

УДК 654.072.2

В.А. Липатников, П.И. Кузин

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ОПЕРАТИВНОСТИ СМЕНЫ ПАРАМЕТРОВ АДАПТАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ РАДИОСВЯЗИ КВ- И УКВ-ДИАПАЗОНОВ

Липатников Валерий Алексеевич, доктор технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного. Старший научный сотрудник научно-исследовательского центра ВАС. Имеет статьи, монографии, изобретения в области контроля безопасности связи и защиты информации. [e-mail: lipatnikovanl@mail.ru].

Кузин Павел Игоревич, окончил Томское высшее военное командное училище связи. Преподаватель кафедры общепрофессиональных дисциплин ВАС. Имеет статьи, изобретения в области контроля безопасности связи и защиты информации. [e-mail: kuzik78@mail.ru].

Аннотация

В статье предложен метод повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов. Известно достаточно большое количество методов, позволяющих повысить оперативность смены параметров адаптации при приеме информации по радиоканалам, однако они имеют ряд недостатков. Предлагаемый метод основан на том, что при работе в направлении радиосвязи предварительно задают множество установленных для связи частот, выделенных для работы радиосредств, диаграммы направленности передающих и приемных антенн и возможности по их изменению, возможности радиосредств по изменению скорости передачи информации, а также множество градаций величин мощности. Вследствие этого повышается оперативность смены параметров, достоверность передаваемой дискретной информации и снижается время простоя канала радиосвязи.

Ключевые слова: помехоустойчивость, достоверность, адаптация, вероятность ошибки, отношение сигнал/помеха, КВ-УКВ-радиосвязь.

A METHOD OF EXPEDITING THE ADAPTATION PARAMETERS CHANGE IN RECEIVING INFORMATION IN RADIO COMMUNICATION SYSTEM OPERATING IN SHORT AND ULTRA SHORT BANDS

Valerii Alekseevich Lipatnikov, Doctor of Engineering; graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; Senior Staff Scientist of the Research Center of the Military Academy of Signal Corps; an author of articles, monographs, inventions in the field of communication security monitoring and information protection. e-mail: lipatnikovanl@mail.ru.

Pavel Igorevich Kuzin, graduated from Tomsk Higher Military Command School of Communication; Lecturer of the General Vocational Disciplines Department; an author of articles, inventions in the field of communication security monitoring and information protection. e-mail: kuzik78@mail.ru.

Abstract

The article proposes a method for expediting the change of the adaptation parameters in case of data reception in radio communication systems operating in short and ultra short bands. A great number of methods for increasing the efficiency of changing the adaptation parameters during the reception of information by radio are known but they have some disadvantages. The proposed method is based on the fact that in working with radio communication, a lot of frequencies installed for the connection are preset. These frequencies are allocated for the operation of radio equipment. Moreover, diagrams for transmitting and receiving antennas and the opportunities for their change, the possibilities of radio equipment to change the speed of information transmission as well as many gradations of values of power are also preset. As a result, the increase of efficiency of shift parameters, reliability of transmitted digital data and the reduce of the radio channel downtime are handled.

Key words: noise immunity, validity, adaptation, error probability, signal/interference, short wave / ultra short wave radio communication.

ВВЕДЕНИЕ

С целью повышения достоверности приема информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов по оценкам качества приема и в зависимости от помеховой обстановки в каналах связи могут перестраиваться следующие параметры: несущая частота радиостанции, мощность излучения, скорость передачи информационных символов, а также вид модуляции и способ кодирования и другие.

Вопросам повышения достоверности приема информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов посвящены следующие работы [1-3], однако они имеют ряд недостатков и при этом мало исследован вопрос повышения оперативности смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов. Наиболее существенными из них являются большие энергетические затраты на передачу дискретной информации по каналам радиосвязи и значительные временные интервалы простоя каналов радиосвязи, что снижает достоверность передаваемой дискретной информации.

В статье предлагается новый метод смены параметров адаптации, учитывающий вышеперечисленные недостатки.

Постановка задачи

Оперативность смены параметров адаптации при приеме информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов достигается тем, что от передающей стороны поступает дискретная информация, а на приемной стороне по данной информации принимают решение о многопараметрическом адаптивном управлении процессом связи.

В известных способах в качестве параметров адаптации из всего их множества выбираются только самые значимые, а именно: частота, на которой осуществляется обмен информацией; скорость передачи и мощность излучения радиопередающих устройств. Не учтены возможности по изменению диаграмм направленности передающих и приемных антенн, позволяющих повысить отношение $P_{\text{сигнала}}/P_{\text{помехи}}$ на входе приемника.

Таким образом, предлагается разработать метод повышения оперативности смены параметров адаптации при ухудшении качества канала связи, позволяющий уменьшить время простоя канала радиосвязи и повысить достоверность передаваемой дискретной информации в системах радиосвязи КВ- и УКВ-диапазонов.

РЕШЕНИЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ В КВ-УКВ-ДИАПАЗОНЕ

Перед началом работы в направлении радиосвязи предварительно задают множество установленных для связи частот, выделенных для работы радиосредств, диаграммы направленности передающих и приемных антенн и возможности по их изменению (множество состояний диаграмм направленности передающих и приемных антенн), возможно радиосредств по изменению скорости

передачи информации (множество скоростей передачи информации), а также множество градаций величин мощности. Для оценки качества канала и достоверности связи дополнительно задают пороговое значение вероятности ошибки (коэффициента ошибок) в канале связи и необходимое время исправной работы канала радиосвязи.

После задания исходных данных с помощью пеленгационной антенны и пеленгационного приемника определяют направление и угол места прихода помехи для заданного множества частот в точке приема каждого корреспондента. В соответствии с определенными параметрами выбирают из всего множества состояний диаграмм направленности то значение, которое позволяет сформировать «провал» диаграммы направленности по направлению и углу места прихода помехи, и изменяют диаграмму направленности приемной антенны в соответствии с выбранным значением из множества $\{Q\}$. Использование этих данных позволяет сформировать в точке приема нули диаграмм направленности приемных антенн в отношении наиболее мощных источников помех. Эти действия осуществляют для каждого корреспондента.

Далее с помощью измерительных антенн КВ- и УКВ-диапазонов измеряют уровень помех на заданных частотах и с помощью программных средств по полученным уровням помех на заданном множестве $\{F\}$ вычисляют соотношение сигнал/помеха в точке приема для заданных значений из множеств $\{B\}$ и $\{P\}$ и соответствующее рассчитанное значение вероятности ошибки.

Например, вероятность ошибки в каналах с замираниями и аддитивной помехой в виде нормального шума при некогерентном приеме, характерных для КВ-диапазона [4, 5]:

1) для случая рэлеевских замираний вероятность ошибки одинарного приема элемента ортогональных в усиленном смысле двоичных сигналов с активной паузой равна:

$$P_{ou} = \frac{1}{h_0^2 + 2}, \quad (1)$$

где h_0^2 – величина отношения сигнала к помехе;

2) для случая квазирэлеевских замираний в канале при аналогичных пункту 1 условиях:

$$P_{ou} = \frac{k^2 + 1}{h_0^2 + 2k^2 + 2} \exp\left(-\frac{kh_0^2}{h_0^2 + 2k^2 + 2}\right), \quad (2)$$

где $k^2 = U_0^2/U_{с.д.}^2 = 5$,

U_0^2 – амплитуда регулярной составляющей сигнала,

$U_{с.д.}^2$ – значение, флуктуирующее составляющего сигнала;

3) при сдвоенном приеме и квадратичном сложении на разнесенные антенны ортогональных в усиленном смысле двоичных сигналов частотной телеграфии (ЧТ) в канале с рэлеевскими замираниями вероятность ошибки равна:

$$P_{ou} = \frac{3h_0^2 + 4}{(h_0^2 + 2)^3}; \quad (3)$$

4) при некогерентном приеме элемента ортогональных в усиленном смысле двоичных сигналов двухканального частотного телеграфирования (ДЧТ) в условиях рэлеевских замираний вероятность ошибки в знаке равна:

$$P_{ош\ зн} \approx 1,22/h_0^2.$$

Соответственно, зная уровень сигнала корреспондента (мощность его излучения), используя основное уравнение радиосвязи, можно определить величину отношения сигнала к помехе (h_0^2) и, подставив значение в представленные выше формулы, получить значение вероятности ошибки для соответствующего значения частоты из множества $\{F\}$. По полученным расчетным значениям вероятности ошибки выстраивается вариационный ряд: $P_{ош1} \leq P_{ош2} \leq P_{ош3} \leq \dots \leq P_{оши}$, где самый левый член вариационного ряда соответствует минимальной вероятности ошибки на соответствующей частоте из множества $\{F\}$, а правый член ряда – частоте с максимальной величиной рассчитанной вероятности ошибки.

Вероятность ошибочного приема элемента сигнала на фоне нормальной стационарной помехи принято выражать как функцию отношения средней энергии сигнала к спектральной плотности помехи на входе приемного устройства [3]:

$$h_0^2 = \frac{P_c T_c}{v_n^2}, \quad (4)$$

где v_n^2 – спектральная плотность помех;

$P_c T_c$ – энергия сигнала за длительность T_c .

Вследствие неизвестной априори величины спектральной плотности помехи v_n^2 , которая реализуется в полосе приема данного канала, вероятность ошибки $P_{ош}$ также является случайной величиной, и ее закон распределения вероятностей определяется функциональной зависимостью $P_{ош}(h^2)$ и функцией распределения величины h^2 [6]. Спектральная плотность помех, как и мощность помех, является случайной величиной во времени на одной частоте и по оси частот [7]. Вместе с тем величина h^2 связана со значениями мощности сигнала и помехи следующим образом:

$$h_0^2 = \left(\frac{P_c}{P_n} \right) FT_c, \quad (5)$$

так как $P_n = v_n^2 F$. Поэтому при приеме двоичных сигналов в относительно узкой полосе, то есть в системе с базой $FT_c = 1$, отношение мощности сигнала к мощности помех равно $h_0^2 = P_c/P_n$, или в децибелах относительно $h_0^2 = 1$, запишется в виде:

$$z = 10 \lg h^2 = 10 \lg \left(\frac{P_c}{P_n} \right) = y - x, \quad (6)$$

где y – уровень полезного сигнала;

x – уровень случайных помех в полосе приема.

Для систем с $FT_c \neq 1$ уровень сигнала необходимо брать равным $y + 10 \lg FT_c$. Так как уровень помех и сигналов (в децибелах) описывается преимущественно

нормальным законом и уровни помех и сигнала на входе приемника, как правило, независимы, то распределение вероятности их разности $z = y - x$ подчинено нормальному закону с параметрами: среднее значение отношения уровней сигнал/помеха $\bar{z} = \bar{y} - \bar{x}$ и среднеквадратичное

$$\text{отклонение } \sigma_z = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_x^2}.$$

На основе вычисленных значений выстраиваются вариационные ряды для соответствующих значений:

$$z_1 \leq z_2 \leq z_3 \leq \dots \leq z_k - \text{отношение сигнал/помеха в децибелах для соответствующих частот из множества } \{F\},$$

заданного уровня сигнала из множества $\{P\}$, заданного вида модуляции и скорости передачи;

$P_{ош1} \leq P_{ош2} \leq P_{ош3} \leq \dots \leq P_{оши}$ – рассчитанная вероятность ошибки для соответствующих частот из множества $\{F\}$, заданного уровня сигнала из множества $\{P\}$, заданного вида модуляции и скорости передачи.

Количество вариационных рядов для соответствующих значений будет определяться количеством значений из множеств $\{P\}$ и $\{B\}$, и они будут изменяться вместе с изменением помеховой обстановки в точке приема и будут храниться в запоминающем устройстве контрольно-решающего устройства (ПЭВМ).

Далее из полученных вариационных рядов выбирают значения частоты, мощности и скорости передачи с учетом следующих условий: $z_{выбр} \geq z_{дон}$, $P_{ошвыбр} \leq P_{ошдон}$ и в соответствии с этими параметрами настраивают радиоприемное устройство, а параметры радиопередающего устройства настраивают в соответствии с данными, полученными от корреспондента по обратному каналу, оптимальных для него параметрах в точке приема, после чего приступают к обмену информацией. В процессе обмена информацией осуществляют постоянный контроль с помощью встроенных средств измерения за значением коэффициента ошибок в канале связи (вероятностью ошибок). Если вероятность ошибки не превышает заданного допустимого значения, то продолжают обмен информацией. Если же вероятность ошибки превышает заданное допустимое значение (или же начинает приближаться к пороговому значению), то происходит обращение к запоминающему устройству контрольно-решающего устройства, где уже рассчитаны значения отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки (построены вариационные ряды) для текущего временного интервала, и осуществляют изменение параметров радиоприемного устройства в соответствии с текущими данными о помеховой обстановке (изменяют частоту, мощность, скорость передачи информации), и передают эти данные по обратному каналу корреспонденту для изменения параметров радиопередающего устройства. По окончании передачи сообщения (окончании сеанса связи) осуществляют статистическую обработку данных за сеанс связи (рассчитывают время исправной работы радиолинии, среднюю величину вероятности ошибки за сеанс связи).

Измерение помеховой обстановки в точке приема можно осуществить с помощью устройства, представленного на рисунке 1.

Пеленгационная антенна, которая позволит опреде-

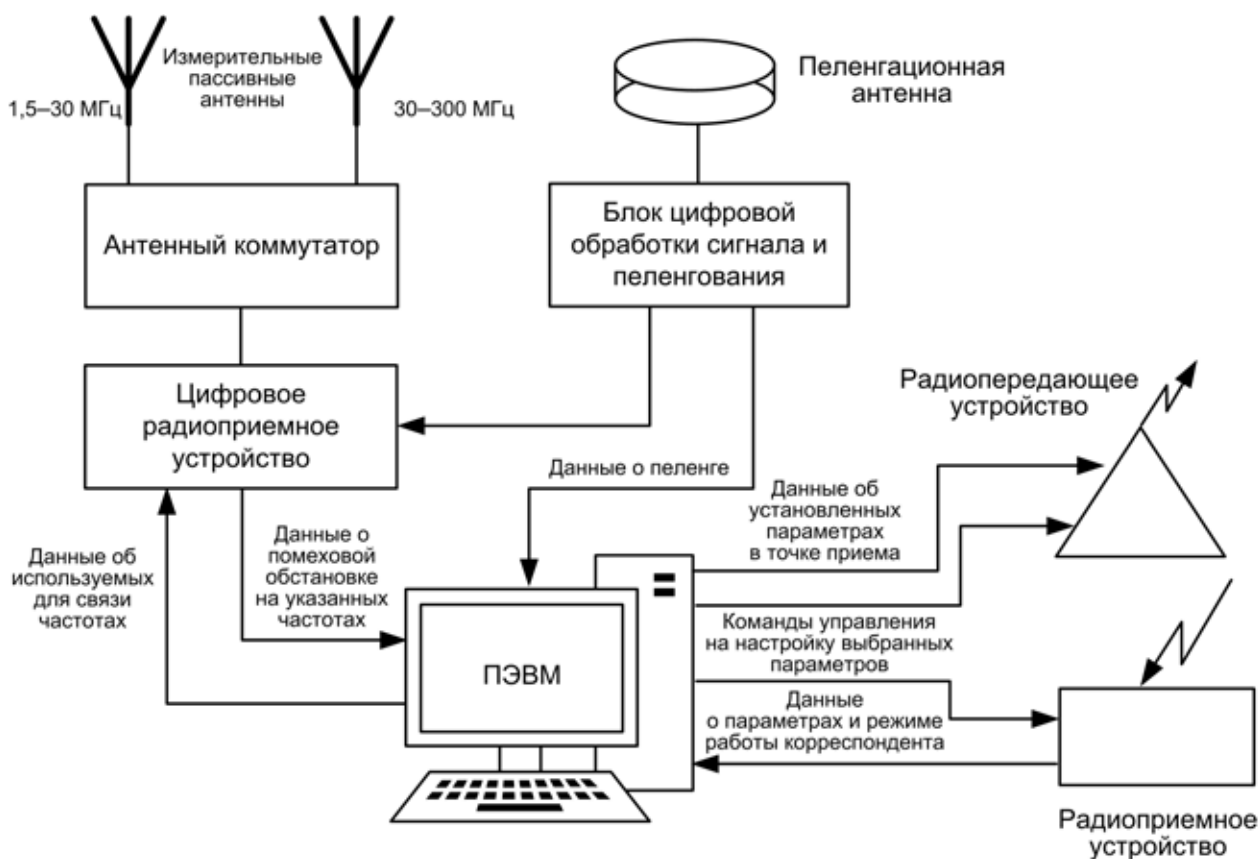


Рис. 1. Вариант реализации предлагаемого метода

лить направление на источник помех и угол прихода помехи для управления диаграммами направленности передающих и приемных антенн [8]. Данные с многоканального радиоприемного устройства о помеховой обстановке поступают на ПЭВМ с установленным пакетом прикладных программ, например, «Mathcad», где вычисляют по известным формулам значения отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки и на основе рассчитанных значений выстраивают вариационные ряды для этих параметров, которые впоследствии хранятся в запоминающем устройстве ПЭВМ. Настройку параметров радиоприемных и радиопередающих устройств (рабочая частота, мощность излучения, скорость передачи, диаграмма направленности передающей и приемной антенн) осуществляют с ПЭВМ путем передачи команд управления на изменение соответствующего параметра. Для оценки эффективности предлагаемого метода рассмотрим следующий пример.

Рассмотрим два возможных случая работы радиосвязи: на определенном интервале квазистационарности ($T_{кв.ст.}$) не возникло преднамеренных и непреднамеренных помех в канале связи и противоположный случай – наличие преднамеренных и непреднамеренных помех во время сеанса связи на установленном интервале квазистационарности. Для первого случая, когда по определенным параметрам помеховой обстановки выбраны соответствующие параметры адаптации, использование предлагаемого метода позволяет получить дополнительный энергетический выигрыш за счет дополнительных возможностей по изменению диаграмм направленности

передающих и приемных антенн (возможность «отстроиться» от преднамеренных и непреднамеренных помех), что, в свою очередь, позволяет повысить скорость передачи информации и снизить мощность излучения радиопередающих устройств. Во втором случае, как показано на рисунке 2, помимо энергетического выигрыша, предлагаемый метод позволяет снизить время простоя канала связи и, следовательно, повысить достоверность передачи информации.

Это объясняется тем, что если на определенном интервале квазистационарности $T_{кв.ст.}$ возникли помехи (момент времени t_1) такие, что вероятность достовер-

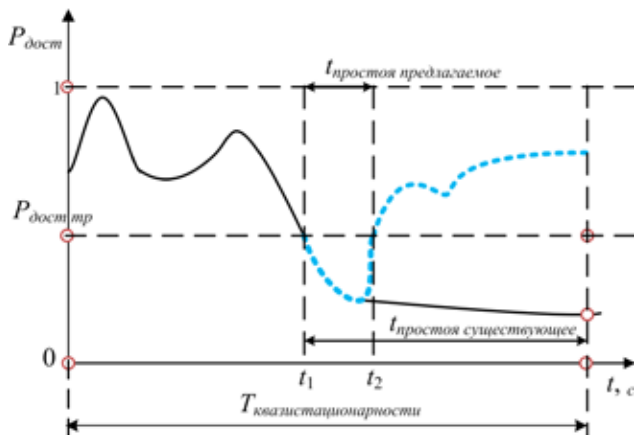


Рис. 2. График зависимости достоверности передаваемой информации

ности передаваемой информации становится ниже требуемой, то, согласно существующим способам ($t_{\text{простоя_существующее}}$), радиолиния будет работать с установленными ранее параметрами до окончания интервала квазистационарности (момент времени t_3) с низкой достоверностью передаваемой информации. Согласно предлагаемому способу при возникновении помех в заданном интервале квазистационарности при снижении достоверности передаваемой информации ниже порогового уровня $P_{\text{дост_пр}}$ произойдет обращение к контрольно-решающему устройству, где уже подготовлены новые значения параметров адаптации для текущей помеховой обстановки. Время простоя канала связи ($\Delta t_{\text{простоя_предлагаемое}} = t_2 - t_1$) будет определяться лишь скоростью перенастройки радиопередающих и радиоприемных устройств в соответствии с выбранными параметрами адаптации. Из графика видно, что $\Delta t_{\text{простоя_предлагаемое}} < \Delta t_{\text{простоя_существующее}}$ соответственно предлагаемый метод позволяет снизить время простоя канала связи и повысить достоверность передаваемой информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье был рассмотрен метод, согласно которому при ухудшении качества канала связи на любом участке интервала квазистационарности (превышение вероятности ошибки над заданным порогом) произойдет обращение к контрольно-решающему устройству (запоминающему устройству ПЭВМ) на изменение параметров радиопередающих или радиоприемных устройств в соответствии со сложившейся помеховой обстановкой, данные о которой представлены в ПЭВМ в виде вариационных рядов отношения сигнал/помеха и вероятности ошибки. Время простоя канала связи в данном случае будет определяться только длительностью команд управления на изменение параметров, временем перестройки и синхронизации для конкретного типа аппаратуры и будет значительно меньше интервала квазистационарности канала связи.

Таким образом, использование предлагаемого метода позволит уменьшить энергетические затраты на передачу дискретной информации по каналам радиосвязи в КВ- и УКВ-диапазонах, сократить время простоя каналов радиосвязи и повысить достоверность передаваемой дискретной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев О.Н., Кузин П.И., Панкин А.А. Выявление несанкционированных воздействий в сетях спутниковой связи // Телекоммуникации. – 2015. – Вып. 10. – С. 18–21.
2. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоприемных устройств. – М.: Радио и связь, 1986.

3. Ненашев А.П. Конструирование радиоэлектронных средств. – М.: Высш. шк., 1990.
4. Комарович В.Ф., Сосунов В.Н. Случайные радиопомехи и надежность КВ связи. – М.: Связь, 1977. – 136 с.
5. Чучин Е.В. Система моделей качества передачи цифровых сигналов по радиоканалам с замираниями Накагами // Научный журнал Курского государственного университета. – 2014. – № 1. – С. 42–44.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – Изд. 3-е, испр. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
7. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
8. Вендик О.Г., Парнес М.Д. Антенны с электрическим сканированием. – СПб., 2001 – 252 с.

REFERENCES

1. Kiselev O.N., Kuzin P.I., Pankin A.A. Vyjavlenie nesanktsionirovannykh vozdeistvii v setiakh sputnikovoi svyazi [Detection of Unauthorized Actions in Satellite Communication Network]. *Telekommunikatsii* [Telecommunications], 2015, vyp. 10, pp. 18–21.
2. Gutkin L.S. *Proektirovanie radiosistem i radioustroistv* [Design of Radio Systems and Devices]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1986.
3. Nenashev A.P. *Konstruirovaniye radioelektronnykh sredstv* [Radioelectronic Facilities Design]. Moscow, Vysshaia Shkola Publ., 1990.
4. Komarovich V.F., Sosunov V.N. *Sluchainye radiopomekhi i nadezhnost KV svyazi* [Random Radio Noises and SV-Communication]. Moscow, Sviaz Publ., 1977. 136 p.
5. Chuchin E.V. Sistema modelei kachestva peredachi tsifrovyykh signalov po radiokanalam s zamiraniiami Nakagami [The Systems of Quality Models for Digital Signals Transmitting through Radio Channels with Nakagami Fade]. *Nauchnyi zhurnal Kurskogo gosudarstvennogo universiteta* [The Journal Scientific News of Kursk State University], 2014, no. 1, pp. 42–44.
6. Ventsel E.S. *Teoriya veroiatnostei*. Izd. 3-e, ispr. [The Theory of Probability. The 3d Corrected Edition]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 576 p.
7. Gonorovskii I.S. *Radiotekhnicheskie tsepi i signaly. Uchebnik dlia vuzov. 4-e izd., pererab. i dop.* [Radioengineering Loops and Signals. Textbook for Higher Educational Institutions. The 4th Revised and Enlarged Edition]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1986. 512 p.
8. Vendik O.G., Parnes M.D. *Antenny s elektricheskim skanirvaniem* [Antennas with Electrical Scanning]. St. Petersburg, 2001. 252 p.