того, позволяют повысить пропускную способность каналов связи путем использования поляризационного разнесения последних в системах с ПИЧ и применения поляризационно-модулированных сигналов.

В связи с этим особый интерес представляет анализ поляризационной структуры ЭМВ в каналах связи.

Во втором разделе осуществляется синтез структурных схем оптимальных приемников ПМ сигналов, проведенный методами теории нелинейной марковской фильтрации в рамках гауссовского приближения при случайном характере изменения параметров поляризации ЭМВ и фазы сигнала. Указанный синтез проводится для случаев: а) изменения угла эллиптичности; б) изменения угла ориентации.

В данном разделе решается задача синтеза оптимальных приемных устройств ПМН сигналов, являющихся перспективными для использования в системах передачи цифровой информации, с учетом их поляризационных свойств.

Говоря о поляризационной структуре сигналов, следует отметить, что поляризационными свойствами обладает ЭМВ, распространяющаяся в свободном пространстве. Поэтому некорректно говорить о поляризации сигнала на выходе какого-либо функционального устройства в приемном тракте. Однако, поляризационная структура ЭМВ определяется исключительно амплитудно-фазовыми соотношениями ее ортогональных компонентов. Эти соотношения сохраняются и в сигналах, которые появляются на выходах приемной антенны. С применением аппарата оптимальной нелинейной фильтрации получен алгоритм работы приемника ПМН сигналов, реализующего слежение за элементами вектора $\Lambda(t)$. Элементами вектора $\Lambda(t)$ являются параметры поляризации ЭМВ – угол ориентации $\beta(t)$, угол эллиптичности $\varepsilon(t)$ и случайная начальная фаза $\Psi(t)$. Схема приемника ПМН сигнала (рисунок 2) с флуктуирующими параметрами включает в себя схему оценки дискретного информационного параметра (ОДП), блок слежения за параметром $\Psi(t)$ и схему поляризационно-временной обработки (ПВО) параметров $\beta(t)$ и $\varepsilon(t)$. Схема ПВО осуществляет непрерывное слежение за флуктуациями параметров поляризации в соответствии с оценочными значениями углов ориентации и эллиптичности, преобразует поляризационный базис, реализуя поляризационное согласование.

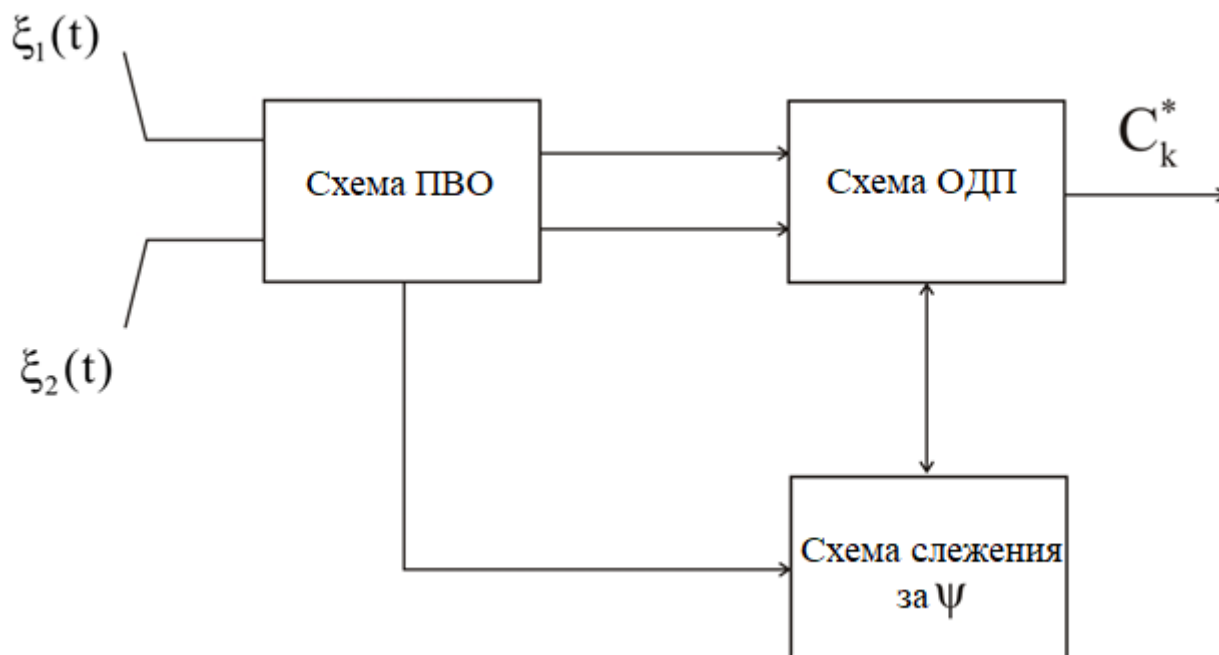


Рисунок 2 - Приемник ПМН сигнала с флуктуирующими параметрами

В третьем разделе проводится анализ эффективности методов поляризационно-временной обработки сигналов, основанный на оценке улучшения помехоустойчивости приема ПМ сигналов при реализации в рамках структуры приемного устройства системы поляризационно-временной

обработки. Одним из основных требований, предъявляемых к системам передачи цифровой информации, является обеспечение высокой достоверности приема передаваемой информации. В связи с этим анализ эффективности методов поляризационно-временной обработки принимаемых сигналов целесообразнее проводить, исходя из целевого назначения системы передачи цифровой информации, т.е. по результирующему улучшению помехоустойчивости приема сигналов, в рассматриваемом случае – сигналов ПМН. В настоящее время практически отсутствуют работы по оценке влияния неидеальности поляризационного согласования приемной антенны и принимаемой ЭМВ на помехоустойчивость приема сигналов ПМН. Поэтому ниже приводится анализ помехоустойчивости приема сигналов ПМН применительно к задачам поляризационно-временной обработки.

Снижение уровня помехоустойчивости приема цифровой информации, обусловленное поляризационной несогласованностью параметров ЭМВ в приемной антенне, можно оценить исходя из величины энергетических потерь. Анализ данных соотношений показывает, что приближение идеальной помехоустойчивости приема сигналов к потенциальной достигается посредством улучшения качества фильтрации (оценки) поляризационных параметров принимаемой ЭМВ и последующего поляризационного согласования с ней приемной антенны, т.е. повышения точностных характеристик СПВО сигналов. Необходимая для работы СПВО информация о поляризационной структуре ЭМВ выделяется из принимаемого сигнала, подверженного воздействию помех и других дестабилизирующих факторов в канале связи. Поэтому даже самая качественная схема фильтрации параметров поляризации ЭМВ будет обладать конечной точностью, характеризуемой значениями апостериорных дисперсий ошибок фильтрации. Очевидно, что при этом реальная помехоустойчивость приема сигналов будет асимптотически приближаться к потенциальной по мере увеличения точности работы СПВО.

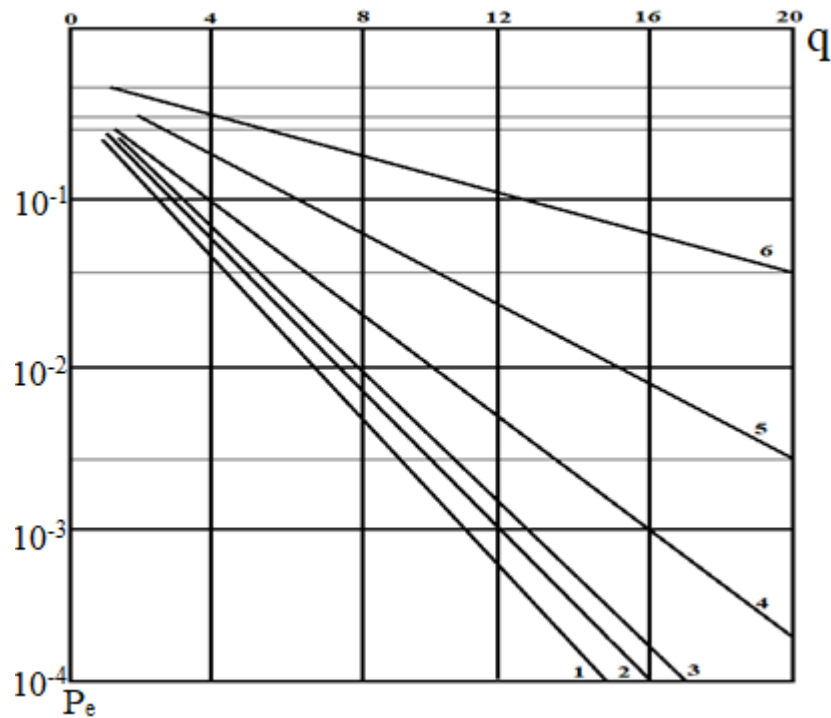


Рисунок 3 - Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум ($\sigma_\beta^2 = 10^{-2}$; $\sigma_\phi^2 = 10^{-3}$ рад.²) 1 – идеальный прием; 2 - $m_\beta = m_\phi = 10$; 3 - $\beta_0 = 0$; 4 - $\beta_0 = \pi / 6$; 5 - $\beta_0 = \pi / 4$; 6 - $\beta_0 = \pi / 3$.

Результаты расчета вероятности ошибки P_e , представлены на рисунке 3. Графики иллюстрируют зависимость средней вероятности ошибки P_e от отношения сигнал/шум для двух рассматриваемых случаев: а) когда на приемной стороне осуществляется согласование по углу ориентации плоскости поляризации ЭМВ $\beta(t)$ (кривая 2); б) когда такое согласование не реализуется (кривые 3, 4, 5, 6). В последнем случае расчеты P_e выполнены для четырех значений $\beta_0 = 0; \frac{\pi}{3}; \frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{6}$. Для сравнения на рисунке 3 представлена зависимость вероятности ошибки P_e от отношения сигнал/шум в случае идеального ($\Delta\beta = 0; \psi = 0$) приема сигналов ПМН (кривая 1).

Сравнение графиков на рисунке 3 позволяет заключить, что снижение помехоустойчивости приема, обусловленное поляризационной рассогласованностью по углу $\beta(t)$, может быть существенным и определяется, в основном, значением математического ожидания β_0 . Энергетические потери в отношении сигнал/шум δq , по сравнению со случаем реализации поляризационного согласования, при $P_e = 10^{-3}$, $\sigma_\beta^2 = 10^{-2}$ рад², $\sigma_\phi^2 = 10^{-3}$ рад² составляет 0,3 дБ для $\beta_0=0$ и 1, 3 дБ для $\beta_0 = \frac{\pi}{6}$.

Дальнейшее увеличение параметра β_0 приводит к такому же снижению помехоустойчивости приема сигналов ПМН, которое может стать недопустимым

для систем передачи цифровой информации, и, следовательно, необходимость реализации методов поляризационно-временной обработки в данной ситуации является очевидной.

В четвертом разделе проводится моделирование синтезированного во втором разделе оптимального приемника ПМ сигнала для случая изменения угла ориентации поляризации ЭМВ. Целью моделирования является подтверждение справедливости результатов теоретического исследования, проводимого во втором и третьем разделах. На основе модели оптимального приемника проводится анализ чувствительности синтезированных алгоритмов фильтрации непрерывных параметров (угла ориентации плоскости поляризации ЭМВ и фазы сигнала) к отклонениям от априорных данных.

В качестве исследуемой радиосистемы выступает синтезированная схема приемника ПМН при линейной поляризации ЭМВ (рисунок 2).

Проверка работоспособности синтезированного приемника в стационарном режиме работы заключается в количественном анализе таких его основных характеристик, определяющих целевое назначение приемника, как средняя вероятность ошибки при приеме одного информационного символа и средний квадрат ошибок фильтрации непрерывных параметров сигнала (угла ориентации плоскости поляризации $\beta(t)$ и фазы $\varphi(t)$), а также в сравнении их с расчетными.

Средняя вероятность ошибки в приеме одного информационного символа в процессе моделирования оценивалась как относительная частота появления неверно принятых символов:

$$P_e^* = M_{\text{ош}}/N,$$

где N – необходимый объем выборки информационных символов; $M_{\text{ош}}$ – количество ошибочных символов из общего числа N .

Необходимый объем выборки определялся в соответствии с неравенством $N \geq N_{\min}^*$ при $\alpha = 0.05$, $\gamma = 0.95$ для заданных значений отношения сигнал/шум q с учетом однозначного соответствия рассчитанной вероятности ошибки $P_e = f(q)$.

Результаты полученной зависимости средней вероятности ошибки P_e^* от отношения сигнал/шум q показаны на рисунке 4, где кривая 1 отражает теоретическую зависимость, а кривая 2 – зависимость, полученную в результате моделирования. Изменения требуемого отношения сигнал/шум q задавались в модели соответствующими изменениями амплитуды сигнала A_0 при фиксированных значениях параметра дискретного частично поляризованного шума наблюдения. В процессе моделирования зависимость $P_e^* = f(q)$ определялась в диапазоне значений $q = 4 \div 10$. Ограничивающим фактором ($q_{\max} = 10$) при этом

являлась высокая продолжительность испытаний, определяемая непрерывным временем расчета, которая составила $t_{оф} \approx 3$ часа при $N = 3.5 \cdot 10^6$ символов (определяемая неравенством Чебышева величина N_{\min}^* составляет $3.2 \cdot 10^6$ символов для $\alpha = 0.05$, $\gamma = 0.95$).

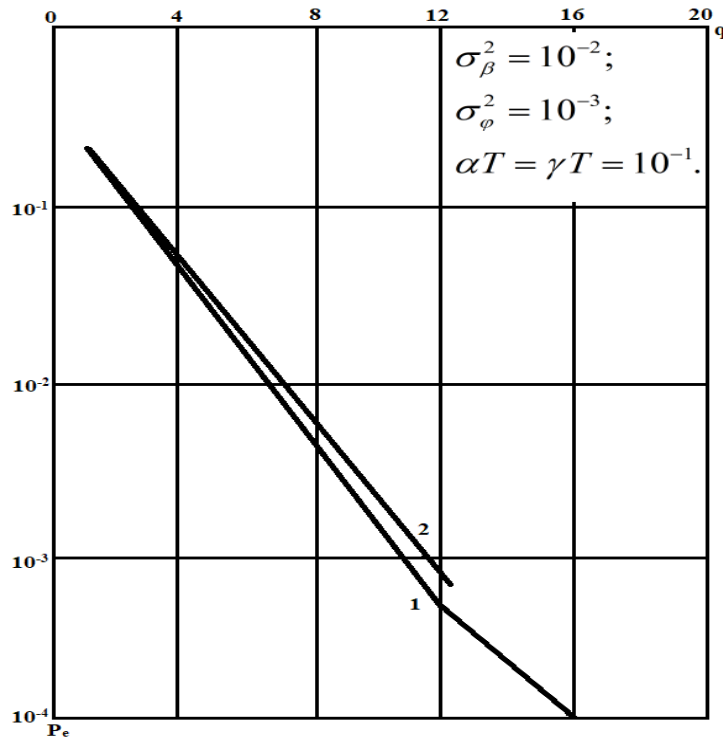


Рисунок 4 - Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум: 1 – теоретическая; 2- полученная в результате моделирования

Сравнительный анализ полученных зависимостей (рисунок 4) показывает, что помехоустойчивость приема ПМН сигналов, обеспечиваемая синтезированным приемником и реализованном в виде цифровой модели, достаточно близка к теоретической. При этом величина расхождения результатов равная:

$$\delta P_e = \frac{|P_e^* - P_e|}{P_e},$$

не превышает $(0.1 \div 0.15)$ для значений отношения сигнал/шум $q \leq 10$ ($P_e \geq 1.6 \cdot 10^{-3}$). Данное расхождение δP_e объясняется совокупностью причин, среди которых особо следует выделить следующие: близость значения выбранного объема выборки N при отношении сигнал/шум $q=10$ к минимальному N_{\min}^* ; различие значений апостериорных дисперсий ошибок фильтрации $K_{\beta\beta}$ и $K_{\phi\phi}$, полученных в

результате моделирования ($K_{\beta\beta}^* = 9.2 \cdot 10^{-3}$, $K_{\text{эф}}^* = 5.84 \cdot 10^{-2}$ для $q=10$, $\alpha T = \gamma T = 10^{-1}$) и теоретически.

В заключении формируются основные выводы по результатам работы.

Основные результаты НКР сводятся к следующему:

1. Проведен анализ поляризационной структуры ЭМВ в каналах связи, позволивший выявить причины и особенности изменений данной структуры.
2. Синтезированы оптимальные структурные схемы поляризационно-временной обработки сигналов ПМН для случаев: линейной и эллиптической поляризации ЭМВ. Определены функциональные связи систем поляризационно-временной обработки с другими системами приемного устройства ПМН: схемой оценки дискретного информационного параметра, системой фазовой синхронизации и оценки поляризационных параметров ЭМВ.
3. Найденны оптимальные значения параметров функциональных элементов приемного устройства, осуществляющего поляризационно-временную обработку сигнала ПМН.
4. Определены характеристики систем поляризационно-временной обработки и фазовой синхронизации сигналов ПМН.
5. Получены формулы для расчета вероятности ошибки в приеме информационного символа при неидеальном поляризационном согласовании принимаемой ЭМВ с антенной системой и неидеальной фазовой синхронизации сигнала ПМН.
6. Проведен анализ влияния статистических характеристик флуктуаций параметров поляризации и фазы высокочастотного колебания на помехоустойчивость приема сигнала ПМН.
7. Выполнено моделирование приемника сигнала ПМН с целью проверки результатов теоретических исследований.
8. На основе модели приемника проанализирована чувствительность синтезированных систем поляризационно-временной обработки и фазовой синхронизации сигнала ПМН к отклонениям параметров указанных систем от априорных.

Результаты работы позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. В радиолиниях передачи данных необходимо осуществлять анализ и учет поляризационных свойств ЭМВ, случайный характер изменения которых приводит к несогласованности поляризационных параметров ЭМВ и приемной антенны, а, следовательно, и к дополнительным энергетическим потерям при приеме.
2. Наличие энергетических потерь вызывает снижение помехоустойчивости приема сигналов в радиолиниях передачи данных, что в отсутствии систем оптимальной поляризационной обработки сигналов является причиной снижения

эксплуатационных характеристик систем передачи информации ниже нормативных.

3. Компенсация возникающих энергетических потерь в радиолиниях передачи данных может быть осуществлена реализацией системы поляризационно-временной обработки сигналов в общем случае как на приемной, так и на передающей стороне. Реализация в приемном устройстве систем поляризационно-временной обработки фазовой синхронизации сигналов ПМН позволяет обеспечить помехоустойчивость их приема близкую к потенциальной.

4. Реализация систем поляризационно-временной обработки сигналов ПМН вызывает определенные усложнения структуры приемников, однако, это полностью компенсируется показателями энергетического выигрыша.

5. Результаты проведенного моделирования подтвердили работоспособность и реализуемость синтезированных алгоритмов поляризационно-временной обработки сигналов.

6. Результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что реализация систем поляризационно-временной обработки сигналов является актуальной и возможной в современных радиолиниях передачи данных.

В приложение выносятся основные соотношения оптимальной нелинейной марковской фильтрации дискретно-непрерывных процессов.