

УДК: 004.7

DOI: 10.53816/23061456_2021_11-12_15

**МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ
ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОЛИНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ
МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ АДАПТАЦИИ**

**THE TECHNIQUE OF INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DECAMETER
RADIO LINES THROUGH THE USE OF MULTI-STAGE ADAPTATION**

*А.Е. Алекаев¹, д-р техн. наук В.А. Липатников², канд. техн. наук П.И. Кузин²,
канд. техн. наук А.В. Бухарин³*

A.E. Alekaev, D.Sc. V.A. Lipatnikov, Ph.D. P.I. Kuzin, Ph.D. A.V. Buharin

*¹Военный университет радиоэлектроники (г. Череповец), ²ВАС им. С.М. Буденного,
³Главное управление связи ВС РФ*

Одним из направлений совершенствования аппаратуры адаптации, используемой в декаметровых радиоприемниках военного назначения, является применение многоступенчатой адаптации. Неотъемлемой составляющей такой «интеллектуальной системы» будет являться система адаптивного прогнозирования, которая даст возможность предугадывать развитие помеховой обстановки для своевременной реакции многопараметрической адаптивной системы на изменяющиеся условия ведения связи. Материалы, представленные в статье позволяют решить задачу адаптивного прогнозирования уровней помех в декаметровом диапазоне на основе априорных данных, полученных в ходе статистического анализа загрузки радиочастотного спектра, и задачу многопараметрической адаптации на основе изменения нескольких параметров радиосигнала.

Ключевые слова: помехоустойчивость, декаметровые радиоприемники, адаптивное прогнозирование, многопараметрическая адаптация.

One of the ways to improve the adaptation equipment used in decimeter radio lines for military purposes is the use of multi-stage adaptation. An integral component of such an "intelligent system" will be an adaptive forecasting system, which will make it possible to predict the development of an interference situation for a timely response of a multiparametric adaptive system to changing communication conditions. The materials presented in the article allow solving the problem of adaptive prediction of interference levels in the decimeter range based on a priori data obtained during statistical analysis of the radio frequency spectrum load, and the problem of multiparametric adaptation based on changes in several parameters of the radio signal.

Keywords: noise immunity, decimeter radio lines, adaptive forecasting, multiparametric adaptation.

В настоящее время, несмотря на то, что многие методики повышения качества декаметровой (ДКМ) связи достаточно подробно изложены в работах [1, 2], приходится констатировать сла-

бое внедрение построенных на их основе технических решений в практику работы радиоприемных систем радиосвязи военного назначения. Исходя из этого, дальнейшая проработка вопросов прак-

тической реализации известных теоретических положений при модернизации средств и комплексов радиосвязи является актуальной.

Большое разнообразие форм и методов адаптации в системах радиосвязи, определяет необходимость рассмотрения таких систем как систем с многоступенчатой адаптацией (МСА), так как в таких системах алгоритм реализации адаптивных процедур будет иметь многоуровневый или многоступенчатый характер.

К исследованиям, в которых предлагается декомпозиция адаптивных систем на отдельные области в интересах решения задачи помехоустойчивости, можно отнести работы [3, 4]. Но в данных работах не рассматривается возможность декомпозиции сложного процесса многоступенчатой адаптации на частные подпроцессы (ступени), что позволило бы провести более глубокий системный анализ процесса функционирования адаптивных радиолиний и определить степень влияния каждой ступени на эффективность функционирования всей системы.

В частотно-временной области декаметрового диапазона существует большая неравномерность уровней помех, поэтому перед началом работы необходимо проводить статистические измерения уровней помех в выделенном частотном диапазоне с целью прогнозирования развития помеховой обстановки на интервале передачи сообщения (интервале сеанса связи) или выбора рабочей частоты.

Зная зависимость вероятности ошибки $p_{\text{ош}}$ от отношения сигнал/шум (ОСШ) h^2 , для каждой частоты f можно получить значения вероятностей приема с требуемой достоверностью $P_{\text{пр}}(p_{\text{ош}} \leq p_{\text{ош доп}})$ для различных систем передачи дискретных сообщений, отличающихся видами сигнала, решающими схемами приемника и свойствами канала по характеру кратковременных замираний.

Методы адаптивного прогнозирования применяются там, где основной информацией для прогноза является отдельный временной ряд. Применительно к прогнозированию помеховой ситуации временные ряды составляются из отсчетов уровней помех по оси времени на различных частотах. В известных работах, где описывается прогнозирование на основе оценки значений временных рядов, применяются методики, которые в большинстве случа-

ев применяются для прогнозирования процессов в экономической и социальной областях наук, или же прогнозирование осуществляется только на интервалах квазистационарности. В данной работе авторами предложена возможность прогнозировать уровни помех в заданных участках ДКМ диапазона, в том числе с учетом нестационарности процессов сигнально-помеховой обстановки (СПО).

Теоретические исследования [5, 6] показали перспективность многопараметрической адаптации, алгоритмы управления которой позволяют более экономно использовать частотный и энергетический ресурсы радиолинии. Т.е. при ухудшении достоверности приема информации предполагается адаптация по совокупности параметров с целью достижения показателями заданных критериев. Но в данных работах при расчете помехоустойчивости не учитываются данные помеховой обстановки, а показатель помехоустойчивости учитывает только требования по достоверности связи.

Следовательно, анализ релевантных работ показывает, что при построении адаптивных систем радиосвязи недостаточно широко были бы раскрыты или не в полной мере решены следующие вопросы:

- применение моделей авторегрессии для прогнозирования помеховой обстановки на выделенных частотах;
- прогнозирование уровня помех в анализируемых участках диапазона на основе их прошлых значений с учетом нестационарности процессов, протекающих в ионосфере;
- для управления многопараметрической адаптацией осуществление оценки эффективности каждого сочетания параметров радиолиний по нескольким показателям определяющимся теми задачами, которые призвана решать адаптивная система;
- при введении показателя (показателей), описывающих требования по безопасности связи учёт влияния излучающего сигнала корреспондента на комплекс обнаружения.

Цель — обеспечить помехоустойчивость многоступенчатой адаптивной системы исходя из требуемых значений частных показателей.

Задача — разработать методику повышения помехоустойчивости ДКМ радиолиний за счет применения многоступенчатой адаптации.

**Методика адаптивного прогнозирования
сигнально-помеховой обстановки**

В результате анализа методов прогнозирования можно сделать вывод о том, что для достижения минимальных ошибок прогнозирования алгоритмы должны иметь самоприспосабливающуюся структуру, т.е. быть адаптивными. Адаптивность будет заключаться:

- в изменении параметра сглаживания аномальных значений (выбросов);
- в изменении длительности предыстории статистического анализа уровней помех;
- в изменении параметра прогнозирования (оценки) уровней помех на каждой анализируемой частоте;
- в изменении моделей прогнозирования;
- в изменении коэффициента модели экспоненциального сглаживания.

В качестве моделей прогнозирования автором выбраны адаптивное экспоненциальное сглаживание и линейная стохастическая модель авторегрессии.

Адаптивная прогнозирующая система для уменьшения ошибки прогноза и, как следствие, для повышения достоверности данных, предоставляемых следующей ступени адаптации и повышения помехоустойчивости будет осуществлять прогноз по нескольким моделям [7]. Проведенный анализ показал, что можно осуществлять прогноз по усредненным за различные интервалы времени T уровням помех — \bar{x}_T , либо суммы среднеквадратичного отклонения (СКО) и среднего уровня помех — $(\bar{x}_T + \sigma)$ за тот же интервал времени. Поэтому, учитывая все достоинства и вполне удовлетворительные результаты, помимо модели авторегрессии целесообразно

также использовать однопараметрическую модель экспоненциального сглаживания (таблица).

Кроме адаптации по моделям и параметрам в рамках модели экспоненциального сглаживания будет осуществляться адаптация по параметру сглаживания α , обеспечивая выравнивание тренда, а также адаптация по длительности предыстории.

Необходимо отметить, что цикл прогноза будет осуществляться в четыре этапа. На первом этапе будет осуществляться измерение уровней помех на каждой из анализируемых частот, выявление аномальных значений, их сглаживание и построение временного ряда для осуществления прогноза.

На втором этапе будет происходить, так называемое, «обучение», заключающееся в установлении параметра выборочного сглаживания, параметров модели авторегрессии, выбор параметров прогнозирования \bar{x}_T или $\bar{x}_T + \sigma$ для модели экспоненциального сглаживания, с помощью которых будет вестись оценка каждой частоты.

Дополнительно на этапе «обучения» будет осуществляться изменение параметров сглаживания α , а также длительности анализа параметров, т.е. изменение времени статистической оценки \bar{x}_T и $\bar{x}_T + \sigma$ — длительности предыстории. Длительность предыстории будет варьироваться, допустим, в интервале T_r , где $r = \bar{1}, \bar{R}$, что даст возможность осуществить статистическую оценку.

Применение процедуры выборочного сглаживания позволяет не осуществлять дополнительную оценку необходимости сглаживания случайных выбросов во временном ряду, это дает возможность исключить из алгоритма операцию прогнозирования при фиксированном коэффициенте α , но меняющейся длительности предыстории.

Таблица

Модели адаптивного прогнозирования

Модель экспоненциального сглаживания $\tilde{x}(t+1) = \alpha \cdot x_t + \beta \cdot x_{t-1}$	Модель авторегрессии $\tilde{x}_\tau(t+1) = \tau(t+1) + a_1 x_{t-\Delta t} + \dots + a_p x_{t-p\Delta t}$
где $\tilde{x}(t+1)$ — прогнозируемое значение уровня помехи в следующий момент времени $(t+1)$; x_t — текущий уровень помехи в момент времени t ; x_{t-1} — предыдущий уровень помехи в момент времени $(t-1)$; α — параметр сглаживания, $\beta = 1 - \alpha$; $\beta = 1 - \alpha$.	где $\tau(t+1) = b_0 + b_1(t+1)$ — тренд ряда в момент времени $(t+1)$; b_0, b_1 — текущие оценки коэффициентов полинома первого порядка; a_1, \dots, a_p — оценки коэффициентов авторегрессии; $x_{t-\Delta t}, \dots, x_{t-p\Delta t}$ — значения временного ряда p шагов назад.

Итогом первого этапа — этапа «обучения» — будет выбор используемой модели прогнозирования по критерию минимума стандартной ошибки на интервале прогноза, с учетом уравнения тренда и параметра модели авторегрессии и коэффициента сглаживания α , длительности предыстории и параметра прогнозирования, выбранных для модели экспоненциального сглаживания по критерию минимальной среднеквадратичной ошибки.

Третий этап функционирования — «рабочий». Этап, на котором осуществляется прогнозирование уровня помех на данной частоте с выбранной моделью прогнозирования. Т.е. по итогам «обучения» в процессе «рабочего» этапа осуществляется расчет прогнозного значения уровня помех на заданное время вперед. Причем для модели экспоненциального сглаживания выходным параметром является значение, представляющее собой сумму среднего значения спрогнозированных на горизонте прогноза уровней помех и среднеквадратического отклонения уровней помех, а для модели авторегрессии выходным параметром является среднее значение верхних уровней доверительного интервала прогноза.

Четвертым этапом является «контрольный» этап. На этом этапе производится оценка результатов этапа «обучения» на основании данных, получаемых во время ведения связи.

На рис. 1 приведена блок-схема последовательности прогнозирования уровней помех, в которой раскрыта структура алгоритма и выполнение основных операций методики прогнозирования уровня помех: этап «измерения и построения ряда» — блоки 2–7, этап «обучения» — блоки 8–29, «рабочий» этап — блоки 30–37, «контрольный» этап — блоки 38–40.

Показатели оценки помехоустойчивости адаптивной ДКМ радиолинии

От количества адаптивных ресурсов зависит число возможных вариантов построения адаптивных радиолиний (АРЛ). Соответственно, эти варианты различны не только по структуре, но и по достигаемому качеству выходного сигнала и затратам (временным, энергетическим, частотным и т.д.) на реализацию.

Для оценки альтернативных вариантов действий в [4] был сформирован набор критериев и показателей эффективности МСА. В данном

примере показатель эффективности представляется как совокупность частных показателей, описывающих требования по достоверности, своевременности и безопасности связи.

Для оценки показателей качества предложено сопоставить их с физическими величинами, которые можно измерить и которые количественно будут характеризовать качество радиолинии, давать оценку её параметров и т.д. В данном случае были выделены три из них (рис. 2):

$P_{пр}$ — вероятность приема информации при условии $P_{ош} \leq P_{ош доп}$ (достоверность);

T — время передачи сообщения (своевременность);

$P_{зо}$ — вероятность энергетического обнаружения источника (безопасность).

Каждый из показателей имеет свой физический смысл и разную размерность, поэтому необходимо все показатели качества обобщить в единый признак. Только совокупность этих признаков дает возможность оценить эффективность системы в конкретных условиях для решения конкретных задач [5].

В этом случае, для сравнимости признаков, требуется введение некоторой безразмерной шкалы, которая будет однотипной для всех показателей.

Методика многопараметрической адаптации

При декомпозиции сложного процесса многоступенчатой адаптации на частные подпроцессы отдельной ступенью необходимо выделять многопараметрическую адаптацию на канальном уровне системы.

Если адаптивная радиолиния рассматривать как систему дискретного управления с переменной структурой, то количество имеющихся адаптивных ресурсов n и множества возможных параметров этих ресурсов определяют количество возможных состояний адаптивной радиолинии (множество степеней свободы, множество сочетаний адаптивных ресурсов).

Ранее представлены показатели, описывающие требования к связи по достоверности, своевременности и безопасности, которые количественно будут характеризовать качество радиолинии, давать оценку её параметрам.

Разработанный в данном разделе алгоритм дает возможность осуществлять расчет комп-

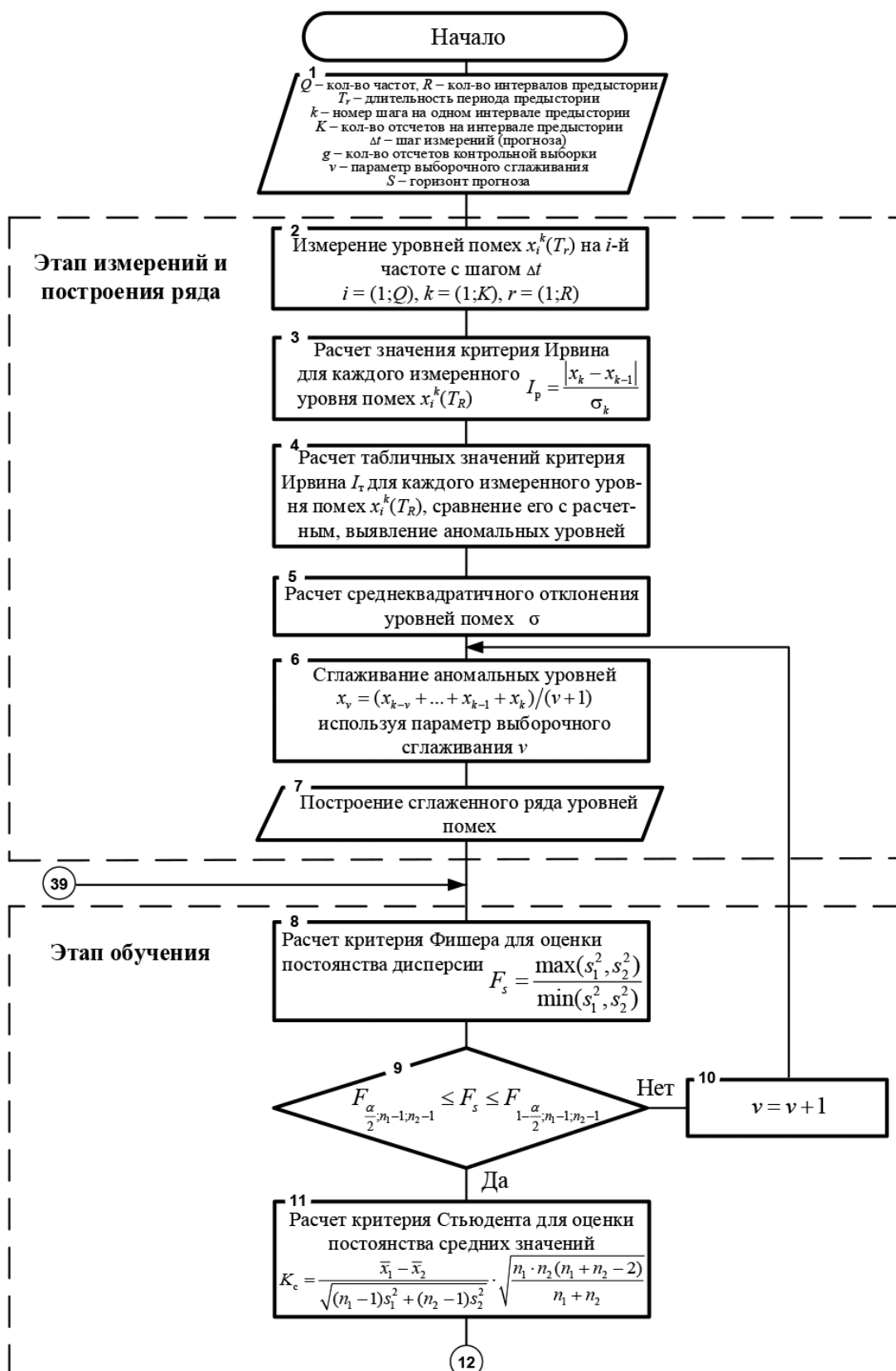
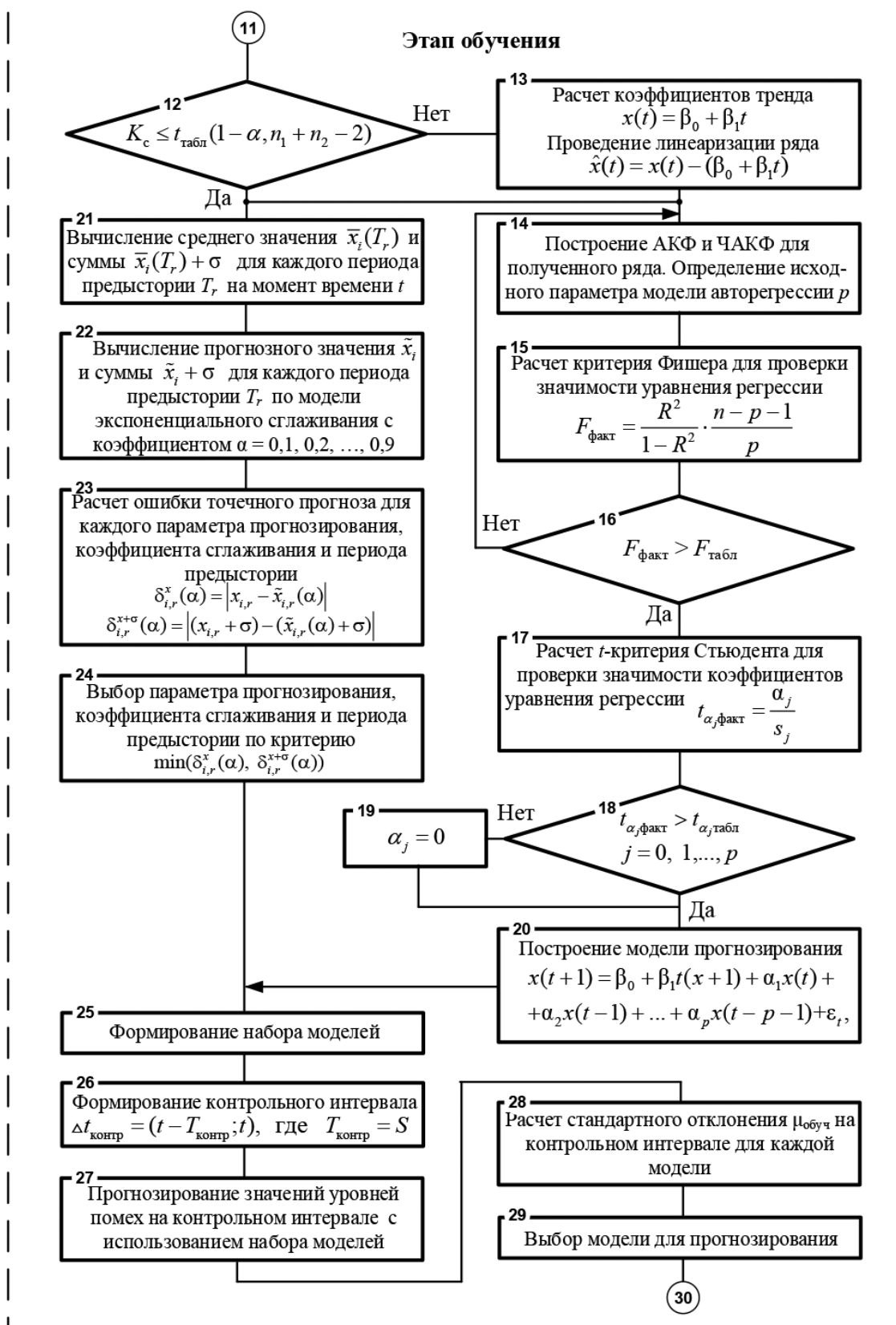
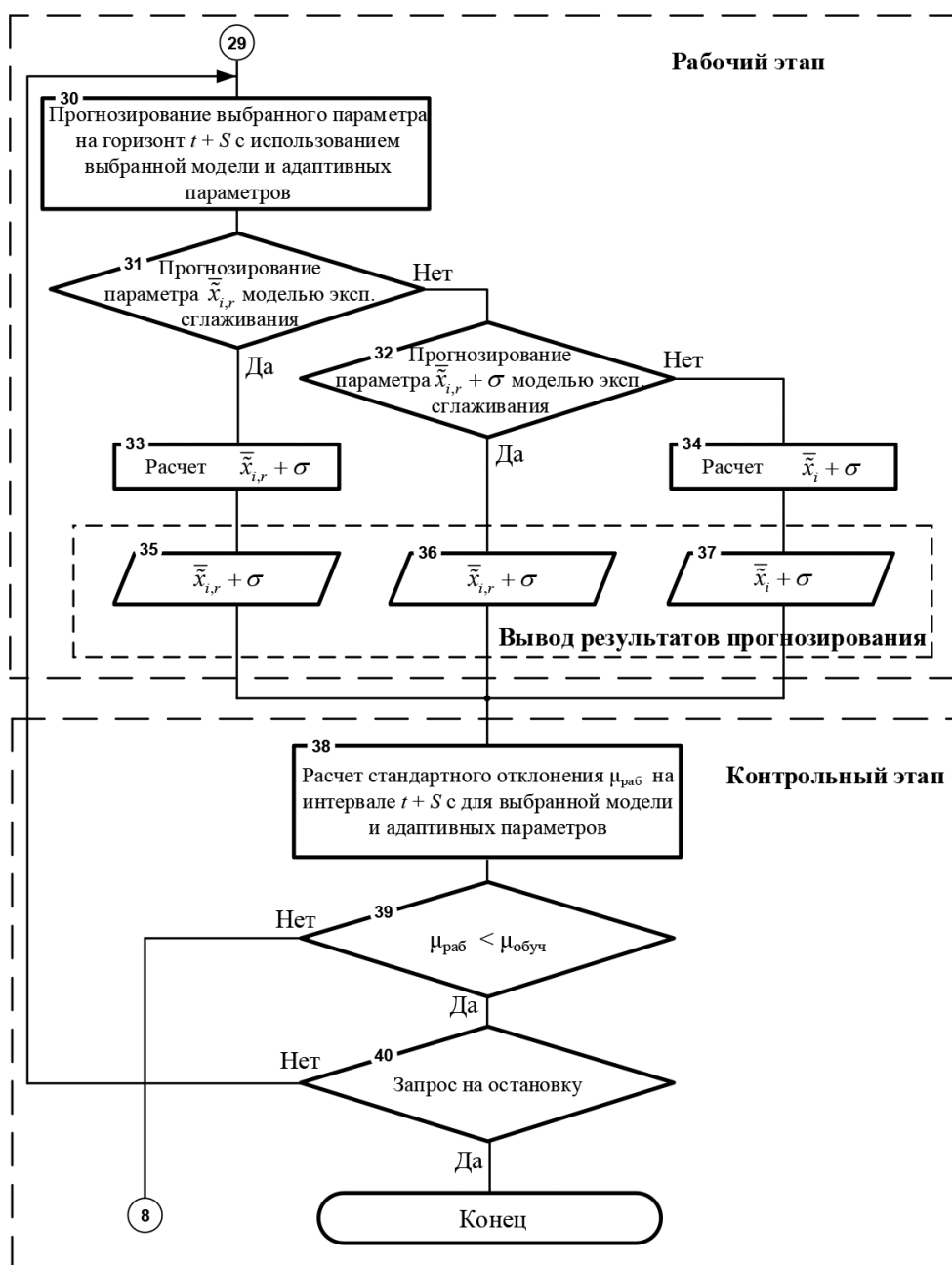


Рис. 1. Блок-схема последовательности адаптивного прогнозирования уровней помех в декаметровом диапазоне



Продолжение рис. 1. Блок-схема последовательности адаптивного прогнозирования уровней помех в декаметровом диапазоне



Продолжение рис. 1. Блок-схема последовательности адаптивного прогнозирования уровней помех в декаметровом диапазоне



Рис. 2. Требования к связи и соответствующие им частные показатели помехоустойчивости

лексного показателя помехоустойчивости для различных сочетаний адаптивных параметров и состояния сигнально-помеховой обстановки, другими словами многопараметрической адаптации по мощности передающего устройства, виду сигнальной конструкции, варианту помехоустойчивого кодирования, технической и информационной скорости передачи.

Последовательность выполнения методики расчета комплексного показателя можно представить в виде схемы, представленной на рис. 3.

Количество степеней свободы такой дискретной системы определяется как

$$\Theta = \prod_{i=1}^n m_i,$$

где n — количество адаптивных ресурсов;

m_i — количество степеней свободы i -го адаптивного ресурса.

При оценке эффективности θ -й радиолинии ($\theta \in \Theta$) по совокупности показателей необходимо введение обобщенного (интегрального — $D_{\text{инт}}$) показателя. Порядок расчета условных показателей подробно описан в [8].

Соответственно, исходя из предложенных частных показателей оценки, характеризующих требования по достоверности, своевременности и безопасности связи обобщенный (интегральный) показатель определяется как

$$D_{\text{инт}} = \sqrt[3]{d_{\text{пр}} \cdot d_{\text{т}} \cdot d_{\text{зо}}}. \quad (2)$$

На основании полученных численных значений условных показателей для каждой θ -й радиолинии выстраивается вариационный ряд, первый член которого будет соответствовать наибольшему значению интегрального показателя, следовательно, соответствовать радиолинии,

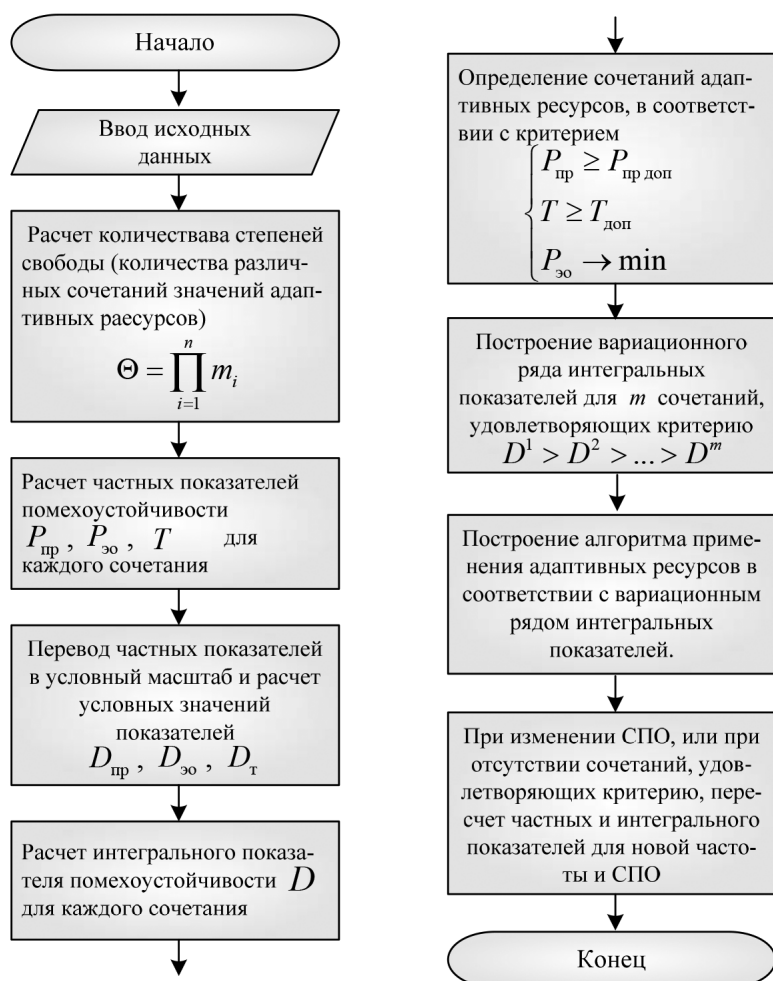


Рис. 3. Последовательность выполнения методики расчета комплексного показателя помехоустойчивости

Антенны Города

Ввод данных Расчёт частных показателей Результаты

Дата и время
 Дата: 23.06.2021
 Время: 15:09

Координаты корреспондентов
 Корреспондент А: Череповец Широта: 59,122612 Долгота: 37,903461
 Корреспондент Б: Широта: Долгота:

Дистанция:

Город	Регион	Федеральный округ
Сельцо	Брянская область	Центральный
Семенов	Нижегородская область	Приволжский
Семикарарск	Ростовская область	Южный
Сенгилей	Воронежская область	Центральный
Сенгилей	Ульяновская область	Приволжский
Серафимович	Волгоградская область	Южный
Сергач	Нижегородская область	Приволжский
СергиевПосад	Московская область	Центральный
Сердобск	Пензенская область	Приволжский
Серпухов	Московская область	Центральный
Сертолово	Ленинградская область	Северо-Западный
Сибай	Башкортостан	Приволжский
Сим	Челябинская область	Уральский
Сковородино	Амурская область	Дальневосточный
Скопин	Рязанская область	Центральный

Параметры антенн
 Выбор приёмной антенны:
 Выбор передающей антенны:
 Коэффициент усиления передающей антенны, G1:
 Коэф. усиления перед. антенны в направлении обнаруже
 Коэффициент усиления приемной антенны обнаружителя

Параметры радиотрассы
 Длина трассы, км: 0
 Полный коэф. поглощения в ионосфере (Gполг): 0,000000
 Рабочая частота ОРЧ (Fорч), кГц: 0 Ручн.
 Длина волны (λ), м: 0,00000
 Значение рассеяния уровня сигнала (σ₀), дБ: 4
 Среднее рассеяния помех (σ_х), дБ: 7,3
 Среднее значение помех (Хср), дБ: 20
 Допустимое ОСШ на входе обнаружителя (Zдоп обн), дБ: 10

Оптимальная вероятность обнаружения: Вычислить

Рассчитать

Рис. 4. Окно ввода данных методики расчета помехоустойчивости

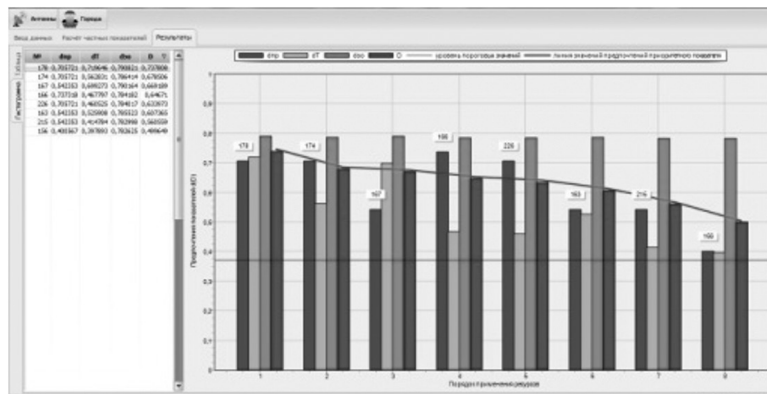


Рис. 5. Построение вариационного ряда при приоритетном интегральном показателе $D_{\text{инт}}$

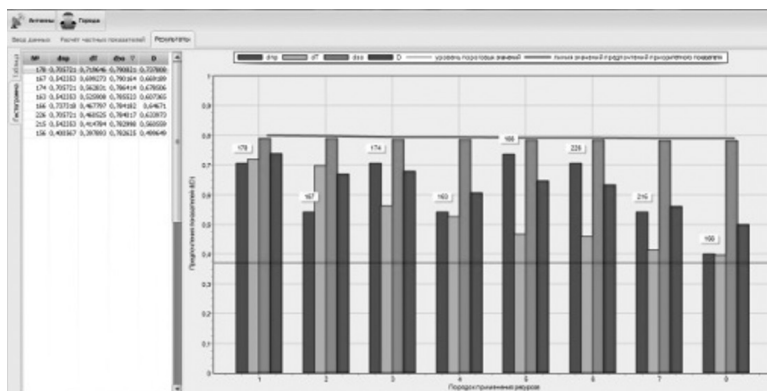


Рис. 6. Построение вариационного ряда при приоритетном показателе d_{30}

значения адаптивных параметров которой обеспечивают наибольшую эффективность.

На основании полученного вариационного ряда можно выстраивать алгоритм применения адаптивных процедур на промежутке времени T , который определяется выбранной на предыдущей ступени адаптации рабочей частоты для этого же временного интервала.

Этапы расчета частных показателей помехоустойчивости, условных показателей и комплексного (интегрального) показателя помехоустойчивости реализованы в разработанном программном алгоритме [9] (рис. 4).

В предлагаемой методике, для оценки функционирования системы, не исключена возможность применения дифференциации весов отдельных показателей, но, ввиду отсутствия достаточно обоснованных способов такой дифференциации, в данном случае она не применяется. Хотя, для построения вариационного ряда обобщенных предпочтений можно учитывать значения отдельных показателей качества, которые считаются наиболее весомыми, т.е. выполнение которых в сложившихся условиях или в зависимости от имеющихся исходных данных имеют наиболее важное значение.

Так, если за основной показатель принять своевременность, то самый левый член вариационного ряда обобщенного предпочтения будет соответствовать минимальному значению временных затрат на передачу информации. Аналогичным образом выстраивается вариационный ряд при необходимости минимизации вероятности энергетического обнаружения источника.

На соответствующих гистограммах (рис. 5, 6) графически отображаются уровни условных показателей и интегрального показателя, а построения вариационного ряда осуществляется в зависимости от приоритетного показателя или порядка применения адаптивных ресурсов.

Заключение

Разработанная методика прогнозирования с применением адаптивного параметра выборочного сглаживания и различных моделей прогнозирования обеспечивает снижение значения ошибки прогнозирования, и, как следствие, бо-

лее точное вычисление ожидаемой вероятности приема с заданной достоверностью. Методика может послужить для дальнейшего расчета помехоустойчивости радиолинии при работе в различных режимах многопараметрической адаптации и может быть положена в основу функционирования многоступенчатой адаптивной системы.

Каждый показатель качества радиолинии имеет свой физический смысл и разную размерность, поэтому необходимо все оцениваемые показатели обобщить в единый признак. Методика обобщения показателей, путем введения некоторой безразмерной шкалы, основанная на применении функции Е.С. Харрингтона, позволяет получить интегральный показатель, позволяющий сравнивать эффективность АРЛ различных по своим параметрам и структуре.

Данное направление исследования дает возможность для последующей разработки методов, методик и оптимальных алгоритмов адаптации с точки зрения основных показателей эффективности радиосвязи, а также разработки алгоритмов управления системой связи с многоступенчатой адаптацией для радиолиний, различных по своим параметрам и структуре.

Литература

1. Липатников В.А., Кузин П.И. Метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4 (46). С. 18–22.
2. Дулькейт И.В., Землянов И.С., Юрьев А.Н. Многокритериальная адаптация модема с OFDM к условиям распространения на коротковолновой радиолинии // Тенденции и перспективы развития современного научного знания: сборник трудов конференции. — Москва. 2015. С. 7–20.
3. Антонюк Л.Я., Семисошенко М.А. Адаптивная радиосвязь в системах связи специального назначения // Электросвязь. 2007. № 5. С. 17–20.
4. Алекаев А.Е., Ряскин Р.Ю., Липатников В.А., Капкин Ю.А. Модель многоступенчатой адаптивной низкоэнергетической радиолинии

КВ диапазона с учетом затрачиваемых ресурсов радиолинии и прогнозирования сигнально-помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности. 2020. Вып. 3. С. 158–183.

5. Алекаев А.Е., Ряскин Р.Ю., Теслевич С.Ф. Методика оценки потенциальной помехоустойчивости декаметровых радиолиний с учетом ограничения частотно-энергетического ресурса // Электромагнитные волны и электронные системы. Т. 25. № 6. 2020. С. 65–74.

6. Алекаев А.Е., Чубатый Д.Н., Ряскин Р.Ю. Методика расчета эффективности применения адаптивных процедур в системе связи с многоступенчатой адаптацией // Техника радиосвязи. 2020. Вып. 2. С. 35–46.

7. Ким В.В., Ряскин Р.Ю. и др. Методика расчета потенциальной помехоустойчивости многопараметрической адаптивной системы радиосвязи декаметрового диапазона. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2021614809 от 30.03.2021.

8. Липатников В.А., Панкин А.А., Кузин П.И., Земцев И.В. Метод повышения надежности помехозащищенности при приеме информации в системах радиосвязи КВ и УКВ диапазонов // Телекоммуникации. 2014. № 5. С. 27–31.

9. Нечаев Ю.Б., Плаксенко О.А. Комплексная оценка помехозащищенности многопараметрической адаптивной системы передачи информации // Радиотехника. 2013. № 3. С. 4–10.

References

1. Lipatnikov V.A., Kuzin P.I. Method of increasing the efficiency of changing adaptation parameters when receiving information in radio communication systems of HF and VHF bands // Automation of control processes. 2016. № 4 (46). P. 18–22.

2. Dulkeit I.V., Zemlyanov I.S., Yuryev A.N. Multicriteria adaptation of a modem with OFDM to

the conditions of propagation on a short-wave radio line // Trends and prospects for the development of modern scientific knowledge: proceedings of the conference. — Moscow. 2015. P. 7–20.

3. Antonyuk L.Ya., Semisoshenko M.A. Adaptive radio communication in special-purpose communication systems // Telecommunications. 2007. № 5. P. 17–20.

4. Alekaev A.E., Ryaskin R.Y., Lipatnikov V.A., Kapkin Yu.A. Model of a multi-stage adaptive low-energy radio line of the KV range, taking into account the radio line resources consumed and forecasting the signal-interference situation // Control, communication and security systems. 2020. Issue 3. P. 158–183.

5. Alekaev A.E., Ryaskin R.Y., Teslevich S.F. Methods of assessment of potential noise decameter radio links with the limitation of the frequency and power resource // Electromagnetic waves and electronic systems. Vol. 25. № 6. 2020. P. 65–74.

6. Alekaev A.E., Chubatj D.N., Ryaskin R.Y. Method of calculating the effectiveness of adaptive procedures in a communication system with multi-stage adaptation // Equipment telecommunication. 2020. Vol. 2. P. 35–46.

7. Kim V.V., Ryaskin R.Y. et al. Method of calculating the potential noise immunity of a multiparameter adaptive radio communication system of the decameter range. Certificate of registration of a computer program RU 2021614809 from 30.03.2021.

8. Lipatnikov V.A., Panin A.A., Kuzin P.I., Zemtsev I.V. Method of increasing the reliability of noise immunity when receiving information in radio communication systems of HF and VHF bands // Telecommunications. 2014. № 5. P. 27–31.

9. Nechaev Yu.B., Plaksenko O.A. Complex assessment of noise immunity of a multiparametric adaptive information transmission system // Radio Engineering. 2013. № 3. P. 4–10.