

**Трубчанінова Карина Артурівна**

УДК 621.391.2:621.396.96

**СИНТЕЗ СИСТЕМ ПРИЙОМУ СИГНАЛІВ У КАНАЛАХ  
ЗВ'ЯЗКУ З «ПАМ'ЯТТЮ»**

05.12.02 - Телекомунікаційні системи та мережі

**ДИСЕРТАЦІЯ**

на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник –  
доктор технічних наук, професор  
Поляков Петро Федорович

Харків 2008

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1.</b>	
<b>АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З «ПАМ'ЯТТЮ»</b> .....	10
1.1. Фізична модель каналу зв'язку з «пам'яттю».....	10
1.2. Математична модель каналу зв'язку з «пам'яттю».....	15
1.3. Марківська модель каналу зв'язку з «пам'яттю».....	21
Висновки.....	29
<b>РОЗДІЛ 2.</b>	
<b>АДАПТИВНЕ ПРИЙМАННЯ АМПЛІТУДНО-МОДУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ З «ПАМ'ЯТТЮ»</b> .....	30
2.1. Постановка задачі приймання сигналів.....	30
2.2. Моделі сигналів повідомлень та завад у каналах зв'язку.....	31
2.3. Синтез алгоритмів адаптивного приймання АМ - радіосигналів при неповній апріорній інформації відносно коефіцієнта зносу марківського повідомлення.....	33
2.4. Синтез алгоритмів та систем приймання АМ – радіосигналів при відомій апріорній інформації відносно параметрів сигналів та завад.....	44
2.5. Порівняльний аналіз алгоритмів та схем систем адаптивного і неадаптивного приймання АМ – радіосигналів.....	48
2.6. Розрахунок та аналіз виграшу у завадостійкості адаптивного приймання АМ – радіосигналів.....	50
Висновки.....	55
<b>РОЗДІЛ 3.</b>	
<b>АДАПТИВНЕ ПРИЙМАННЯ АМ - РАДІОСИГНАЛІВ З ВИПАДКОВОЮ ПОЧАТКОВОЮ ФАЗОЮ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ З «ПАМ'ЯТТЮ»</b> .....	56

3.1. Постановка задачі приймання сигналів.....	56
3.2. Синтез алгоритмів та систем адаптивного приймання АМ – радіосигналів.....	57
3.3. Синтез приймачів АМ – радіосигналів з випадковою початковою фазою при апріорній визначеності відносно параметрів сигналів та завад.....	70
3.4. Порівняльний аналіз алгоритмів та схем адаптивного і неадаптивного приймання АМ - радіосигналів з випадковою початковою фазою.....	76
3.5. Розрахунок та аналіз виграшу у завадостійкості адаптивного приймання АМ – радіосигналів з випадковою початковою фазою.....	77
3.6. Адаптивне приймання ДМ – радіосигналів з випадковою початковою фазою в каналах зв'язку з «пам'яттю» та адитивним флуктуаційним шумом.....	82
Висновки.....	87

#### **РОЗДІЛ 4.**

<b>СИНТЕЗ АЛГОРИТМІВ ТА СИСТЕМ АДАПТИВНОГО ПРИЙМАННЯ АМ - РАДІОСИГНАЛІВ В КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ З «ПАМ'ЯТТЮ», АДИТИВНИМ ШУМОМ ТА СТРУКТУРНИМИ ЗАВАДАМИ.....</b>	<b>88</b>
4.1. Постановка задачі приймання сигналів.....	88
4.2. Синтез алгоритмів та систем адаптивного приймання АМ – радіосигналів при дії вузькосмугової завади.....	89
4.3. Синтез алгоритмів та систем адаптивного приймання АМ – радіосигналів при дії широкосмугової завади.....	104
Висновки.....	120
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>121</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>124</b>
Додаток А Вирази для визначення функції $F_1$ та її похідних $F_{1j}$ .....	140
Додаток Б Системи рівнянь для визначення значень кумулянтів.....	158
Додаток В Акт впровадження в навчальний процес.....	166

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В теперішній час достатньо добре розвита марківська теорія нелінійної фільтрації, яка є конструктивною при рішенні задач синтезу систем прийому та обробки сигналів у каналах з адитивними завадами. При цьому використовується гауссівська апроксимація апостеріорної щільності розподілу ймовірностей. На основі цієї теорії отримані рішення багатьох задач прийому сигналів з адитивними завадами.

Основи теорії закладені Р.Л. Стратоновичем [21-23]. Подальший розвиток марківська теорія нелінійної фільтрації отримала у роботах [1-11, 13, 64-66 та ін.].

Сучасні системи зв'язку використовують, як правило, фізичні канали зі статистично неоднорідними середовищами [12, 65, 66, 67, 75, 76-80, 82, 90-97 та ін.], які мають «пам'ять» (інтервал часу багатопроменевості). Однак, як відомо, безпосереднє використання результатів марківської теорії нелінійної фільтрації, яка була сформована до 70-х років і стала сьогодні класичною, для каналів з «пам'яттю» неможливе. Крім цього, для використання марківської теорії нелінійної фільтрації необхідні обширні апріорні відомості про параметри сигналів та завад у каналі зв'язку, про характер їх взаємодії. На практиці розробник системи зв'язку часто не має можливості мати необхідні апріорні дані. В зв'язку з цим актуальним є рішення задачі розробки методів подолання апріорної невизначеності відносно невідомих та випадкових параметрів сигналів, завад та каналів зв'язку. В цьому напрямку отримані значні результати в наукових працях вітчизняних та закордонних вчених [11, 25, 57-64, 66, 69, 74, 75, 83, 84-88, 92, 93, 105 та ін.]. При цьому можливість рішення задачі адаптивного прийому на основі марківської теорії нелінійної фільтрації сигналів, що пройшли канал з «пам'яттю» та адитивними завадами не досліджувалася.

Актуальність теми дисертаційних досліджень обумовлюється необхідністю синтезу систем прийому сигналів, які пройшли канал зв'язку з

«пам'яттю» та адитивними завадами в умовах апріорної невизначеності (адаптивного прийому), для підвищення завадостійкості прийому.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження, результати яких подано у дисертаційній роботі, проводилися в межах наукових досліджень кафедр «Транспортного зв'язку» та «Менеджменту організації на транспорті» Української державної академії залізничного транспорту згідно з планом науково-дослідної роботи з держбюджетних тем: «Дослідження та визначення методів та засобів радіомоніторингу на залізницях України» (№ДР 0107U007062), «Економічне обґрунтування шляхів реформування телекомунікаційної галузі залізничного транспорту відповідно до Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту України» (№ДР 0107U009676), «Розробка економічної моделі управління якістю послуг системи зв'язку на залізничному транспорті» (№ДР 0106U009864).

**Мета і задачі досліджень.** Метою дисертаційної роботи є підвищення завадостійкості адаптивних систем прийому та обробки сигналів, які пройшли канал зв'язку з «пам'яттю» з адитивними завадами при довільних випадкових параметрах сигналу та завади.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Подальший розвиток марківської моделі сигналу на виході багатопроменевого каналу зв'язку.

2. Розробка методів прийому сигналів на виході каналу з «пам'яттю» при наявності адитивних завад та неповній апріорній інформації відносно параметрів сигналу та завади.

3. Синтез алгоритмів і систем прийому радіосигналів на виході багатопроменевого каналу зв'язку з адитивними завадами при неповній апріорній інформації відносно параметрів сигналу та завади.

4. Дослідження завадостійкості прийому та розрахунок виграшу у зменшенні відносної середньоквадратичної похибки фільтрації адаптивного приймача.

**Об'єкт дослідження.** Процес перетворення сигналів в каналах з «пам'яттю» та адитивними завадами.

**Предмет дослідження.** Оптимальні алгоритми та системи прийому сигналів в каналах з «пам'яттю» при дії адитивних завад.

**Методи дослідження.** Теорія функціонального аналізу, теорія випадкових процесів, теорія ймовірностей, математична статистика.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Головним новим науковим результатом дисертаційної роботи є рішення задачі статистичного синтезу оптимальних методів і систем прийому сигналів, які пройшли канал зв'язку з «пам'яттю» при наявності адитивних завад при невідомих постійних параметрах сигналу та завад на базі марківського підходу.

У межах головного результату отримані наступні наукові результати:

1. Отримала подальший розвиток марківська модель сигналу на виході багатопроменевого каналу зв'язку при неповній апріорній інформації відносно параметрів сигналу та завади.

2. Вперше розроблений метод оптимального прийому АМ радіосигналів в каналах з «пам'яттю» при наявності адитивних завад з випадковими початковою фазою та коефіцієнтом зносу корисного повідомлення.

3. Вперше розроблений метод оптимального прийому АМ радіосигналів в каналах з «пам'яттю» при наявності структурних вузькосмугових та широкосмугових адитивних завад з випадковими початковою фазою, затримкою, коефіцієнтом зносу корисного повідомлення та фазою і затримкою структурної завади.

**Практичне значення отриманих результатів** досліджень полягає в наступному:

1. Синтезовані схеми оптимальних прийомних систем сигналів в каналах з «пам'яттю» при наявності адитивних завад з випадковими початковою фазою та коефіцієнтом зносу корисного повідомлення, що

дозволило на порядок зменшити відносну похибку фільтрації у зрівнянні з випадком відомої початкової фази.

2. Синтезовані схеми оптимальних прийомних систем сигналів в каналах з «пам'яттю» при наявності структурних вузькосмугових та широкосмугових адитивних завад з випадковими початковою фазою, затримкою, коефіцієнтом зносу корисного повідомлення та фазою і затримкою структурної завади, завадостійкість яких підвищилась на порядок у зрівнянні з умовами відомості параметрів сигналу та завади.

3. Проведений порівняльний аналіз алгоритмів, схем та завадостійкості систем адаптивного та неадаптивного прийому АМ сигналів.

4. Здійснений розрахунок виграшу у завадостійкості адаптивного прийому, який показав зменшення відносної середньоквадратичної похибки фільтрації адаптивного приймача у декілька разів по відношенню з неадаптивним при умові суттєвої апріорної невизначеності.

5. Отримані результати використані у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту у дисципліні «Теорія електричного зв'язку» для студентів спеціальностей «Телекомунікаційні системи та мережі», «Автоматика та автоматизація на транспорті» та слухачів Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів.

**Особистий внесок автора.** Всі основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації отримані автором самостійно. Роботи [2-5] були опубліковані без співавторів. У статті [1], написаної у співавторстві, автором виконано обґрунтування критерію оптимальності прийому та методу синтезу оптимальних приймачів складних аналогових сигналів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертації доповідалися і були схвалені на наступних науково-технічних конференціях і семінарах:

- 67-69-й міжнародних науково – технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств, УкрДАЗТ, м. Харків, 2005-2007 рр.

- 18-20-й міжнародних науково – практичних конференціях «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті», м. Алушта: Крим, 2005-2007 рр.

- III науковій конференції ХУПС ім. І. Кожедуба, м. Харків, 2007р.

- I міжнародній конференції «Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України», м. Євпаторія, 2007р.

**Публікації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження опубліковано у 8 роботах, з них 5 статей – в наукових виданнях, включених у перелік ВАК України (2 статі у науково-технічних журналах, 3 статті – у збірниках наукових праць), 3 тез-доповідей на наукових конференціях.

**Основні наукові результати дисертації опубліковані у наступних працях:**

1. Поляков П.Ф. Оптимальний та квазіоптимальний прийом складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом. Частина 1. Обґрунтування критерію оптимальності прийому та метода синтезу оптимальних приймачів складних аналогових сигналів / П.Ф. Поляков, К.А. Трубочанінова // Телекомунікаційні системи та мережі на залізничному транспорті: зб. наук. праць – Х., 2005. – Вип. 71. – С. 202 – 214.

2. Трубочанінова К.А. Оптимальне та квазіоптимальне приймання складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом Частина 2. Синтез приймачів А-ФМ складних аналогових сигналів / К.А. Трубочанінова // Телекомунікаційні системи та мережі на залізничному транспорті: зб. наук. праць – Х., 2006. – Вип. 78. – С. 52 – 66.

3. Трубочанінова К.А. Оптимальне та квазіоптимальне приймання складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом Частина 3. Синтез приймачів А-ЧМ складних



аналогових сигналів / К.А. Трубчанинова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №3 – С. 74 – 78.

4. Трубчанинова К.А. Адаптивне приймання АМ сигналів в каналах зв'язку з «пам'яттю» / К.А. Трубчанинова // Вісник Кременчузького державного політехнічного університету ім. Остроградського. – 2008. - №1(48) – С. 23 – 29.

5. Трубчанинова К.А. Синтез квазиоптимального приемника сложных аналоговых сигналов на фоне узкополосной помехи и гауссовского белого шума / К.А. Трубчанинова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008.– №1 – С. 40 – 47.

6. Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті: матеріали доповідей 19-й міжнародної науково-практичної конференції [«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»], (Алушта, 11-16 вересня 2006 р.) / Укр. держ. акад. залізн. тр-ту. - Х.: Укр. держ. акад. залізн. тр-ту, 2006. – №4 - С. 19.

7. Ресурсозберігаючі технології в експлуатації засобів транспорту в умовах реформування залізниць України: тези доповідей Першої міжнародної конференції, (Євпаторія, 22-25 травня 2007 р.) / Укр. держ. акад. залізн. тр-ту. - Х.: Укр. держ. акад. залізн. тр-ту, 2007. – С. 49.

8. Перспективні системи контролю і управління на залізничному транспорті: матеріали доповідей 20-й міжнародної науково-практичної конференції [«Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті»], (Алушта, 1-6 жовтня 2007 р.) / Укр. держ. акад. залізн. тр-ту. - Х.: Укр. держ. акад. залізн. тр-ту, 2007. – №4 - С. 48.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стратонович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления / Р.Л. Стратонович. – М.:МГУ, 1966. – 319 с.
2. Ярлыков М.С. Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике / М.С. Ярлыков. – М.: Советское радио, 1980. – 360 с.
3. Миронов М.А. О стохастических дифференциальных уравнениях оценки параметров и нелинейной фильтрации сигналов на фоне белого шума / М.А. Миронов, М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. - 1973. - №9. – С.1826-1831.
4. Первачев С.В. Многомерный алгоритм скользящего адаптивного приема / С.В. Первачев, А.И. Перов. // Автоматика и телемеханика. – 1977. - № 6. - С. 57-63.
5. Кульман Н.К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов / Н.К. Кульман, В.И. Тихонов. - М.: Сов. Радио, 1975. – 704 с.
6. Артемьев В.М. Оптимизация динамических систем случайной структуры / В.М. Артемьев, И.Е. Казаков. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
7. Первачев С.В. Улучшенный алгоритм скользящего адаптивного приема / С.В. Первачев, А.И. Перов. // Труды МЭИ. – 1975. - Вып. 230. - С. 27-31.
8. Первачев С.В. Адаптивная фильтрация сообщения неизвестной интенсивности / С.В. Первачев. // Межвуз. сб. – Горький. – 1976. – Вып.11. – С. 69-81.
9. Перов А.И. Адаптивная фильтрация сообщения с неизвестными статистическими характеристиками / А.И. Перов. // Известия вузов. Серия Радиоэлектроника. – 1980. - №4. – С. 40-45.

10. Первачев С.В. Дискретный алгоритм скользящего адаптивного приема / С.В. Первачев, А.И. Перов. // Радиотехника и электроника.- 1981. - №1. – С.73-79.
11. Ефименко В.С. Адаптивный прием радиосигналов с неизвестной частотой / В.С. Ефименко, В.И. Тихонов. // Радиотехника и электроника. – 1979. - № 4. - С. 765-773.
12. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений / Л.М. Финк. –М.: Сов. радио, 1970. - 728 с.
13. Снайдер Л.Д. Метод уравнения состояния для непрерывной оценки в применении к теории связи / Л.Д. Снайдер; пер. с англ. / под ред. В.Б. Силина. - М.: Энергия, 1973. – 104 с.
14. Мелса Дж. Л. Теория оценивания и ее применение в связи управления / Дж. Л. Мелса, Э.П. Сейдж; пер. с англ. / под ред. Б.Р. Левина. - М.: Связь, 1976. – 496 с.
15. Jazinski А.Н. Stochastic processes and filtering theory / А.Н. Jazinski. // New York: Academic Press, 1970. – 376 p.
16. Фильтрация и стохастическое управление в динамических системах: Пер. с англ. / Под ред. К.Т. Леондеса. - М.: Мир, 1980. – 348 с.
17. Шахурин А.П. Исследование чувствительности алгоритмов одновременного обнаружения-оценивания к изменению априорных данных / А.П. Шахурин. // Известия вузов. Серия Радиоэлектроника. – 1980. - №4. – С. 78.
18. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 3-х кн. / Б.Р. Левин. – М.: Сов. радио, кн. 1, 1974. – 552 с.; кн. 2, 1975. – 392 с.
19. Ли Р. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление: Пер. с англ. / Под ред. Я.З. Цыпкина. - М.: Наука, 1966. – 486 с.
20. Справочник по специальным функциям с формулами, графиками и математическими таблицами / Под ред. М.А. Абрамовица, И. Стиган: Пер. с англ. / Под ред. В.А. Диткина, В.Л. Кармазинной. - М.: Наука, 1979. – 953 с.

21. Стратонович Р.Л. К теории оптимальной нелинейной фильтрации случайных процессов / Р.Л. Стратонович. // Теория вероятностей и ее приложения – 1959 –т.4. – С. 239-247.
22. Стратонович Р.Л. Применение теории марковских процессов для оптимальной фильтрации сигналов. / Р.Л. Стратонович. // Радиотехника и электроника. – 1960. - № 11, С. 1751-1763.
23. Стратонович Р.Л. Условные процессы Маркова / Р.Л. Стратонович. // Теория вероятностей и ее применения, 1960, - т. 5. - Вып. 2. - С. 172-195.
24. Стратонович Р.Л. Избранные вопросы теории флуктуаций в радиотехнике / Р.Л. Стратонович. - М.: Советское радио, 1961. – 439 с.
25. Стратонович Р.Л. Принципы адаптивного приема / Р.Л. Стратонович. - М.: Сов. Радио, 1973. – 144 с.
26. Snyder D.L. The state-variable approach to continuous estimation with application to analog communication theory. MIT Res / Monogr., 1969.
27. Черняков М.В. Субоптимальный прием некогерентных сигналов в асинхронно-адресных системах с частотно-временным кодированием / М.В. Черняков, М.С. Ярлыков. // Проблемы передачи информации – 1973. – т.9. - №2. – С. 43-52.
28. Черняков М.В. Квазиоптимальный прием сигналов в асинхронных адресных системах связи с частотно-временной матрицей / М.В. Черняков, М.С. Ярлыков. // Известия вузов СССР. Серия Радиоэлектроника. – 1973. – т. 16 - №5. – С. 42-50.
29. Миронов М.А. Оптимальная нелинейная фильтрация гауссовых непрерывных сообщений в радиотехнических системах передачи информации / М.А.Миронов, М.С. Ярлыков. // Радиотехника. – 1975. – т. 30. - №3. – С. 15-21.
30. Миронов М.А. Оценка точности метода гауссовой аппроксимации в марковской теории оптимальной нелинейной фильтрации

для случая импульсных сигналов / М.А.Миронов, М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. – 1973. – т. 18. - №11. – С. 2302-2310.

31. Черняков М.В. Оптимальный прием сигналов с времяимпульсной модуляцией в асинхронных адресных системах связи / М.В.Черняков, М.С. Ярлыков. // Проблемы передачи информации – 1974. – т.10. - №4. – С. 56-64.

32. Черняков М.В. Оптимальная обработка сигналов в асинхронных адресных системах передачи информации с учетом подвижности абонентов / М.В. Черняков, М.С. Ярлыков. // Проблемы управления и теории информации – 1977. – т.6. - №6. – С. 36-48.

33. Миронов М.А. О применимости гауссовой аппроксимации в марковской теории оптимальной нелинейной фильтрации / М.А. Миронов, М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. – 1972. – т. 17. - №11. – С. 2285-2294.

34. Саютин Ю.В. Фильтрация марковских сигналов на фоне марковских помех и белого шума / Ю.В. Саютин, А.С. Степанов. // Радиотехника и электроника. – 1972. – т. 17. - №5. – С. 962-971.

35. Тихонов В.И. Нелинейная оптимальная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов / В.И. Тихонов. // Известия вузов СССР. Серия Радиоэлектроника. – 1970. – т. 13 - №2. – С. 152-170.

36. Перов В.В. Статистический синтез импульсных систем / В.В. Перов. – М.: Советское радио, 1959.

37. Кульман Н.К. Помехоустойчивость различных видов импульсной модуляции при передаче речевого сообщения / Н.К. Кульман. // Вестник Московского университета. Серия 3. – 1969. - №2. – С. 69-81.

38. Ярлыков М.С. Фильтрация речевого сообщения импульсных радиосигналов / М.С. Ярлыков. // Проблемы передачи информации. – 1969. – т. 5. - № 2. – С. 37-44.

39. Ярлыков М.С. Фильтрация оптимальными радиоприемниками сообщения с типовым энергетическим спектром / М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. – 1970. – т. 15. - №5. – С. 950-959.
40. Ярлыков М.С. Нелинейная фильтрация оптимальными радиоприемниками узкополосного сообщения / М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. – 1971. – т. 16. - №2. – С. 282-290.
41. Ярлыков М.С. Оптимальный прием сигналов с внутриимпульсной частотной модуляцией / М.С. Ярлыков. // Радиотехника и электроника. – 1971. – т. 16. - №1. – С. 92-103.
42. Кульман Н.К. Помехоустойчивость импульсных систем марковского случайного сигнала / Н.К. Кульман. // Вестник Московского университета. Серия 3. – 1966. - №2. – С. 21-34.
43. Кульман Н.К. Оптимальные приемники, осуществляющие фильтрацию некоторых марковских негауссовых сигналов на фоне помех. Кандидатская диссертация. МГУ – 1966.
44. Ярлыков М.С. Оптимальный прием импульсных радиосигналов в случае частотной вторичной модуляции / М.С. Ярлыков. // Проблемы передачи информации. – 1971. – т. 7. - №1. – С. 58-67.
45. Амиантов И.Н. Избранные вопросы статистической теории связи / И.Н. Амиантов. – М.: Советское радио, 1971. – 416 с.
46. Степанов А.С. Совместная фильтрация непрерывных и дискретных марковских процессов / А.С. Степанов, В.И. Тихонов. // Радиотехника и электроника. – 1973. – т. 18. - №7. – С. 1376-1383.
47. Бакаев Ю.Н. Оптимальная нелинейная фильтрация случайного телеграфного сигнала / Ю.Н. Бакаев. // Техническая кибернетика. – 1968. - № 4. – С. 50-54.
48. Саютин Ю.В. Синтез автоматических систем передачи информации с нелинейными фильтрами. Гл. 10 в кн. «Статистические методы в проектировании нелинейных систем автоматического управления» / Ю.В. Саютин, В.И. Тихонов. – М.: Машиностроение, 1970. – С. 281-352.

49. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – М.: Советское радио, 1966. – 680 с.
50. Кульман Н.К. Фазовая автоподстройка частоты и оптимальное измерение параметров узкополосного сигнала с непостоянной частотой в шуме / Н.К. Кульман Р.Л., Стратонович. // Радиотехника и электроника. – 1964. – т. 9. - №1. – С. 67-76.
51. Кульман Н.К. Оптимальный прием сигнала с непостоянной частотой и амплитудой на фоне шумов / Н.К. Кульман. // Радиотехника и электроника. – 1964. – т. 9. - №9.
52. Тихонов В.И. Нелинейная оптимальная фильтрация и квазикогерентный характер фазовой подстройки частоты / В.И. Тихонов. // Техническая кибернетика. – 1965. – №2. – С. 6-14.
53. Тихонов В.И. Помехоустойчивость оптимальных методов приема ФМ и ЧМ радиосигналов / В.И. Тихонов. // Электросвязь. – 1969. – №3. – С. 20-26.
54. Кловский Д.Д. Обработка пространственно-временных сигналов / Д.Д. Кловский, В.А. Соيفер. – М.: Связь, 1976. – 402 с.
55. Кловский Д.Д. Инженерная реализация радиотехнических систем (в системах передачи дискретных сообщений в условиях символьной интерференции) / Д.Д. Кловский, Б.И. Николаев. – М.: Связь, 1975. – 502 с.
56. Тихонов В.И. Помехоустойчивость оптимальных методов приема амплитудно-модулированных радиосигналов / В.И. Тихонов. // Электросвязь. – 1968. – №3. – С. 20-26.
57. Лохвицкий М.С. Методы адаптивного приема сигналов / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. – М.: Связь, 1974. – 160 с.
58. Статистическая теория связи и ее практическое приложение / под ред. Б.Р. Левина. - М.: Связь, 1979. – 288 с.
59. Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов / Ю.Г. Сосулин. – М.: Советское радио, 1978. – 267 с.

60. Сосулин Ю.Г. Оптимальный и неоптимальный прием сигналов в условиях неполной априорной информации / Ю.Г. Сосулин. // Радиотехника и электроника. – 1970. – №12. – С. 2543-2554.
61. Сосулин Ю.Г. Фильтрация и обнаружение марковских сигналов при неполной априорной информации / Ю.Г. Сосулин. // Радиотехника и электроника. – 1969. – №12. – С. 2136-2146.
62. Сосулин Ю.Г. Оценочно-корреляционный принцип приема сигналов на фоне помех и априорная информация / Ю.Г. Сосулин. // Радиотехника и электроника. – 1971. – №3. – С. 281-291.
63. Никитин Н.Н. О решении на ЭВМ стохастических дифференциальных уравнений следящих систем / Н.Н. Никитин, В.Д. Резевич, С.В. Первачев. // Автоматика и телемеханика. – 1975. – №4. – С. 133-137.
64. Кириллов Н.Е. Описание пространственно-временных свойств линейных каналов с переменными параметрами / Н.Е. Кириллов, В.А. Сойфер. // Проблемы передачи информации. – 1972. - №2. - С. 40-46.
65. Черняков М.В. Оптимизация асинхронных адресных систем радиосвязи / М.В. Черняков, М.С. Ярлыков. - М.: Связь, 1979. – 216 с.
66. Морроу В.Е. Общая классификация каналов: [лекции по теории систем связи под ред. Е. Дж. Багдади] / В.Е. Морроу; пер. с англ. под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1964. - С. 11-26.
67. Alspach D.L. Nonlinear bayessian estimation using gaussian sum approximation / D.L. Alspach, H.W. Sorenson. // - IEEE Trans. – 1972. - AC-17 - №4. – p. 439-448.
68. Вазов В. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных / В. Вазов, Д. Форсайт. – М.: ИЛ, 1963. – 345 с.
69. Мамаев Д.Д. Об оптимальном адаптивном приеме непрерывных марковских сигналов / Д.Д. Мамаев. // Радиотехника и электроника. – 1972. - №3. - С. 522-525.



70. Перов А.И. Квазиоптимальная непрерывно-дискретная фильтрация непрерывных сигналов / А.И. Перов. // Известия вузов «Радиоэлектроника». – 1986. – т.29, №4. - С. 59-64.

71. Перов А.И. Алгоритм адаптации фильтра Калмана к известной интенсивности флуктуационного шума / А.И. Перов. // Известия вузов «Радиоэлектроника». – 1986. – т.29, №4. - С. 65-69.

72. Пивоваров Ю.Л. Оценочно-корреляционное обнаружение сигнала с неизвестной частотой / Ю.Л. Пивоваров, Ю.Г. Сосулин. // Радиотехника и электроника. – 1971. – №9. – С. 1641-1651.

73. Лохвицкий М.С. Об одном способе приема сигналов при неизвестной априорной статистике / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Радиотехника и электроника. – 1969. – №7. – С. 1226-1228.

74. Лохвицкий М.С. Прием непрерывных сигналов при неизвестных априорных сведениях / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Радиотехника и электроника. – 1969. – т. 14. - №7. – С. 2124-2127.

75. Ван-Трис Г. Теория оценок, обнаружения и модуляции Т.1 / Ван-Трис Г. – М.: Советское радио, 1972. – 744 с.

76. Николаев Б.И. Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью / Б.И. Николаев. – Радио и связь, 1988. – 264 с.

77. Вайнштейн Д.А. Амплитуда, фаза, частота – основные понятия теории колебаний / Д.А. Вайнштейн, Д.Е. Вакман. // Успехи физических наук. – 1977. – т. 123. – №4. – С. 657-682.

78. Сифоров В.М. Об условиях получения высокой пропускной способности каналов связи со случайными изменениями параметров. / В.М. Сифоров. // Электросвязь. – 1958. – №1. – С. 3-8.

79. Винницкий А.С. Следящий прием ЧМ как метод оптимального приема сигналов с большой базой. / А.С. Винницкий. // Методы помехоустойчивого приема ЧМ и ФМ сигналов.- 1972. – С.7-17.

80. J.N. Pierce Multiple Diversity with Nonindependent Fading / J.N. Pierce, S. Stein. // Proc. IRE. - 1960. – p. 89-104.
81. Тарасенко А.Г. Расчет радиуса частотной корреляции при тропосферной радиосвязи со слабонаправленными антеннами и на трассах большой протяженности / А.Г. Тарасенко. // Труды НИИР. – 1974. - №3. – С. 88-93.
82. Андронов И.С. К вопросу об оценке эффективности разнесенного приема / И.С. Андронов, Л.М. Финк. // Электросвязь. – 1968. - №4. – С. 88-93.
83. Стратонович Р.Л. Быстрота сходимости алгоритмов оценки плотности распределения вероятностей / Р.Л. Стратонович. // Известия АН СССР. Серия «Техническая кибернетика». – 1969. - №6. – С. 3-15.
84. Лохвицкий М.С. Прием дискретных сигналов по обучающей выборке с зависимыми значениями / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Радиотехника. – 1971. – т. 26. – №4. – С. 26-28.
85. Лохвицкий М.С. Формирование апостериорной плотности вероятностей параметров сигнала при неизвестных априорных сведениях / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Труды МЭИС. – 1970. – Вып. 1. – С. 108-111.
86. Лохвицкий М.С. Прием зависимых и нестационарных сигналов при неизвестных априорных данных / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Труды учебных институтов связи. – 1970. – Вып. 48. – С. 65-70.
87. Лохвицкий М.С. Прием нестационарных сигналов в случае неизвестных априорных сведений при наличии обучающей последовательности / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Сборник трудов НТК ВЗЭИС. – 1970. – Вып. 5. – С. 65-70.
88. Лохвицкий М.С. Об оптимальном приеме одного класса сигналов при априорно неизвестной статистике / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Труды IV конференции по теории передачи и кодирования информации. – Ташкент, 1969. – С. 121-126.

89. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающих систем / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1970. – 289 с.
90. Kettel E. Ein automatischer Optimisator fur den Abgleich des Impulsent-zerrerrz. In einer Datenubertraqung / Kettel E. // Arch. Elektz. Ubertz. - 1964. - № 18. - s. 271-276.
91. Kettel E. Uber traqungesysteme mit idealer Impulstunction / Kettel E. // Arch. Elektr. Uberz. - 1961. - №15. - s 207-214.
92. Лохвицкий М.С. О работе алгоритмов самообучения приемного устройства / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Радиотехника и электроника. – 1970. – т. 15. – № 12. – С. 2630-2633.
93. Лохвицкий М.С. Об алгоритме работы приемного устройства в режиме самообучения / М.С. Лохвицкий, В.В. Шахгильдян. // Радиотехника и электроника. – 1970. – т. 15. – № 3. – С. 608.
94. Богуш Р.Л. Частотно-селективные замирения и их корреляция методом решающей обратной связи / Р.Л. Богуш, Ф.У. Джульяко, Д.Л. Репп. // ТИИЭР. – 1979. – т. 67. – № 86. – С. 67-83.
95. Овсеевич И.А. Оптимальное линейное предыскажение и корректирование сигнала при передаче его по многолучевой системе / И.А. Овсеевич, М.С. Пинскер. // Изв. АН СССР. Энергетика и автоматика. - 1959. - №2. - С.49-59.
96. Репин В.Г. Статистический синтез адаптивных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. // Радиотехника. - 1971. – т. 26. - №4. - С.8-19.
97. Кловский Д.Д. Модели непрерывных каналов связи на основе стохастических дифференциальных уравнений / Д.Д. Кловский, В.Я. Конторович, С.М. Широков. – М.: Радио и связь, 1984. - 248 с.
98. Поляков П.Ф. Статистическая теория оптимальной и квазиоптимальной дискретной обработки непрерывных и дискретных сложных сигналов / П.Ф. Поляков. // ВИНТИ. – 1984. - № 1957-84. – 122 с.
99. Kailath T. Correlation Detection of Signals Perturbed by a Raudow Channel / Kailath T. // Traus IRE, IT-6. – 1960. - №3. – p. 17-29.

100. Поляков П.Ф. Метод обратной модели / П.Ф. Поляков. // Труды IV Всесоюзной конференции по распространению радиоволн. - 1978. - С. 12.
101. Кеннеди Р. Каналы связи с замираниями и рассеянием / Кеннеди Р.; [пер. с англ. под ред. И.А. Овсеевича]. –М.: Сов. Радио, 1973. - 304с.
102. Кирилов Н.Е. Помехоустойчивая передача сообщений по линейным каналам со случайно изменяющимися параметрами / Н.Е. Кирилов. - М.: Связь, 1971. - 256с.
103. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам / Д.Д. Кловский. – М.: Радио и связь, 1982. - 304 с.
104. Куреши Ш.У.Х. Адаптивная коррекция / Куреши Ш.У.Х. // ТИИЭР. - 1985. - т. 73. - №9. - С.5-49.
105. Поляков П.Ф. Широкополосные аналоговые системы связи со сложными сигналами / П.Ф. Поляков. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.
106. Дальнее тропосферное распространение УКВ / под ред. Б.А. Введенского и др. - М.: Сов. радио, 1965. – 415 с.
107. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / пер. с англ. под ред. И.А. Овсеевича. –М.: Связь, 1979. – 520 с..
108. Поляков П.Ф. Оптимальний та квазіоптимальний прийом складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом. Частина 1. Обґрунтування критерію оптимальності прийому та метода синтезу оптимальних приймачів складних аналогових сигналів / П.Ф. Поляков, К.А. Трубочанінова // Телекомунікаційні системи та мережі на залізничному транспорті: зб. наук. праць – Х., 2005. – Вип. 71. – С. 202-214.
109. Трубочанінова К.А. Оптимальне та квазіоптимальне приймання складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом Частина 2. Синтез приймачів А-ФМ складних аналогових сигналів / К.А. Трубочанінова // Телекомунікаційні системи та мережі на залізничному транспорті: зб. наук. праць – Х., 2006. – Вип. 78. – С. 52-66.

110. Трубочанинова К.А. Оптимальне та квазіоптимальне приймання складних аналогових сигналів у каналах з постійними параметрами та флуктуаційним шумом Частина 3. Синтез приймачів А-ЧМ складних аналогових сигналів / К.А. Трубочанинова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – №3 – С. 74-78.

111. Трубочанинова К.А. Адаптивне приймання АМ сигналів в каналах зв'язку з «пам'яттю» / К.А. Трубочанинова // Вісник Кременчузького державного політехнічного університету ім. Остроградського. – 2008. - №1(48) – С. 23-29.

112. Трубочанинова К.А. Синтез квазіоптимального приемника сложных аналоговых сигналов на фоне узкополосной помехи и гауссовского белого шума / К.А. Трубочанинова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008.– №1 – С. 40-47.

113. Градштейн И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. – М.: Наука, 1971. – 1100 с.

114. Поляков В.П. Синтез приемников радиосигналов при негауссовской аппроксимации АПРВ / В.П. Поляков. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – №5 – С. 51.

115. Репин В.Г. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптации информационных систем / В.Г. Репин, Г.П. Тартаковский. – М.: Советское радио, 1977. – 432 с.

116. Поляков П.Ф. Разработка алгоритмов пространственно-временной обработки сложных сигналов. Отчет по НИР / П.Ф. Поляков. – Харьков: ХИИТ, 1982.

117. Миц А.А. Методы эффективного уплотнения каналов связи / А.А. Миц, П.Ф. Поляков. // Известия вузов СССР. Радиоэлектроника. – 1972. – т. 15. – №11 – С. 1357-1362.

118. Турин В.Я. Передача информации по каналам с памятью / В.Я. Турин. – М.: Связь, 1947. – 248 с.

119. Поляков П.Ф. Прием сигналов в многолучевых каналах / П.Ф. Поляков. – М.: Радио и связь, 1986. – 248 с.
120. Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов / С. Стирнз, Б. Уидроу. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
121. Лаки Р.В. Обзор литературы по теории связи 1968-1973 г.г.: Экспресс информация. Передача информации / Р.В. Лаки. // ВИНТИ. – 1974. – №21. – С. 123-286.
122. Пармонов А.А. Прием дискретных сигналов в присутствии межсимвольных помех. Адаптивные выравниватели / А.А. Пармонов. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – №9. – С. 36-60.
123. Андронов И.С. О потенциальной помехоустойчивости одного способа разнесенного приема / И.С. Андронов. // Электросвязь. - 1964. - №6. – С 37-49.
124. Хворостенко Н.П. О помехоустойчивости разнесенного приема замирающих сигналов / Н.П. Хворостенко. // Электросвязь. - 1964. - №1. – С 62-74.
125. Хворостенко Н.П. О помехоустойчивости разнесенного приема коррелированных сигналов / Н.П. Хворостенко. // Электросвязь. - 1964. - №9. – С 39-45.
126. Андронов И.С. О помехоустойчивости одного метода разнесенного приема / И.С.Андронов, Л.М. Финк. // Радиотехника. - 1966. - №8. – С 36-45.
127. Немировский А.С. О пропускной способности многолучевого канала при разнесенном приеме с автовыбором / А.С. Немировский. // Радиотехника. - 1961. - №9. – С 21-35.
128. Овсеевич И.А. Пропускная способность многолучевой системы / И.А. Овсеевич. // Проблемы передачи информации. - 1964. – Вып. 14. – С 23-31.

129. Бреннан Д.Г. Анализ медленных флуктуаций: [лекции по теории систем связи] / Д.Г. Бреннан; пер. с англ. под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1964. - С. 144-289.
130. Андронов И.С. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам / И.С. Андронов, Л.М. Финк. – М.: Сов. радио, 1971. – 408 с.
131. Маригодов В.К. Помехоустойчивая обработка информации. Методы оптимального линейного предсказания и корректирования / В.К. Маригодов. – М.: Наука, 1982. – 201 с.
132. Бабуров Э.Ф. Синтез оптимальных радиосистем с адаптивным предсказанием и корректированием сигналов / Э.Ф. Бабуров, В.К. Маригодов. – М.: Радио и связь, 1985. – 248 с.
133. Михайлов А.В. Высокоэффективные оптимальные системы связи / А.В. Михайлов. – М.: Связь, 1980. – 344 с.
134. Mosen H. MMSE equalization of interference in fading diversity channels / H. Mosen. // IEEE Trans. - 1984. - V.com-32. – p. 5-12.
135. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи / А.Г. Зюко. – М.: Связь, 1972. – 302 с.
136. Возефкрафт Дж.М. Последовательный прием при связи через канал с параметрами, изменяющимися во времени: [лекции по теории систем связи] / Дж.М. Возефкрафт; пер. с англ. под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1964. - С.241-288.
137. Окунев Ю.П. Системы связи с инвариантными характеристиками помехоустойчивости / Ю.П. Окунев. – М.: Связь, 1980. - 80с.
138. Захарченко В.М. Визначення змін у групуванні помилок при використанні кодоперетворювача таймерних сигнальних конструкцій / В.М. Захарченко, В.П. Поляков. // Праці УНДІРТ. - 2002. - №4 (32). – С. 34-37.
139. Коржик В.И. Помехоустойчивое кодирование дискретных сообщений в каналах со случайной структурой / В.И. Коржик, Л.М. Финк. – М.: Связь, 1975. – 272 с.

140. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи / Д. Миддлтон. – М.: Сов. Радио, 1962. - т. 2. - 831 с.
141. Кириллов Н.Е. О линейной фильтрации при межсимвольной интерференции / Н.Е. Кириллов, А.И. Черкунов. // Радиотехника. - 1972. - №11. - с. 23-27.
142. Тамм Ю.А. Адаптивная коррекция сигнала ПД / Ю.А. Тамм. – М.: Связь, 1978. - т. 2. - 144 с.
143. Бельфноре К.А. Компенсация посредством решающей обратной связи / К.А. Бельфноре, Дж.Х. Парк. // ТИИЭР. – 1979. - Т.67. - №8 -С. 67-83.
144. Диторо М. Связь в средах с рассеянием по времени и частоте при использовании адаптивной компенсации / М. Диторо. // ТИИЭР. – 1968. - №10 -С. 15-45.
145. Цыпкин Я.З. Применение метода стохастической аппроксимации к оценке неизвестной плотности по наблюдениям / Я.З. Цыпкин. // Автоматика и телемеханика. - 1966. - №3. – С. 94-96.
146. Батаев О.П. Методика оценки вероятности ошибки в каналах с быстрыми замираниями сигналов на базе функций Уолша / О.П. Батаев, Р.И. Дешин, В.П. Поляков. // Радиотехника: всеукр.межвуз. научн.-техн. сб. - 2003. - №133. – С. 182-189.
147. Уидроу Б. Адаптивные компенсаторы помех. Принцип построения и применения / Б. Уидроу и др. // ТИИЭР. - 1975. - т. 63. - №12.- С. 69-98.
148. Кисель В.А. Минимизация интерференционных помех в цифровых каналах с эхо-сигналами / В.А. Кисель. // Радио и связь. - 1973. - № 10. -С. 28-35.
149. Kailath T.A. View of three decodes of linear filtering theory / T.A. Kailath. // IEEE Trans. - 1974. - VIT-20. - № 2. - p. 146-181.
150. Кайлатс Т. Каналы с параметрами изменяющимися во времени: [лекции по теории систем связи под ред. Е. Дж. Багдади] / Т. Кайлатс; пер. с англ. под ред. Б.Р. Левина. – М.: Мир, 1964. – 402 с.



151. I.M. Jacobs Probabilities of Error Bounds for Binary Transmissions on the Slowly Fading Channel / I.M. Jacobs. // IEEE Trans Inform. Theory. - 1966. – p. 431-441.

152. P.A. Bello Predetection Diversity Combining with Selectively Fading Channels / P.A. Bello, B.D. Nelin // IRE Trans. Commun Systems. - 1962. – p. 32-42.

153. L. Turin On optimal Diversity Reception, II / L. Turin. // IRE Trans. Commun. Systems. - 1962. – p. 22 – 31.

154. B. Belabbas Adaptive Antenna against multipath / B. Belabbas, H. Denks, A. Hombostel, A. Konovaltsev. // Proc. of the 8th European Navigation Conference GNSS 2004. – Rotterdam, the Netherlands. - 2004. – p. 132-142.

155. Alle Janvander Veen Time delay estimation in dense multipath with matched subspace filter / Alle Janvander Veen, Sayit Karkmaz. // Proc. of the 5th workshop on positioning, navigation and communication, (WPNC'08), 2008. – 2008. – p. 223-236.