

решать чрезвычайно широкий круг задач теории связи и радиолокации. К их числу относились задачи, связанные с многоканальной передачей сообщений по каналам связи, задачи разнесенного приема сигналов и т.п.

Применения ГТОП. Значительное число применений теории оптимальной демодуляции сигналов относится к задачам, связанным с приемом ЧМ-сигналов и фазовой синхронизацией, а также к радиолокационным задачам.

Прием сигналов с АМ, ОБП и ЧМ рассматривался еще в середине 60-х гг. в работах американских ученых **Г. Ван Триса** [4], **Э. Витерби** [6] и В. Линдсея [10]. Ими была разработана общая методика определения зависимости отношения сигнал/шум на выходе оптимального демодулятора от отношения сигнал/шум на входе в широком диапазоне уровней принимаемого сигнала, лежащих как выше, так и ниже порогового. Такие зависимости были получены для разных классов энергетических спектров информационных (модулирующих) сообщений, в том числе для спектров типа Баттерворта, которые асимптотически могут приближаться по форме к полосовому спектру прямоугольной формы.

Теория оптимальной демодуляции многомерных сигналов, развитая Дж. Б. Томасом и Е. Вонгом [5], была применена к системам, в которых по одному каналу связи передаются несколько независимых сообщений, при этом модуляция осуществляется в два этапа. В таких системах каждое сообщение сначала модулирует с помощью АМ, ОБП или ЧМ соответствующую поднесущую, а затем эти поднесущие суммируются и результирующий сигнал модулирует основную несущую. В радиорелейных многоканальных системах связи типичной комбинацией используемых видов модуляции является ОБП — ЧМ. Г. Ван Трис рассмотрел [4] также применяя иногда комбинацию ЧМ — ЧМ. Важные исследования различных типов следящих и неследящих демодуляторов ЧМ-сигналов, обеспечивающих снижение порога при их приеме, были проведены отечественными учеными Л.Я. Кантором и В.М. Дорофеевым [11].

К упомянутому случаю относятся также и системы разнесенного приема сигналов в каналах, в которых из-за многолучевости при распространении радиоволн возникают флуктуации уровней этих сигналов. Такие системы широко применяются на практике для повышения помехоустойчивости приема сигналов при передаче сообщений в коротковолновых и тропосферных каналах. Их можно рассматривать как многоканальные системы, в которых в каждом канале происходят с определенной скоростью изменения амплитуды и фазы несущей, причем во всех каналах несущая модулирована одним и тем же сообщением и действуют независимые шумы. Оптимальная структура системы разнесенного приема была получена Г. Ван Трисом [4] и оказалась точно такой, как и устройства когерентного сложения разнесенных сигналов, изобретенные ранее инженерами на основе интуиции и здравого смысла [1].

В работе М.А. Быховского [12] с помощью этих методов рассмотрена представляющая практический интерес задача разделения двух ЧМ-сигналов, передаваемых в одном и том же частотном канале и модулируемых независимыми сообщениями $a_1(t)$ и $a_2(t)$. С одной стороны, эта задача связана с важной проблемой повышения эффективности использования радиочастотного спектра, когда в одном и том же частотном канале осуществляется передача большого числа информационных сообщений, нежели в традиционных системах. С другой стороны, она связана с проблемами обеспечения ЭМС в системах связи с ЧМ и использованием компенсаторов помех (КП).

На основе результатов **Г. Ван Триса** определена ошибка оценки этих сообщений в оптимальной системе разделения двух ЧМ-сигналов [12]. Возможность создания итерационных КП, которые не являются следящими, но позволяют за счет применения фильтров с частотной характеристикой, близкой к прямоугольной, достичь высокой степени подавления мешающего сигнала, применяя всего несколько ступеней итерации, показана в работе [13]. Синтез и анализ двухканальных КП, которые можно с высокой эффективностью использовать для подавления помех в системах радиорелейной и спутниковой связи, выполнен в [14].

Методы, развитые в [7, 8], были с успехом применены к большому числу проблем, связанных с радиолокацией. Авторским коллективом под редакцией профессора Г.В. Тартаковского была написана фундаментальная монография «Вопросы статистической теории радиолокации» [9]. По широте охвата проблем оптимального приема сигналов в радиолокации и глубине рассмотрения связанных с этим вопросов монография стоит в одном ряду с фундаментальными монографиями **Д. Миддлтона** [15] и **Г. Ван Триса** [4]. В ней дан анализ большого комплекса проблем, связанных с обнаружением сигналов и измерением дальности, скорости и угловых координат лоцируемых объектов, как при импульсном, так и при непрерывном излучении сигналов. В ней исследованы когерентные и некогерентные методы приема сигналов. Проведено исследование методов пеленгации объектов с использованием антенн типа фазируемых антенных решеток и антенн со сканированием диаграммы направленности. Дан анализ многомерных следящих измерителей сразу нескольких параметров сигналов. Рассмотрены методы оценки точности измерения параметров при большом уровне принимаемых сигналов и весьма важные вопросы срыва слежения в радиолокационных следящих измерителях.

6.2. Марковская теория оптимального приема сигналов

Заслуга в создании этого направления теории оптимального приема сигналов принадлежит одному из крупнейших отечественных ученых профессору **Р.Л. Стратоновичу**. В 1959 г. он опубликовал свою первую теоретическую работу [16], в которой рассмотрел задачу нелинейной фильтрации случайной функции на основе теории марковских случайных процессов.

В простейшем виде постановка задачи нелинейной фильтрации Р.Л. Стратоновичем формулируется следующим образом: полезное сообщение, представляющее случайный процесс $a(t)$, передаваемый по каналу связи, задается дифференциальным уравнением:

$$\frac{da(t)}{dt} = F[a(t), t] + n_0(t).$$

Сигнал, поступающий после прохождения канала связи на вход приемника, имеет вид:

$$r(t) = S[t, a(t)] + n(t).$$

Здесь $n_0(t)$ и $n(t)$ — «белые» независимые гауссовские шумы с двухсторонней спектральной плотностью мощности N_0 и N , $F[a(t), t]$ и $S[t, a(t)]$ — в общем случае нелинейные функции, $a(t)$ и $r(t)$ — скалярные процессы, однако в более общей постановке эти процессы, а также шумы $n_0(t)$ и $n(t)$ могут быть векторными. На основе анализа принятой до момента времени t реализации сигнала $r(t)$ необходимо определить оценку $a^*(t)$

информационного сообщения. Если функции $F[a(t), t]$ и $S[t, a(t)]$ являются линейными, данная задача приводит к альтернативному подходу к проблеме оптимальной линейной фильтрации сообщения $a(t)$, который был предложен в 1960 г. Р. Калманом и Р. Бьюси.

Р.Л. Стратонович установил, что апостериорная плотность распределения вероятности $p(a^*(t), t)$ может быть определена из следующего уравнения в частных производных:

$$\frac{\partial p(a^*, t)}{\partial t} = - \frac{\partial \{F[a^*, t] p(a^*(t), t)\}}{\partial a^*} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \{N_0 p(a^*, t)\}}{\partial^2 a^*} + \{\Phi[a^*, t] - E\{\Phi[a^*, t]\} p(a^*, t).$$

Здесь $\Phi[a^*, t] = \frac{\{r(t) - S[t, a^*(t)]\}^2}{2N_0}$, $E\{\Phi[a^*, t]\} = \int \Phi[a^*, t] p(a^*, t) da^*$ — среднее значение функции $\Phi[a^*, t]$. Строгое решение приведенного уравнения является весьма сложной и не решенной до сего времени математической задачей. Р.Л. Стратонович предложил определять $p(a^*, t)$ приближенно в виде гауссовского распределения. Такое приближение соответствует условию, что отношение сигнал/шум на входе приемника велико. Это условие эквивалентно тому, что нелинейный оптимальный демодулятор работает в линейном режиме, т.е. в надпороговой области. При этом из приведенного уравнения в частных производных следуют два (в общем случае векторных) дифференциальных уравнения, одно из которых описывает поведение оптимальной оценки $a^*(t)$, а другое — ковариационной матрицы ошибок оценок, которые дает реализуемый демодулятор. Последнее уравнение представляет собой матричное уравнение Риккати, решение которого в общем случае является непростой задачей.

Общая марковская теория оптимального приема сигналов была разработана Р.Л. Стратоновичем в его докторской диссертации, опубликованной в 1966 г. [17]. Достоинство МТОП в том, что она всегда приводит к демодулятору, у которого в петле обратной связи стоит физически реализуемый фильтр.

Независимо от работ отечественных ученых МТОП с середины 60-х гг. интенсивно разрабатывалась и американскими учеными. Г. Кушнером было получено [18] уравнение для апостериорной вероятности $p(a^*, t)$, подобное приведенному выше уравнению Р.Л. Стратоновича. Большой вклад в данную теорию внес американский ученый А.Б. Баггероэр [19]. Результаты, полученные американскими учеными, представлены в фундаментальной монографии **Г. Ван Триса** [4].

Применения МТОП. В публикациях 1960–1966 гг. Р.Л. Стратонович самостоятельно и вместе со своими учениками Н.К. Кульманом и Ю.Г. Сосулиным рассмотрел применение новой теории к решению ряда практических задач: для приема узкополосного сигнала с неизвестной частотой, для оптимальной фильтрации телеграфного сигнала, приема сигналов на фоне негауссовского шума и т.п. В последующие годы марковская теория оптимального приема развивалась Н.К. Кульманом и Ю.Г. Сосулиным самостоятельно.

Значительный вклад в развитие этой теории в нашей стране был сделан отечественными учеными, работающими в Военно-воздушной академии им. проф. Н.Е. Жуковского. В этой Академии профессором **В.И. Тихоновым** была создана научная школа, в которой велись исследования по использованию МТОП для разнообразных задач приема сигналов в системах связи, радиолокации и радионавигации.

Н.К. Кульманом, В.И. Тихоновым и Ю.В. Саютиным в 1964–1974 гг. были исследованы многочисленные задачи применения МТОП к аналоговым системам связи с

разными методами модуляции — фазовой, частотной, амплитудной и различными их комбинациями. Синтез оптимальных систем и анализ их помехоустойчивости был выполнен в предположении, что передаваемые сообщения представляют собой гауссовский и одновременно марковский случайный процессы, а сигналы принимаются на фоне гауссовского в общем случае коррелированного шума. Профессор **В.И. Тихонов** провел исследование помехоустойчивости оптимальной системы разнесенного приема сигналов. Результаты данных исследований представлены в монографии [20].

Для передачи аналоговых сигналов в системах связи в ряде случаев применяют импульсные методы модуляции, такие как амплитудно-импульсная, частотно-импульсная, фазово-импульсная, широтно-импульсная и т.п. На основе МТОП Н.К. Кульман совместно с В.И. Тихоновым синтезировали оптимальные приемники сигналов в таких системах (1966 г.), предполагая, что скорость изменения передаваемых сообщений существенно ниже тактовой частоты следования модулируемых импульсов. Эти результаты вошли в монографию [20]. Позже, в начале 70-х гг., **М.С. Ярлыков** выполнил обстоятельные исследования систем связи с импульсными видами модуляции, результаты которых он представил в книге [21], опубликованной в 1980 г.

Важным направлением развития МТОП явилось ее применение к комплексным задачам синтеза оптимальных систем синхронизации и приема дискретных сообщений. Это направление развивалось в конце 60-х и начале 80-х гг. XX в. в работах **В.И. Тихонова**, В.Н. Харисова, А.Н. Дединова и В.П. Дмитриева [22–25]. Ряд примеров применения МТОП к задачам синтеза многомерных дискретных систем связи, синтеза многомерных измерителей негауссовских марковских процессов и к задачам совместной фильтрации непрерывных и дискретных параметров были рассмотрены в книге И.Н. Амиантова [26].

Многочисленные применения МТОП для синтеза оптимальных демодуляторов в системах связи с разными видами модуляции даны в книгах **Д. Снайдера** [27] и **Г. Ван Триса** [4]. В этих книгах широко представлены также и результаты анализа помехоустойчивости оптимальных демодуляторов для сигналов с АМ и ЧМ, полученные американскими учеными.

Михаил Семенович ЯРЛЫКОВ

Михаил Семенович Ярлыков родился 31 июля 1934 г. В 1957 г. окончил радиотехнический факультет Харьковского высшего авиационно-инженерного военного училища, а в 1967 г. — механико-математический факультет Московского государственного университета. В 1964 г. он защитил кандидатскую, а в 1973 г. — докторскую диссертации. С 1957 г. М.С. Ярлыков занимается научной и педагогической деятельностью. Им была развита



марковская теория оценивания случайных процессов, базирующаяся на единой методологической основе марковских и условных марковских процессов.

В 1968—1980 гг. на базе этой теории он разработал структурные схемы оптимальных устройств приема и обработки сигналов в системах авиационной радиосвязи, а в 1980—1988 гг. — статистическую теорию радионавигации, что позволило существенно расширить возможности синтеза, расчета и конструирования помехоустойчивых систем радионавигации и пилотажно-навигационных комплексов. В 1988—1994 гг. им были проведены теоретические исследования, на основе которых были созданы методики проектирования и комплексирования авиационных и спутниковых систем радионавигации.

М.С. Ярлыков — автор более 200 научных трудов, в их числе пять монографий, шесть учебников и 53 изобретения по радионавигации и связи. С 1976 г. он руководит одной из ведущих кафедр Военно-воздушной инженерной академии им. проф. Н.Е. Жуковского, является заместителем главного редактора журнала «Радиотехника». Михаил Семенович — заслуженный деятель науки и техники РФ, имеет звание генерал-майора авиации, с 1992 г. — член-корреспондент Академии инженерных наук РФ.

Дональд СНАЙДЕР

Дональд Л. Снайдер в 1961 г. закончил Южнокалифорнийский университет и получил степень бакалавра. Свое образование он продолжил в Массачусетском технологическом институте (МТИ), в котором в 1963 г. получил магистерскую степень, а в 1966 г. защитил докторскую диссертацию. Его докторская диссертация [27] была издана МТИ и в 1973 г. вышла в переводе на русский язык в издательстве «Энергия». В период подготовки диссертации он провел ряд первоклассных исследований в области теории связи. Им были опубликованы работы, в которых определена точность оценок гауссовских сигналов, принимаемых на фоне случайного гауссовского шума, определены структуры оптимальных демодуляторов для сигналов с амплитудной, частотной и фазовой модуляциями.

Несколько лет Д.Л. Снайдер преподавал в МТИ, а с 1969 г. стал профессором на факультете электроники в Вашингтонском университете. После перехода на работу в Вашингтонский университет он стал заниматься широким кругом проблем, связанных с обработкой изображений, получаемых с помощью различных устройств в медицине и астрономии. В настоящее время он является также профессором радиологии в медицинском колледже этого университета. С 1976 по 1986 г. он возглавлял в университете отдел электроники, а в 1986 г. организовал в университете исследовательскую лабораторию электронных систем и сигналов и был ее директором вплоть до 1997 г. В лаборатории его исследования касались фундаментальных проблем обработки изображений с приложениями к медицине и астрономии.



Исследовательские и преподавательские интересы профессора Д.Л. Снайдера лежат в области обработки изображений и методологии статистических оценок сигналов с приложением к проблемам радиологии, локации в диапазоне радио- и инфракрасных волн.

В настоящее время в сотрудничестве с исследователями отдела радиологии Вашингтонского университета он работает над совершенствованием томографов, используемых для получения изображений человеческого тела с целью диагностирования раковых опухолей. Кроме того, в сотрудничестве с учеными отдела наук о Земле и планетах он участвует в совершенствовании методов получения изображений от телескопов, расположенных на Земле и космических аппаратах, а также микроскопов.

В сотрудничестве с астрономами, работающими в Институте космических исследований в Балтиморе, он разработал с учетом турбулентности атмосферы новый метод обработки изображений на телескопе Хаббла.

Профессор Д.Л. Снайдер — почетный член Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE). В 1981 г. был президентом секции теории информации IEEE.

§ 7. Хронология развития теории потенциальной помехоустойчивости

1. Создание теории потенциальной помехоустойчивости (1947 г. — В.А. Котельников).
2. Применение математической теории статистических решений к задачам оптимальной обработки сигналов, принимаемых на фоне шумов (1950 г. — А. Зигерт).
3. Развитие теории оптимального приема радиолокационных сигналов (1950—1953 гг. — Ф. Вудворт и И. Дейвис).
4. Создание на основе строгих математических методов теории оптимального обнаружения сигналов и оценки их параметров (1953 г. — Д. Миддлтон; 1955 и 1956 гг. — Д. Миддлтон и Д. Ван Метер).

7.1. Прием дискретных сигналов

7.2.1. Прием двухпозиционных сигналов

1. Определение структуры оптимальных демодуляторов и анализ их помехоустойчивости для канала связи с неопределенной фазой сигналов (1954 г. — В. Петерсон, Т. Бирдзолл и У. Фокс; 1955 г. — Л.М. Финк).
2. Изобретение метода относительно-фазовой модуляции (1954 г. — Н.Т. Петрович).
3. Разработка системы связи «Кинеплекс», в которой для передачи использовались 20 синхронных несущих, на каждой из которых передавались сигналы с ОФМ и достигалась высокая эффективность использования полосы частот (1954—1956 гг. — фирма Collins Radio).
4. Развитие теории приема сигналов с ФМн, ОФМ и ДОФМ (1959 г. — К. Кан, Дж. Лаутон; 1963 г. — Л.М. Финк; 1964 г. — Н.П. Хворостенко).
5. Исследование помехоустойчивости приема сигналов с ЧМн с использованием частотного дискриминатора (1963 г. — Л.М. Финк, В. Беннет и Дж. Зальтц).
6. Разработка обобщенной методологии анализа помехоустойчивости приема сигналов в каналах с неопределенной фазой, которая применима как к сигналам с ЧМн, так и с ОФМ (1964 г. — С. Штейн).

7. Обобщение относительного метода передачи дискретных сигналов для условий, когда после прохождения канала связи не только фаза, но и частота принимаемого сигнала становятся нестабильными (1966 г. — Ю.Б. Окунев).
8. Изобретение метода передачи сигналов, названного ЧМн с непрерывной фазой (манипуляции минимального частотного сдвига — ММС) (1972 г. — Р. де Буда).

7.1.2. Прием многопозиционных сигналов

1. Исследование оптимального приема M -сигналов в N -мерном пространстве, перекинувшее мост между теориями информации и потенциальной помехоустойчивости (1950 г. — С.О. Райс).
2. Синтез оптимальных ансамблей M -сигналов, позволяющих передавать сообщения в каналах с «белым» гауссовским шумом, на основе математической теории плотнейшего заполнения N -мерного пространства равными шарами (1955—1958 гг. — Э.Л. Блох, А.А. Харкевич, Н.К. Игнатъев).
3. Разработка методов вычисления зависимости $P_{\text{ош}} = f(R, C, N)$ для оценки потенциальной помехоустойчивости оптимального приема M -сигналов (1959—1965 гг. — К. Шеннон, А. В. Балакришнан, Д. Слепьян, Р. Галлагер).
4. Изобретение и исследование двумерных M -сигналов с ФАМ и КАМ (1960 г. — К. Кан; 1962 г. — К. Компопиан и Б. Глазер; 1975 г. — Дж. Смит).
5. Анализ потенциальной помехоустойчивости приема четырехпозиционных сигналов ДЧТ (1964 г. — Л.М. Финк и В.С. Котов).
6. Разработка перестановочной модуляцией — метода построения ансамбля M -сигналов для случая, когда N (размерность пространства сигналов) и M имеют произвольные значения и $M \gg N$ (1965 г. — Д. Слепьян).
7. Исследование помехоустойчивости приема «в целом» ансамбля M -сигналов, в которых отдельные сигналы содержат L ортогональных компонент, каждая из которых может иметь K -кратную ФМн ($M = LK$) (1966 г. — И. Рид и Шольц; 1972 г. — В. Линдсей и М. Симон).
8. Метод построения сигнально-кодовых конструкций, основанный на определенном правиле двоичного представления сигнальных точек при разбиении ансамбля сигналов на вложенные подансамбли с увеличивающимся минимальным расстоянием (1981 г. — Г. Унгербокк).
9. Разработка метода построения сигнально-кодовых конструкций M -сигналов, в которых применяется многократная ФМ и различные виды корректирующих кодов (1984 г. — В. Гинзбург).

7.1.3. Прием дискретных сигналов в многолучевых каналах

1. Изобретение и реализация метода разнесенного приема сигналов на линии КВ-связи между островом Ява и Голландией (1927 г. — А. Де Хаас).
2. Начало теоретических исследований эффективности систем разнесенного приема, основанных на применении методов теории вероятностей (1928 г. — Т.Л. Экерслей; 1930 г. — В.И. Сифоров; 1936 г. — В.А. Котельников и Н.И. Шумская; 1937 г. — А.Н. Щукин).
3. Создание линии КВ-связи между США и Англией с разнесенным приемом сигналов (1931 г. — Г. Беверейдж и Г. Петерсон).

4. Создание линии КВ-связи между США и Англией с использованием многолучевой антенной системы, позволяющей на приеме разделять приходящие лучи по углу прихода в вертикальной плоскости и осуществлять их сложение (1937 г. — Г.Т. Фрис и Г.Б. Фельдман).
5. Исследование оригинальной системы двукратного разнесенного приема сигналов частотной телеграфии путем их сложения на общем амплитудном ограничителе (1947 г. — В.С. Мельников).
6. Создание теоретических основ теории разнесенного приема и анализ помехоустойчивости разных методов разнесенного приема (1954 г. — Е.А. Хмельницкий).
7. Фундаментальные теоретические исследования помехоустойчивости систем разнесенного приема (1955–1958 гг. — Л.М. Финк).
8. Синтез и практическая реализация системы связи «Rake», использующей широкополосные сигналы для разделения и когерентного сложения отдельных лучей в месте приема (1956–1958 гг. — Р. Прайс и П.Е. Грин).
9. Теоретическое доказательство эффективности применения широкополосных сигналов для повышения помехоустойчивости приема в многолучевых каналах связи (1957 г. — А.А. Харкевич).
10. Синтез оптимальных систем разнесенного приема и исследования их помехоустойчивости (1958 г. — И.Н. Пирс; 1959 г. — Дж. Л. Турин; 1964 и 1965 гг. — В.К. Линдсей).
11. Создание метода анализа помехоустойчивости систем N -кратного разнесенного приема с учетом корреляции замираний сигналов в ветвях разнесения (1960 г. — И.Н. Пирс и С. Штейн).
12. Исследования помехоустойчивости оптимальных систем разнесенного приема с учетом реальной структуры трактов измерения параметров сигналов в ветвях разнесения (амплитуды и фазы) и точности оценки выполняемых измерений (1962 г. — Ф. Белло и Б.Д. Нелин).
13. Исследования адаптивных систем разнесенного приема, в которых применялась обратная связь по решению (1963 г. — Дж. К. Хэнкок и В.К. Линдсей; 1964 г. — Р. Прайс, И.Г. Проакис и П.Р. Дроуилхел).
14. Исследования помехоустойчивости разнесенного приема различных сигналов при когерентном и некогерентном сложении (1964–1966 гг. — И.С. Андронов).
15. Исследования помехоустойчивости приема M -позиционных сигналов для случаев, когда замирания в ветвях разнесения подчиняются законам Райса или Накагами (1964 г. — Д.Д. Кловский).
16. Исследования помехоустойчивости широко применяемых на практике систем оптимального разнесенного приема сигналов с амплитудной, фазовой и частотной манипуляциями (1964 г. — Н.П. Хворостенко).
17. Развитие теории разнесенного приема с учетом корреляции замираний сигналов в ветвях разнесения (1964 г. — Н.П. Хворостенко).
18. Исследования зависимости помехоустойчивости приема в системе «Rake» от уровня боковых лепестков автокорреляционных функций применяемых широкополосных сигналов (1966 г. — М.А. Быховский).
19. Создание теории разнесенного приема сигналов для каналов с дискретной многолучевостью (1967 г. — М.А. Быховский).

7.1.4. Компенсация межсимвольной интерференции

1. Первые результаты теории передачи сигналов по каналу с МСИ (1928 г. — Г. Найквист).
2. Изобретение и исследования системы с испытательным импульсом для передачи и приема в каналах с МСИ (1958 г. — Д.Д. Кловский).
3. Теоретические исследования возможностей компенсации межсимвольных искажений в каналах связи, позволившие определить оптимальные алгоритмы обработки сигналов в каналах связи с МСИ и оценить их помехоустойчивость (1960–1988 гг. — Д.Д. Кловский, Б.И. Николаев).
4. Первые исследования линейных методов адаптивной компенсации МСИ (1961 г. — Е. Кетель).
5. Исследования возможностей применения линейных адаптивных корректоров переходной характеристики каналов связи с ограниченной полосой частот и проблем выбора оптимальной формы передаваемых сигналов (1965 г. — Д.В. Тафтс; 1968 г. — М. Дж. ди Торо).
6. Изобретение и теоретическое обоснование принципа работы нашедшего широкое применение адаптивного корректора линейных искажений, возникающих в телефонных каналах связи и вызывающих МСИ (1965–1966 гг. — Р. Лакки).
7. Исследование системы оптимального приема сигналов в каналах связи с конечным временем рассеяния (1966 г. — Р. Чанг и Дж. Хэнкок).
8. Использование обратной связи по решению (ОСР) в каналах с МСИ (1967 г. — М. Остин).
9. Первые исследования возможности применения алгоритма Э. Витерби для оптимального приема сигналов в каналах с МСИ (1971 г. — Г. Кабаяши и Дж. Омура; 1972 г. — Г. Форни).
10. Исследования систем приема с ОСР для борьбы с МСИ (1972 г. — Р. Прайс; 1979 г. — К. Бельфиоре и Дж. Парк).
11. Доказательство теоремы эквивалентности гауссовского канала связи с МСИ, обладающего известной переходной характеристикой, N -независимым каналам без МСИ, которая дает основу для синтеза оптимальных сигналов, предназначенных для передачи сообщений в каналах с временным рассеянием (1973 г. — Р.С. Кеннеди).
12. Создание адаптивных систем передачи сигналов по реальным каналам с МСИ и изменяющимися во времени параметрами, в которых используются оптимальные сигналы, и определение потенциальных возможностей передачи цифровых сигналов по каналам с МСИ (1989–1991 гг. — Д.Л. Коробков).

7.2. Оценка параметров сигнала

7.2.1 Оценка параметров сигнала в системах с одним каналом приема

1. Исследования задач совместной оценки времени прихода и частоты принимаемого сигнала (измерение времени прихода позволяет определить дальность от радиолокатора до объекта, а измерения частоты — доплеровский сдвиг частоты, который определяется его скоростью) и обобщение теории оптимальной оценки параметров сигналов на случай, когда шум, воздействующий на прием сигналов, не является «белым» (1954 г. — Д. Слепьян).

2. Оценка потенциальной точности определения угловых координат объекта импульсной радиолокационной станцией (1956 г. — П. Сверлинг).
3. Исследования задачи совместной оценки времени прихода, частоты и скорости изменения частоты (которая определяет ускорение лоцируемого объекта) принимаемого сигнала (1960 г. — Ф. Белло).
4. Исследования возможностей измерения угловых координат объектов с помощью сканирования диаграммы направленности антенны, повышающей угловую разрешающую способность радиолокатора (1960–1970 гг. — С.Е. Фалькович).
5. Исследования задач оптимального обнаружения пачек импульсов, а также задач совместного обнаружения сигнала и оценки его параметров (1960 г. — Л.А. Вайнштейн и В.Д. Зубаков; 1968 г. — Д. Миддлтон и Р. Эспозито).
6. Исследования методами теории потенциальной помехоустойчивости большого класса систем передачи информационных параметров с помощью аналоговых и импульсных методов модуляции и определение достижимой точности оценки этих параметров с учетом аномальных ошибок (1970–1975 гг. — А.Ф. Фомин).
7. Исследования оптимальных и субоптимальных алгоритмов отдельной и совместной оценки произвольных (энергетических и неэнергетических) параметров сигналов для различных априорных данных о принимаемом сигнале. (1978 г. — Е.И. Куликов и А.П. Трифонов).
8. Исследование на основе теории оценок параметров сигналов задачи разделения двух ЧМ-сигналов, занимающих общую полосу частот (1979 г. — М.А. Быховский).

7.2.2. Оценки параметров сигнала в системах с несколькими каналами приема

1. Синтез структуры приемников, осуществляющих оптимальную обработку пространственно-временных сигналов, исследования задач обнаружения одной или нескольких целей в среде с помехами реверберационного типа и задач оценки амплитуды сигнала, отраженного от цели, ее дальности и угловых координат (1962 г. — Ф. Брун; 1965 г. — Д. Миддлтон и Г. Грогински; 1968 г. — Г. Янг).
2. Разработка метода синтеза оптимальных сигналов для обнаружения сигналов и измерения их параметров при действии помех реверберационного типа (1965 г. — Г. Ван Трис; 1970 г. — Д. Миддлтон, Г. Янг и Дж. Ховард).
3. Синтез структур оптимальных многоканальных устройств обработки сигналов и исследование проблем пеленгации неподвижных и подвижных целей с учетом мультипликативных и аддитивных помех (1970 г. — С.Е. Фалькович; 1971 г. — И.Н. Амиантов).

7.2.3. Методы определения потенциальной точности оценки параметров сигналов

1. Определение на основе метода, предложенного В.А. Котельниковым, точности оценки параметров сигналов для случая, когда их уровень лежит ниже порогового значения (1960 г. — Л.А. Вайнштейн и В.Д. Зубаков; 1963 г. — Г. Акима; 1964 г. — С. Дарлингтон; 1969 г. — Дж. Возенкрафт и И. Джекобс, В. Зив и М. Закаи; 1970 г. — Ф. Зейдман, А.Ф. Фомин).

1. Применение для определения точности оценок параметров сигналов критерия А. Батгачария (1966 г. — Г. Ван Трис), Е.В. Баранкина (1969 г. — Л. Зейдман и К. Маколей) и результатов теории информации К. Шеннона (1969 г. — Л. Зейдман).

7.3. Оптимальный прием аналоговых сигналов

7.3.1. Гауссовская теория оптимального приема сигналов

1. Разработка строгого статистического подхода к проблемам оптимальной демодуляции аналоговых сигналов (1953 г. — Ф. Леган и Р. Паркс; 1954 г. — Д. Йоула).
2. Развитие теории оптимальной демодуляции для многомерных сигналов (1960 г. — Дж. Б. Томас и Е. Вонг).
3. Разработка метода синтеза оптимальных демодуляторов аналоговых сигналов путем представления аналоговых процессов, моделирующих полезные сообщения и шумы своими отсчетами (1961–1964 гг. — И.А. Большаков и В.Г. Репин).
4. Применение ГТОП к решению большого числа проблем, связанных с радиолокацией (1961–1964 гг. — П.А. Бакут, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов, А.А. Курикса, В.Г. Репин, Г.В. Тартаковский и В.В. Широков).
5. Анализ помехоустойчивости оптимальных демодуляторов сигналов с АМ, ОБП и ЧМ (1962 г. — Э. Витерби; 1964 г. — Г. Ван Трис и В. Линдсей).
6. Синтез оптимальной структуры системы разнесенного приема (1964 г. — Г. Ван Трис).
7. Разработка метода определения нижней границы ошибки при оценке полезного сообщения, выделяемого на выходе оптимального демодулятора (1965 г. — Г. Ван Трис).
8. Разработка эвристического подхода к синтезу оптимального следящего демодулятора с реализуемым фильтром в цепи обратной связи (1968 г. — Г. Ван Трис).
9. Исследования различных типов следящих и неследящих демодуляторов, обеспечивающих снижение порога при приеме ЧМ-сигналов (1967–1977 гг. — В.М. Дорофеев и Л.Я. Кантор).
10. Синтез оптимальных одноканальных компенсаторов помех для систем связи, использующих ЧМ-сигналы, и исследования их помехоустойчивости (1978 г. — М.А. Быховский и В.М. Дорофеев).
11. Синтез и анализ двухканальных КП, которые могут с высокой эффективностью применяться для подавления помех в системах радиорелейной и спутниковой связи (1980 г. — М.А. Быховский).

7.3.2 Марковская теория оптимального приема сигналов

1. Создание МТОП (1959 г. — Р.Л. Стратонович).
2. Применение МТОП к решению ряда задач, связанных с приемом узкополосного сигнала с неизвестной частотой, оптимальной фильтрацией телеграфного сигнала, приемом сигналов на фоне негауссовского шума и т.п. (1960–1966 гг. — Р.Л. Стратонович, Н.К. Кульман, Ю.Г. Сосулин).
3. Разработка и развитие МТОП американскими учеными (1964 г. — Г. Кушнер; 1969 г. — Д.Л. Снайдер; 1970 г. — А.Б. Баггероэр).

4. Применения МТОП к аналоговым системам связи с различными методами модуляции — фазовой, частотной, амплитудной и различными их комбинациями (1964—1974 гг. — Н.К. Кульман, В.И. Тихонов, Ю.В. Саютин).
5. Применения МТОП к системам связи, в которых используют импульсные методы модуляции, такие как амплитудно-импульсная, частотно-импульсная, фазово-импульсная, широтно-импульсная и т.п. (1966 г. — Н.К. Кульман; 70-е гг. — М.С. Ярлыков).
6. Применение МТОП к комплексным задачам синтеза оптимальных систем приема сигналов и оптимальных систем синхронизации (1968 г. — В. П. Дмитриев; 1980 г. — В.И. Тихонов, В.Н. Харисов; 1982 г. — В.Н. Харисов).

Литература к главе 3

В приведенном списке литературы для книг, переведенных на русский язык, в скобках указан год их первоначального издания.

§ 1

1. *Котельников В.А.* Теория потенциальной помехоустойчивости. — М.: Госэнергоиздат, 1956.
2. *Kotelnikov V.A.* The Theory of Optimum Noise Immunity. — N.Y.: McGraw-Hill. 1959.
3. *Siebert A.J.F.* Preface and § 7.5 in Lawson J.L., Uhlenbeck G.E. Threshold Signals. N.Y.: 1950.
4. *Woodward M., Davies I.L.* Theory of Radar Information. Philips. Mag. October 1950. № 321.
5. *Woodward M.* Probability and Information Theory with Application to Radar. London: Pergamon Press. 1953.
6. *Middleton D.* Statistical Criteria for the Detection of Pulsed Carriers in Noise // J. Appl. Phys. 1953. V.24. N 4.
7. *Middleton D., Van Meter D.* Detection and extraction of signals in noise from the point of view statistical decision theory // J. Soc. Ind. Appl. Math. 1955. V. 3. № 4; 1956. V. 4. № 2.
8. *Миддлтон Д.* Введение в статистическую теорию связи. — М.: Сов. радио, 1962. Т. 2. С. 830.

§ 2

1. *Peterson W.W., Birdsall T.G., Fox W.C.* The Theory of Signal Detectability // IRE Trans. on Information Theory. 1954. V. PGIT-4. № 4.
2. *Котельников В.А.* Сигналы с максимальной и минимальной вероятностями обнаружения // Радиотехника и электроника. 1959. № 3.
3. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. — М.: Сов. радио, 1970.
4. *Bennet W.R., Salz J.A.* Binary Data Transmission by FM over a Real Channel // BSTJ. September 1963.
5. *Петрович Н.Т.* Передача дискретной информации в каналах с фазовой манипуляцией. — М.: Сов. радио, 1965.
6. *Nyquist H.* Certain Topics in Telegraph Transmission Theory // Trans. AIEE (Electr. Eng.). April 1928.
7. *De Bellsise H.* La Reseption Synchrone. Onde Electr. June 1932. V. 11. P. 230—240.
8. *Окунев Ю.Б.* Теория фазоразностной модуляции. — М.: Связь, 1979.
9. *Хворостенко Н.П.* Статистическая теория демодуляции дискретных сигналов. — М.: Связь, 1968.
10. *Sahn C.R.* Performance of Digital Phase-modulation communication System // IRE Trans. May 1959. V. CS-7.
11. *Заездный Л.М., Окунев Ю.Б., Рахович Л.М.* Фазоразностная модуляция. — М.: Связь, 1967.

12. *Helstrom C.W.* Resolution of Signals in White Gaussian Noise // Proc. IRE. September 1955. V. 43.
13. *Stein S.* Unified Analysis of Binary Communications Systems // IEEE Trans. IT-10. 1964. № 1.
14. *Doelz M., Heald E., Martin D.* Binary Data Transmission Techniques for Linear Systems // Proc. IRE. May 1957. V. 45.
15. *Lawton J.G.* Theoretical Error Rates of Differentially Coherent Binary and «Kineplex» Data Transmission Systems // Proc. IRE. September 1959. V. 47.
16. История и современность (1923–1998 гг.) / Институт военной связи. — Мытищи: 16 ЦНИЦИ МО. 1998.
17. *De Buda R.* Coherent Demodulation of Frequency-Shift Keying with Low Deviation Ratio // IEEE Trans. COM-20. 1972. № 6.
18. *Shannon C.* Mathematical Theory of Communication // BSTJ. 1948. V. 27. № 3.
19. *Rice S.O.* Communication in the Presence of Noise-probability of Error for Two Encoding Schemes // BSTJ. January 1950.
20. *Блох Э.Л., Харкевич А.А.* Геометрические представления в теории связи // Изв. АН СССР. Отд. техн. наук. 1955. № 6.
21. *Игнатьев Н.К.* Геометрические основания оптимального кодирования // Сб. Гос. НИИ МС. 1958. Вып. 8.
22. *Shannon C.* Probability of Error for Optimal Codes in a Gaussian Channel // BSTJ. May 1959.
23. *Balakrishnan A.V.* A Contribution to the Sphere-packing Problem of Communication Theory // J. Math. Analysis and Appls. 1961. № 3.
24. *Slepian D.* Bounds on Communication // BSTJ. May 1963. V. 42.
25. *Мешковский К.А., Кириллов Н.Е.* Кодирование в технике связи. М.: Связь, 1966.
26. *Nuttall A.H.* Error Probabilities for Equicorrelated M-ary Signals Under Phase-coherent and Phase-incoherent Reception // IRE Trans. IT-9. July 1962.
27. *Gallager R.G.* A Simple Derivation of the Coding Theorem and Some Applications // IEEE Trans. IT-11. January 1965.
28. *Быховский М.А.* Оценка вероятности ошибочного приема в многопозиционных системах связи // Труды НИИР. 1973. № 4.
29. *Котов В.С., Финк Л.М.* О двух методах приема сигналов ДЧТ // Радиотехника. 1964. № 2.
30. *Агапов И.Ф.* Двухканальное частотное радиотелеграфирование (ДЧТ) // Радиотехника. 1954. № 3.
31. *Cahn C.R.* Combined Digital Phase and Amplitude Modulation Communication Systems // IRE Trans. CS-8. September 1960.
32. *Campopiano C.N., Glazer B.G.* A Coherent Digital Amplitude and Phase Modulation Scheme // IRE Trans. Commun. Syst. CS-10. March 1962.
33. *Smith J.G.* Odd-Bit Quadrature Amplitude Shift Keying // IEEE Trans. COM-23. March 1975.
34. *Slepian D.* Permutation Modulation // Proc IEEE. 1965. № 3.
35. *Reed I.S., Scholtz.* N-Orthogonal Phase-Modulated Codes // IEEE Trans. IT-12. July 1966.
36. *Lindsey W.C., Simon M.K.* L-Orthogonal Signal Transmission and Detection // IEEE Trans. COM-20. October 1972.
37. *Гинзбург В.В.* Многомерные сигналы для непрерывного канала // Проблемы передачи информации. 1984. № 1.
38. *Ungerboeck G.* Channel Coding with Multilevel Phase Signal // IEEE Trans. on Information Theory. 1981. № 1.
39. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов и др. М.: Радио и связь, 1985.
40. *Зяблов В.В., Коробков Д.Л., Портной С.Л.* Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах. М.: Радио и связь, 1991.

§ 3

1. *Barrow B.B.* Translation of historic paper on diversity reseption // Proc. IRE. 1960. № 1.
2. *Beverage H., Peterson H.* Diversity Receiving System of RCA Communication for Radiotelegraphy // Proc. IRE. 1931. № 4.
3. *Fries H.T., Feldman G.B.* A Multiple Unit Steerable Antenna for Short Wave // Proc. IRE. 1937. V.16. № 7.
4. *Eckersley T.L.* A discussion on short wave fading. Marconi Review. 1928. № 1.
5. *Сифоров В.И.* Отчет ЦРЛ за 1930 г. (неопубликованная работа)
6. *Котельников В.А.* Количественная оценка различных методов борьбы с замираниями // Научно-техн. сб. Института связи. 1936. Вып. 11.
7. *Шумская Н.И.* // Научно-техн. сб. Института связи. 1936.
8. *Шукин А.Н.* Применение теории вероятностей к явлению замирания (федингу) // ЖТФ. — 1937. Т. VII. Вып. 2.
9. *Мельников В.С.* Сложение приемников при приеме на разнесенные антенны / Докл. на Всесоюзной конференции Научно-технического общества им. А.С. Попова. 1947.
10. *Хмельницкий Е.А.* Разнесенный прием и оценка его эффективности. — М.: Связьиздат, 1960.
11. *Финк Л.М.* Теория передачи дискретных сообщений. — М.: Сов. радио, 1963.
12. *Андронов И.С., Финк Л.М.* Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. — М.: Сов. радио, 1971.
13. *Кловский Д.Д.* Передача дискретных сообщений по радиоканалам. — М.: Связь, 1969.
14. *Хворостенко Н.П.* Статистическая теория демодуляции дискретных сигналов. — М.: Связь, 1968.
15. *Turin G.L.* On Optimal Diversity Reception // Trans. IT-7. 1960. №3. Pt.1-IRE; Trans. CS-10. 1962. № 1 Pt.2-IRE.
16. *Тури Дж.* Лекции о цифровой связи. М.: Мир, 1972.
17. *Turin G.L.* A Statistical Model for Urban Maltipath Propagation // IEEE Trans. Veh. Tech. 1972. V. 21. № 2.
18. *Pierce I.N.* Theoretical Diversity Improvement in Frequency-Shift Keying // Proc.IRE. May 1958.
19. *Lindsey W.C.* Asymptotic Performance Characteristics for the Adaptive Coherent Multireceiver and Noncoherent Multireceiver Operating Through the Rician Fading Multichannel // IEEE Trans. on Com. and Electr. January 1964.
20. *Lindsey W.C.* Error Probablity for Incoherent Diversity Reception // IEEE Trans. IT-11. 1965. № 4.
21. *Быховский М.А.* Способы оценки вероятности ошибочного приема в теории передачи дискретных сообщений. // Радиотехника. Ч.1. Двухпозиционные системы разнесенного приема. 1971. № 12; Ч.2. Системы с многопозиционными сигналами. 1972. № 1.
22. *Pierce I.N., Stein S.* Multiple Diversity with Nonindependent Fading // Proc. IRE. 1960. № 1.
23. *Быховский М.А.* Анализ помехоустойчивости приема на основе модели КВ-канала, учитывающей особенности распространения радиоволн // Труды НИИР. 1972. № 1, 2.

§ 4

1. *Кеннеди Р.* Каналы связи с замираниями и рассеянием. М.: Сов. радио, 1973.
2. *Price R., Gren P.E.* A Communication Technique for Multipath Channels // Proc. IRE. 1958. № 3.
3. *Харкевич А.А.* Передача сигналов модулированным шумом // Электросвязь. 1957. № 11.
4. *Быховский М.А.* Помехоустойчивость метода когерентного сложения сигналов в многолучевом сигнале при неполном разделении лучей // Проблемы передачи информации. 1969. Вып. 1.

5. *Bello P., Nelin B.D.* Predetection Diversity Combining with Selectively-Fading Channels // Trans. IRE CS-10. March 1962.
6. *Hancock J.C., Lindsey W.C.* Optimum Performance of Self-Adaptive Systems Operating Through a Rayleigh –Fading Medium // IRE Trans. CS-11. 1963. № 4.
7. *Proakis J.G., Drouilhel P.R., Price R.* Performance of coherent detection systems using decision-directed channel measurement // IEEE Trans. March 1964. V. CS-12.
8. *Nyquist H.* Certain topics in telegraph transmission theory // Trans. AIEE. 1928. V.47.
9. *Клюевский Д.Д.* Передача дискретных сообщений по радиоканалам. М.: Радио и связь, 1984. 2-е изд.
10. *Николаев Б.И.* Последовательная передача дискретных сообщений по непрерывным каналам с памятью. М.: Радио и связь, 1988.
11. *Austin M.E.* Decision-feedback equalization for digital communication over dispersive channel / Rept. 437. Lexington, Mass.: MIT Lincoln Lab. Tech. August 1967.
12. *Price R.* Nonlinearly feedback-equalized PAM vs capacity for noisy filter channels // Rec. Int. Conf. Com. ICC-1972.
13. *Belfiore C.A., Park J.N.* Decision feedback equalization // Proc. IEEE. 1979. V. 67. № 8.
14. *Chang R.W., Hancock J.C.* On receiver structures for channel having memory // IEEE Trans. IT-12. October 1966.
15. *Forney G.D.* Maximum-likelihood sequence estimation of digital sequences in the presence of intersymbol interference // IEEE Trans. IT-18. May 1972.
16. *Kobayashi H.* Correlative level coding and maximum-likelihood decoding // IEEE Trans. IT-17. September 1971.
17. *Omura J.K.* Optimal receiver design for convolutional codes and channel with memory via control theoretical concepts // Inform. Sci. July 1971. V. 3.
18. *Kettel E.* Ein automatischer Optimizator für den Abgleich des Impulsen-tzerrers in Datenübertragung // Arch. Elektr. Übertr. 1964. № 18.
19. *Taftis D.W.* Nyquist's problem the joint optimisation of transmitter and receiver in PAM // Proc. IEEE. 1965. V. 53. № 3.
20. *Di Toro M.J.* Communication in Time-Frequency Spread Media Using Adaptive Equalization // Proc. IEEE. 1968. V. 56. № 10.
21. *Lucky R.W.* Techniques for adaptive equalization for digital communication systems // BSTJ. V. 45. № 2.
22. *Зяблов В.В., Коробков Д.Л., Портной С.Л.* Высокоскоростная передача сообщений в реальных каналах. — М.: Радио и связь, 1991.

§ 5

1. *Котельников В.А.* Теория потенциальной помехоустойчивости. — М.: ГЭИ, 1956.
2. *Woodward P.M.* Probability and information theory, with applications to radar. N.Y.: McGraw-Hill. 1953.
3. *Middleton D., Van Meter D.* Detection and Extraction of Signals in Noise from the Point of View of Statistical Decision Theory // J. Soc. Ind. Appl. Math. 1955. V. 3. № 4; 1956. V. 4. № 2.
4. *Middleton D.* An Introduction to Statistical Communication Theory. — N.Y.: Mc. Graw-Hill. 1960.
5. *Ван Трис Г.* Теория обнаружения, оценок и модуляции. — М.: Сов. радио, 1972.
6. *Тихонов В.И.* Оптимальный прием сигналов. — М.: Радио и связь, 1972.
7. *Фомин А.Ф.* Помехоустойчивость систем передачи непрерывных сообщений. М.: Сов. радио, 1975.
8. *Slepian D.* Estimation of signal parameters in the presence of noise // IRE Trans. 1954. V. IT-3. № 2.
9. *Bello P.* Joint estimation of delay, Doppler, and Doppler rate // IRE Trans. IT-6. 1960.

10. *Swerling P.* Maximum Angular Accuracy of a Pulsed Search Radar // Proc.IRE. 1956. V. 44.
11. *Фалькович С.Е.* Оценка параметров сигнала. — М.: Сов. радио. 1970.
12. *Куликов Е.И., Трифонов А.П.* Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М.: Сов. радио, 1978.
13. *Вайнштейн Л.А., Зубаков В.Д.* Выделение сигналов на фоне случайных помех. — М.: Сов. радио, 1960.
14. *Middleton D., Esposito R.* Simultaneous Optimum Detection and Estimation of Signals in Noise // IEEE. Trans. IT-14. 1968. № 3.
15. *Быховский М.А.* Потенциальная помехоустойчивость разделения двух сигналов с ЧМ // Электросвязь. 1979. № 10.
16. *Bryn F.* Optimal signal processing of tree-dimensional arrays operating on Gaussian signals and noise // J. Acoust. Soc. Am. March 1962. V. 34.
17. *Middleton D., Groginsky H.L.* Detection of random acoustical signals by receivers with distributed elements: optimum receivers structures for normal signals and noise fields // J. Acoust. Soc. Am. November 1965. V. 38.
18. *Young G.O.* Optimal space-time signal processing and parameter estimation // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. May 1968. V. AES-4.
19. *Van Trees H.L.* Optimal signal design and processing for reverberation — limited environment / // IEEE Trans. Military Electronics. July — October 1965. V. MIL-9.
20. *Middleton D.* Multidimensional detection and extraction of signals in random media // IEEE Proc. 1970. V. 58. № 5.
21. *Young G.O., Howard J.E.* Application of space-time decision and estimation theory to antenna processing system design // Proc. IEEE. 1970. V. 58. № 5.
22. *Амиантов И.Н.* Избранные вопросы статистической теории связи. — М.: Сов. радио, 1971.
23. *Быховский М.А.* Потенциальная помехоустойчивость двухканального приема сигналов с частотной модуляцией // Труды НИИР. — 1979. — № 1.
24. *Darlington S.* Demodulation of wideband low-power FM signals // BSTJ. 1964. V. 43. № 1.
25. *Akima H.* Theoretical studies on signal-to-noise characteristics of an FM system // Trans. IEEE. SET-9. 1963.
26. *Возенкрафт Дж., Джекобс И.* Теоретические основы техники связи. — М.: Мир, 1969.
27. *Ziv V., Zakai M.* Some lower bounds in signal parameter estimation // Trans. IEEE. May 1969. V. IT-15.
28. *Seidman L.* Performance limitation and error calculation for parameter estimation // Proc. IEEE. 1970. V. 58. №5.
29. *Seidman L., McAuley R.J.* A useful form of the Barankin lower bound and its application to PPM threshold analysis // Trans. IEEE. IT-15. March 1969.

§ 6

1. *Быховский М.А.* Круги памяти / Сер. изданий «История электросвязи и радиотехники». — М.: Мобильные коммуникации. 2000. Вып. 1.
2. *Lehan F.W., Parks R.J.* Optimum demodulation // IRE Nat. Conf. Rec. 1953. Pt. 8. P. 101—103.
3. *Youla D.C.* The use of the method of maximum likelihood in the estimation continuous modulated intelligence which has been corrupted by noise // IRE Trans. 1954. V. IT-3. № 2.
4. *Van Trees H.L.* Detection, Estimation and Modulation Theory. N. Y.: Wiley. 1968. Pt. I; 1971 Pt. II, III. (Теория обнаружения, оценок и модуляции. — М.: Сов. радио, 1972. Ч.1; 1975. Ч.2; 1977. Ч. 3).
5. *Thomas J.B., Wong E.* On the statistical theory of optimum demodulation // IRE Trans. 1960. V. IT-6. № 9.
6. *Viterbi A.J.* Principles of coherent communication. N. Y.: McGraw-Hill. 1966.

7. *Большаков И.А., Репин В.Г.* Проблемы нелинейной фильтрации. Ч. I // Автоматика и телемеханика. 1961. № 4.
8. *Большаков И.А., Репин В.Г.* Вопросы нелинейной фильтрации. Ч. II // Автоматика и телемеханика. 1964. № 12.
9. Вопросы статистической теории радиолокации / П.А. Бакут, И.А. Большаков, Б.М. Герасимов и др. // Под ред. Г.П. Тартаковского. — М.: Сов. радио, 1963. Т. I; 1964. Т. II.
10. *Lindsey W.C.* Optimum coherent amplitude demodulation // Proc. Nat. Electron. Conf. October 1964. V. 20.
11. *Кантор Л.Я., Дорофеев В.М.* Помехоустойчивость приема ЧМ-сигналов. — М.: Связь, 1976.
12. *Быховский М.А.* Потенциальные возможности разделения двух сигналов, передаваемых в общей полосе частот // Радиотехника и электроника. 1981. № 12.
13. *Быховский М.А.* Разделение двух ЧМ-сигналов с помощью итерационного компенсатора // Труды НИИР. 1982. № 2.
14. *Быховский М.А.* Синтез и анализ двухканального компенсатора помех для сигналов с ЧМ // Электросвязь. 1980. № 10.
15. *Middleton D.* An Introduction to Statistical Communication Theory. N. Y.: McGraw-Hill. 1960.
16. *Стратонович Р.Л.* К теории оптимальной нелинейной фильтрации случайных функций // Теория вероятностей и ее применение. 1959. № 2.
17. *Стратонович Р.Л.* Условные марковские процессы. — М.: МГУ, 1966.
18. *Kushner H.J.* On the differential equation satisfied by conditional probability densities of Markov processes, with applications // J. SIAM Control. 1964. № 1.
19. *Baggeroer A.B.* State variables and communication theory. Cambridge, Mass.: MIT Press. 1970.
20. *Тихонов В.И., Кульман Н.К.* Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. — М.: Сов. радио, 1975.
21. *Ярлыков М.С.* Применение марковской теории нелинейной фильтрации в радиотехнике. — М.: Сов. радио, 1980.
22. *Тихонов В.И., Харисов В.Н.* Оптимальный прием дискретных сигналов и тактовая синхронизация // Радиотехника и электроника. 1980. № 3.
23. *Харисов В.Н.* Синтез систем синхронизации со случайным запаздыванием регулирования // Радиотехника и электроника. 1982. № 9.
24. *Детинов А.Н.* Оптимальный прием фазоманипулированных сигналов // Радиотехника и электроника. 1968. № 3.
25. *Дмитриев В.П.* Оптимальная фильтрация сигналов синхронизации // Радиотехника и электроника. 1968. № 4.
26. *Амиантов И.П.* Избранные вопросы статистической теории связи. — М.: Сов. радио, 1971.
27. *Snyder D.* The state — variable approach to continuous estimation with applications to analog communication theory. Cambridge, Mass.: MIT Press. 1969.