

УДК: 621.317

DOI: 10.53816/23061456_2022_1-2_109

**МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОСРЕДСТВ
МАГИСТРАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ РАДИОЛИНИИ
В ПРОЦЕССЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

**A MODEL FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION
OF RADIO FACILITIES OF THE MAIN ADAPTIVE RADIO LINE
IN THE PROCESS OF FUNCTIONING**

М.В. Голунов

М.В. Golyunov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

В статье представлена модель контроля технического состояния радиосредств магистральной адаптивной радиолинии в процессе функционирования. Модель предназначена для выявления постепенных скрытых отказов, возникающих в процессе эксплуатации радиосредств из-за отклонений (дрейфа) параметров за пределы допусков. Для выявления этого типа отказов, устранения разрегулировок в настоящее время проводятся годовые технические обслуживания (планово-предупредительная система технического обслуживания) с привлечением инженерно-технического состава и средств измерений. Как показывает практика проведение технического обслуживания инженерно-техническим составом с низкой квалификацией приводит к неработоспособности радиосредств. В этом случае, для перехода от планово-предупредительной стратегии технического обслуживания средств и систем связи к техническому обслуживанию по фактическому техническому состоянию, необходима разработка надежных автоматизированных средств контроля технического состояния, работающих как в непрерывном, так и дискретном режимах.

Ключевые слова: контроль технического состояния, техническое обслуживание, отказ, радиолиния, радиосредства, вероятность ошибки.

The article presents a model for monitoring the technical condition of radio facilities of the main adaptive radio line in the process of functioning. The model is designed to identify gradual hidden failures that occur during the operation of radio equipment due to deviations (drift) of parameters beyond the tolerance limits. To identify this type of failures, eliminate misalignments, annual maintenance (scheduled preventive maintenance system) is currently being carried out with the involvement of engineering and technical personnel and measuring instruments. As practice shows, carrying out maintenance by low-skilled engineering personnel leads to radio equipment inoperable. In this case, in order to move from a planned preventive strategy of maintenance of communication facilities and systems to maintenance according to the actual technical condition, it is necessary to develop reliable automated means of monitoring the technical condition, operating both in continuous and discrete modes.

Keywords: technical condition monitoring, maintenance, failure, radio line, radio equipment, error probability.

Обмен данными пунктов управления (ПУ) с удаленными объектами обеспечивается, как правило, по спутниковым и декаметровым (ДКМ) каналам связи. Вместе с тем, несмотря на постоянный рост трафика спутниковой связи, ДКМ связь, в силу ряда причин, остается достаточно востребованной в различных гражданских и военных ведомствах, особенно для взаимодействия с глобально перемещающимися объектами (ГПО) морского базирования, в том числе с надводными кораблями (НК), подводными лодками (ПЛ), морскими робототехническими комплексами (МРТК) и других видах и родах ВС РФ [1].

Эффективным методом обеспечения требуемых вероятностно-временных характеристик (ВВХ) по доведению информации до ГПО в сложных условиях, а также устойчивому приему информации от них в случае применения ДКМ каналов связи является территориально-разнесенный прием с использованием нескольких центров связи (ЦС) и совместной обработки копий сообщений в ПУ. С этой целью в настоящее время ведутся работы по развертыванию межведомственной автоматизированной сети радиосвязи (АСРС) на базе территориально-разнесенных ЦС в интересах всех видов и родов ВС РФ [1].

При использовании декаметрового диапазона волн на пути реализации сетевых структур возникает одна из ключевых проблем — это анизотропия радиоканалов как по направлению передачи, так и по задействованному частотному и аппаратурному ресурсам. Она обусловлена тем, что вследствие использования отражения радиоволн от ионосферы, одни и те же рабочие частоты в различных направлениях обеспечивают различные уровни сигнала на приеме. Рабочая частота, пригодная для обмена данными в одном направлении, может быть совершенно непригодной для обмена данными в другом направлении. Также структурно автоматизированные радиоцентры (АРЦ) как узловыe элементы сети радиосвязи состоят из аппаратурного ресурса с выделением множества радиопередающих (РПДУ) и радиоприемных (РПУ) устройств, закреплённых за радиоканалами и обладающими своими надежностными характеристиками (параметрическим ресурсом). На радиоцентрах имеющийся аппаратурный ресурс распределяется между организуемыми радиолиниями таким образом, что средства связи с наилучшими

техническими характеристиками закрепляются за приоритетными радиолиниями, а остальные технические средства — между равноправными радиолиниями. При этом всегда должен обеспечиваться необходимый резерв технических средств, в том числе и «горячий». Фактически каждый начальник радиоцентра (дежурный по радиосвязи) на экспертном уровне (эвристически) занимается решением задачи управления аппаратурным ресурсом, достигая цель — повышение эффективности связи в радиолинии, опираясь при этом на свои знания о значениях эксплуатационных параметров включаемых в радиолинию радиосредств, исходя из оценки их технического состояния (ТС) в ходе процедур технического обслуживания (ТО) [2].

Физический уровень, согласно эталонной модели взаимодействия открытых систем [3], в АСРС имеет особое значение из-за специфических свойств среды распространения радиоволн ДКМ диапазона и реализуется в РПДУ, РПУ и антенно-фидерных устройствах, что накладывает дополнительные требования на систему контроля их ТС. Радиосредства в ДКМ радиолиниях осуществляют передачу мощных (от десятков Вт, до нескольких кВт) и прием слабых (единицы мкВ) с высоким динамическим диапазоном, подверженных замираниям и воздействию противника, аналоговых сигналов. Основные цепи (от модулятора до демодулятора) передачи и приема таких сигналов остаются аналоговыми, и их техническое состояние в значительной мере определяет качество функционирования РПУ, РПДУ и магистральной адаптивной радиолинии (МАРЛ) в целом. Согласно ГОСТ Р 52016-2003 средняя наработка на отказ магистральных РПУ ДКМ диапазона должна быть не менее 7000 ч при круглосуточной работе (1 год — 8760 ч). Согласно ГОСТ Р 51903-2002 наработка на отказ РПДУ ДКМ диапазона должна составлять для полупроводниковых не менее 5000 ч (5 кВт), 6000 ч (1 кВт), для РПДУ полупроводниково-лампового исполнения 2600 ч и 3000 ч соответственно. Необходимо отметить, что радиосредства МАРЛ АСРС должны работать в непрерывном режиме и их техническое состояние будет в значительной мере определять устойчивость функционирования всей автоматизированной сети радиосвязи. Таким образом, контроль (мониторинг) ТС радиосредств (РПДУ, РПУ) МАРЛ АСРС является актуальной задачей.

Согласно межгосударственному стандарту ГОСТ 27.002-2015 отказ — это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния, и может быть внезапным, постепенным, явным, скрытым и т.д. Особое внимание необходимо обратить на постепенные скрытые отказы, возникающие в процессе эксплуатации радиосредств из-за отклонений (дрейфа) параметров за пределы допусков, для выявления которых требуется разработка средств контроля ТС. Для обнаружения этого типа отказов, устранения разрегулировок в настоящее время проводятся годовые технические обслуживания (ТО–2) (планово-предупредительная система ТО) с привлечением инженерно-технического состава и средств измерений. Согласно ГОСТ 27.002-2015 мониторинг ТС — составная часть ТО, заключающаяся в наблюдении за объектом с целью получения информации о его ТС и рабочих параметрах. Мониторинг может проводиться в процессе работы объекта непрерывно или через запланированные интервалы времени. На основе данных мониторинга осуществляется контроль ТС и остаточного ресурса объекта.

Необходимо отметить основные проблемы планово-предупредительной стратегии ТО средств связи:

1. Низкая оперативность, трудоемкость; требуется разработка планирующих документов и дополнительный контроль со стороны должностных лиц;

2. Существование продолжительных периодов, скрытых от служб эксплуатации, причин заниженных технологических показателей средств связи, носящих многодневный и даже многомесячный характер [4];

3. Эпизодическое применение (один раз в год) дорогостоящих средств измерений, кроме того, определяющее значение имеет накопленный опыт и профессионализм обслуживающего персонала.

Одним из основных направлений совершенствования методов ТО радиотехнических систем является внедрение гибких стратегий ТО, степень гибкости которых определяется полнотой учета данных о фактическом состоянии обслуживаемых средств [5], что при круглосуточном режиме работы радиосредств невозможно обеспечить без автоматических систем контроля ТС.

Для осуществления комплексного контроля ТС формирователя сигналов (РПДУ) в процессе

функционирования предлагается использовать коэффициент подобия сигналов g_{or}^2 , определяющийся выражением [6]:

$$g_{or}^2 = \left(\int_0^T S_{rn}(t) S_{rs}^*(t) dt \right)^2 / 4P_{и} P_{э} T^2, \quad (1)$$

$$(0 \leq g_{or}^2 \leq 1),$$

$$r = 1, \dots, m; t \in [0, T],$$

где $S_{rn}(t)$ — исследуемый искаженный сигнал, содержащий информацию об аппаратурных искажениях; $S_{rs}^*(t)$ — эталонный сигнал без аппаратурных искажений; $P_{и}$, $P_{э}$ — соответственно мощности искаженного и эталонного сигналов; T — длительность информационной посылки.

Коэффициент взаимной корреляции (коэффициент подобия сигналов, далее по тексту КПС) g_{or}^2 численно оценивает степень отклонения параметров контролируемого сигнала от эталонных значений, поэтому вследствие дуализма понятия «сигнал – система» он может быть использован в виде комплексного показателя качества системы передачи сигналов [7]. КПС g_{or}^2 имеет простой физический смысл: он представляет собой нормированную величину, пропорциональную мощности процесса на выходе фильтра или квадратурного устройства, согласованных с вариантом эталонного сигнала $S_{rs}^*(t)$, при прохождении через них исследуемого сигнала $S_{rn}(t)$. КПС оценивает относительную величину перекрытия в частотно-временной области (ЧВО) энергетических спектров сигналов $S_{rn}(t)$ и $S_{rs}^*(t)$. Анализ в ЧВО выходного сигнала позволит выявить медленно (относительно сигнала) меняющийся «аппаратурный след» и наблюдать его эволюцию [8]. Максимальное значение КПС достигается при равенстве параметров сигнала $S_{rn}(t)$ номинальным значениям, т.е. полном отсутствии аппаратурных искажений сигнала. С ростом степени искажения сигнала $S_{rn}(t)$ значение КПС уменьшается.

Сигналы можно представить в виде векторов. Из формулы (1) можно сделать вывод, что КПС представляет собой скалярное произведение двух векторов, где в качестве первого вектора выступает искаженный сигнал, а второго — эталонный сигнал, тогда выражение (1) запишем в следующем виде:

$$\cos^2(\alpha) = \left(\int_0^T S_{rn}(t) S_{rs}^*(t) dt \right)^2 / 4P_n P_s T^2, \quad (0 \leq \alpha \leq 90^\circ),$$

где α — угол между векторами эталонного и искаженного сигналов в n -мерном пространстве который, согласно выражению (1), пропорционален значению искажения сигнала. В этом случае модуль вектора напряжения искаженного сигнала равен произведению модуля вектора напряжения (мощности) эталонного сигнала на $\cos(\alpha)$, ($\cos^2(\alpha)$). Представление КПС через $\cos^2(\alpha)$ удобно тем, что при прохождении сигнала через два последовательно соединенных радиотехнических устройства искажения, вносимые вторым устройством, можно определить как дополнительный угол β в сумме углов под знаком косинуса, т.е. искажения обоих устройств представим в виде $\cos^2(\alpha + \beta)$, тогда $\cos^2(\alpha)$ — искажения первого, а $\cos^2(\beta)$ — искажения второго устройства. В общем виде угол β может быть как положительным (искажения), так и отрицательным (коррекция), но

$$g_{or}^2 = \left(\int_0^{T-\eta T} U_{rn} \exp[j(\omega_{rn} t + \varphi_{rn})] U_{rs} \exp[-j(\omega_{rs} t + \varphi_{rs})] dt \right)^2 / 4P_n P_s T^2,$$

где η — относительная величина краевых искажений дискретного сигнала. После преобразований и введения обозначения $\Delta f = f_{rn} - f_{rs}$ выражение для КПС примет окончательный вид [9]:

$$g_{or}^2 = (1 - \eta)^2 \sin^2 c^2 [\pi \Delta f T (1 - \eta)]. \quad (2)$$

На рис. 1, а представлена структурная схема передающей части радиолинии с измерителем коэффициента подобия сигналов (ИКПС).

УЭВМ — управляющая электронно-вычислительная машина; ВУ — возбудитель (формирователь сигналов); УМ — усилитель мощности; АФУ — антенно-фидерное устройство; dB — аттенюатор; $\Delta t_k \geq (T \Delta t_k^*) / 2$ — интервал дискретного контроля [10].

Из выражения (2) следует, что КПС зависит от разности частот Δf контролируемого и эталонного сигналов, определяемой нестабильностью частоты радиосредства и краевых искажений η контролируемого сигнала. При этом

в любом случае, будет определять ТС второго устройства (далее в работе будем считать, что $\beta \geq 0$). Например, возбудитель и усилитель мощности в РПДУ соединены последовательно. Радиосредства (РПДУ, РПУ) МАРЛ, относительно направления распространения сигнала, так же можно считать последовательно соединенными.

Оценим значение КПС для случая контроля r -го варианта дискретных узкополосных частотно (ЧТ), либо фазоразностно-манипулированных (ФРМ) сигналов, используя их аналитические представления:

$$\dot{S}_{rn}(t) = U_{rn} \exp[j(\omega_{rn} t + \varphi_{rn})] \text{ — для ЧТ;}$$

$$\dot{S}_{rn}(t) = U_{rn} \exp[j(\omega_{rn} t + \varphi_{rn})] \text{ — для ФРМ,}$$

где U_{rn} , ω и φ — соответственно амплитуда, несущая частота и начальная фаза сигнала.

По формуле (1) определяем КПС g_{or}^2 контролируемого и эталонного сигналов, например, частотно-манипулированных:

считаем, что ортогональность сигналов не нарушается. КПС по выражению (2) представляет собой поверхность в трехмерном пространстве (рис. 1, б), характерной особенностью которой является наличие глобального максимума $g_{or}^2 = 1$ ($\eta = 0, \Delta f = 0$) или $\cos^2(\alpha) = 1$ ($\alpha = 0^\circ$), т.е. равенства значений всех параметров контролируемого сигнала номинальным. Отклонение значения любого из параметров от номинального значения вызывает уменьшение g_{or}^2 . Таким образом, КПС пригоден для оценки степени искажения контролируемого сигнала. КПС будет зависеть от сигнально-кодовой конструкции, применения формирующих фильтров с частотной характеристикой (например, в виде «приподнятого косинуса»), нелинейных искажений, но для дальнейшего изложения будем использовать простой сигнал ЧТ (ФРМ) и КПС согласно выражению (2). Произведем оценку значения КПС РПДУ. Согласно ГОСТ Р 51903-2002 краевые искажения, вносимые передатчиками в классах излучения А1А,

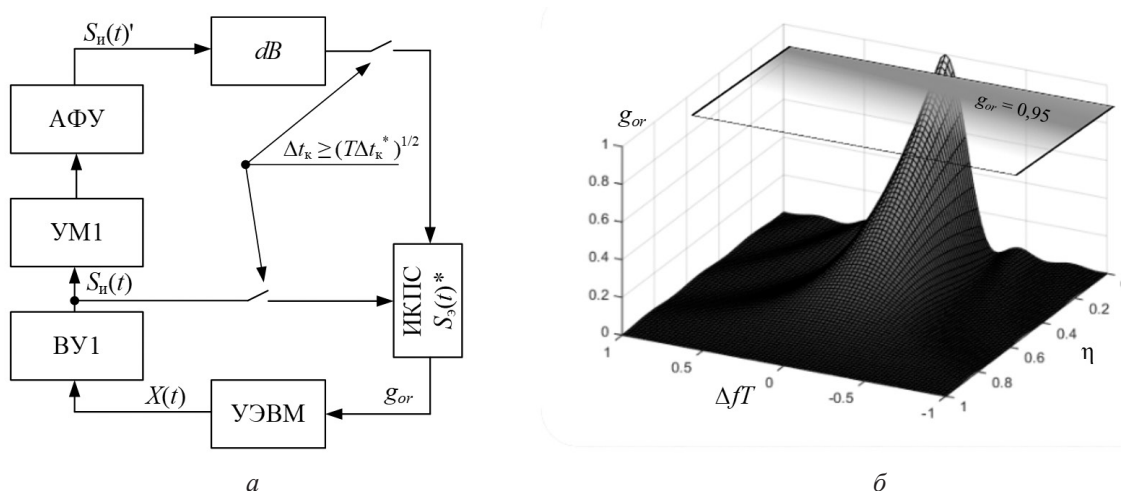


Рис. 1. Структурная схема передающей части радиопередачи с измерителем коэффициента подобия сигналов (ИКПС) (а) и график зависимости КПС от параметров РПДУ (б)

A1B, F1A, F1B, F1D, F7B не более 5 %. Максимально допустимое относительное отклонение рабочей частоты от номинального значения в течение 1 месяца не должно превышать значения $\Delta f / f_0 = \pm 5 \cdot 10^{-8}$ Гц. Примем $f_0 = 15$ МГц, $V = 500$ бит/с, тогда согласно выражению (2)

$$g_{or}^2 = \frac{\sin^2(3,14 \cdot 0,75 \cdot 0,002 \cdot 0,95)}{(3,14 \cdot 0,75 \cdot 0,002)^2} \approx 0,95^2 = 0,9025.$$

Для радиотракта возбудителя «Тишина» аппаратной «Антей-У» (P-176-У) краевые искажения должны быть не более 2 %, тогда $g_{or}^2 \approx 0,98^2 = 0,9604$. Было отмечено, что $\cos^2(\alpha) = g_{or}^2$, тогда мощность искаженного сигнала представим в виде:

$$|S_{rn}(t)|^2 = |S_{rs}(t)|^2 \cos^2(\alpha). \quad (3)$$

На приемной стороне это эквивалентно снижению мощности сигнала на 10 % (0,9), 4 % (0,96) при сохранении фактической мощности излучения РПДУ неизменной. Выражение (3) с учетом дополнительных искажений в РПУ МАРЛ примет вид:

$$|S_{rn}(t)|^2 = |S_{rs}(t)|^2 \cos^2(\alpha + \beta). \quad (4)$$

Рассмотрим процедуру оценки ТС РПУ как системы. ТС РПУ (системы) сложно охарактеризовать одним показателем качества в виде функции от его параметров, поскольку качество функционирования РПУ заключается в адапта-

ции к сложившейся сигнальной и помеховой обстановке, а также своему ТС. В работе [11] представлен регуляризирующий алгоритм, назначение которого заключается в оценке искажений сигнала в РПУ прямого преобразования с целью последующей коррекции. Однако, несмотря на применение в РПУ различных адаптивных корректирующих алгоритмов, автоматической регулировки усиления, подстройки частоты, блоков компенсации сосредоточенных помех, вероятность ошибки на выходе однотипных РПУ, функционирующих в одинаковых условиях, будет отличаться и это отличие можно использовать для относительной идентификации ТС функционирующего РПУ в целом. В работе [12] отмечается, что основным параметром эффективности работы цифровой радиочастотной системы передачи является зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум в системе.

При некогерентной обработке замирающих по релеевскому закону ортогональных сигналов в канале с белым гауссовским шумом вероятность ошибочного приема определяется по формуле:

$$p_{ош} = 1 / (\bar{h}_0^2 + 2), \quad (5)$$

где $\bar{h}_0^2 = \bar{P}_c / \bar{P}_{ш}$ — отношение средней мощности сигнала к средней мощности аддитивных радиопомех в виде нормального шума на входе радиоприемника (детектора). Формулу (5) с учетом выражения (4) представим в виде [7]:

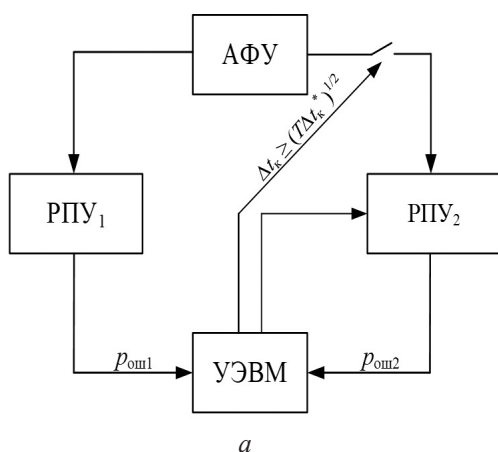
$$p_{\text{ош}} = 1 / (\bar{h}_0^2 g_{\text{ор}}^2 + 2). \quad (6)$$

Наиболее простое решение задачи определения искажений приемо-передающей аппаратуры в процессе функционирования следует из выражения (6), но нужно понимать, что основное количество ошибок в процессе приема дискретной информации будет определяться средой распространения радиоволн, законом распределения огибающей радиосигнала, сосредоточенными по спектру помехами, т.е. динамикой различных процессов. В этом случае возникает вопрос о сравнении качества приема дискретной информации функционирующим РПУ и однотипным «эталонным» (заведомо исправным, без разрегулировок) РПУ.

На рис. 2, а представлена структурная схема приемной части радиолинии с резервным РПУ₂. Резервирование РПУ₁ осуществляется методом замещения [13] с периодическим (дискретным) контролем его ТС за счет параллельной работы и вычислением разности вероятностей (коэффициентов) ошибок основного и резервного РПУ с последующим определением вида ТС РПУ₁.

Аппаратурная избыточность [14] является ресурсом приемного радиопункта (ПРЦ) и не вводится только для контроля ТС. Разность вероятностей ошибок функционирующего и резервного РПУ запишем в виде:

$$p_1 - p_2 = \frac{\bar{h}_0^2 (\cos^2(\alpha + \beta_2) - \cos^2(\alpha + \beta_1))}{(\bar{h}_0^2 \cos^2(\alpha + \beta_1) + 2)(\bar{h}_0^2 \cos^2(\alpha + \beta_2) + 2)}. \quad (7)$$



а

Выражение (7) получено при условии малости внутренних шумов РПУ по сравнению с внешними шумами [15] и представления искажений приемо-передающей аппаратурой через скалярное произведение эталонного и искаженного сигналов (рис. 2, б). В формуле (7) β_2 под знаком косинуса представляет собой номинальную величину искажений РПУ (без разрегулировок), тогда интерес представляет величина $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$.

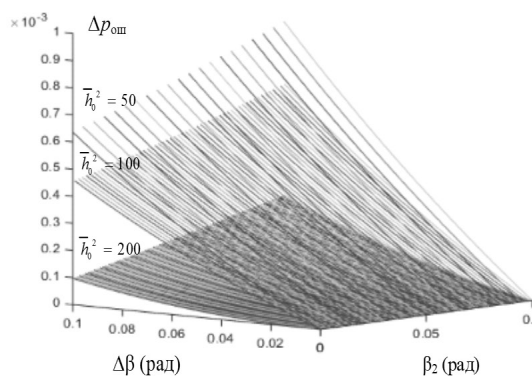
Запишем выражение (7) в виде:

$$\Delta p = \frac{\bar{h}_0^2 (\cos^2(\alpha) - \cos^2(\alpha + \Delta\beta))}{(\bar{h}_0^2 \cos^2(\alpha) + 2)(\bar{h}_0^2 \cos^2(\alpha + \Delta\beta) + 2)}, \quad (8)$$

где $\cos^2(\alpha + \Delta\beta)$ — относительная величина искажений функционирующего РПУ, $\cos^2(\alpha)$ — искажения РПДУ. Формула (8) определена из условия идеальности резервного РПУ ($\beta_2 = 0$) и позволяет произвести оценку ТС, функционирующего РПУ, как функцию вида $\Delta\beta = f(\Delta p)$. Решение уравнения (8) относительно $\Delta\beta$ (при условии $\bar{h}_0^2 \cos^2(\alpha) \gg 2$) приводит к следующей зависимости:

$$\Delta\beta \approx \arccos\left(\frac{\cos(\alpha)}{\sqrt{1 + \bar{h}_0^2 \Delta p \cos^2(\alpha)}}\right) - \alpha. \quad (9)$$

Представим условия правильности функционирования радиосредств (РПДУ, РПУ) передающего и приемного радиопунктов в виде системы неравенств:



б

Рис. 2. Структурная схема приемной части радиолинии с резервным РПУ (а) и график зависимости разности вероятностей ошибок функционирующего и резервного РПУ (б)

$$\begin{cases} (g_{or}^2 = \cos^2(\alpha)) > (g_{пор}^2 = \cos^2(\alpha_{max})); \\ (\Phi = \cos^2(\alpha + \Delta\beta)) > (\Phi_{пор.} = \cos^2(\alpha_{max} + \Delta\beta_{max})); \\ \Delta\beta < \Delta\beta_{max}. \end{cases} \quad (10)$$

Первое и третье неравенство в системе уравнений (10) определяет условие правильности функционирования соответственно РПДУ и РПУ, второе неравенство радиолинии в целом.

Тезисно опишем модель контроля ТС радиосредств МАРЛ в процессе функционирования:

1. Программой определяемое время (после очередной программной перестройки рабочей частоты) ИКПС производит измерение значения КПС функционирующего возбuditеля и РПДУ в целом согласно выражению (1). Если $g_{or}^2 > g_{пор}^2$ (10), то принимается решение о правильном функционировании РПДУ, если $g_{or}^2 \leq g_{пор}^2$, то необходимо проведение инструментального ТО (возбuditеля, усилителя мощности) с целью определения причины снижения качества функционирования;

2. Значения КПС РПДУ передаются на противоположную приемную сторону и применяются для определения ТС функционирующего РПУ и радиолинии в целом согласно выражению (9) и условий (10) соответственно. Для этого резервный РПУ выводится из дежурного режима и подключается параллельно функционирующему РПУ с целью определения его ТС;

3. Из вычисленных значений показателей качества функционирования прямо-передающей аппаратуры формируют временной ряд для контроля и прогнозирования ее ТС.

Рассмотрим пример применения модели.

Исходные данные:

$$\bar{h}_0^2 = 50 (100, 200);$$

$$g_{пор}^2 = \cos^2(\alpha_{max}) = 0,95;$$

$$\Phi_{пор.} = \cos^2(\alpha_{max} + \Delta\beta_{max}) = 0,9;$$

$$\Delta\beta_{max} = 0,1 \text{ (рад)}.$$

Согласно уравнений (1), (9) и пунктов 1, 2 описания модели вычисляем текущие значения g_{or}^2 , $\Delta\beta$, Φ , и по условию (10) определяем вид ТС. На рис. 3 представлены графики зависимостей разности вероятностей ошибок от ТС функционирующего РПУ ($\beta_2 = 0$) при различных значениях отношения сигнал/шум и искажений РПДУ.

Из графиков, представленных на рис. 3, 4 видна нелинейная зависимость разности вероятностей ошибок от отношения сигнал/шум и искажений РПДУ. При этом изменение КПС всего на 5 % (при $\Delta\beta = 0,1$ (рад)) приводит к увеличению разности вероятностей ошибок в 4 раза, а уменьшение отношения сигнал/шум

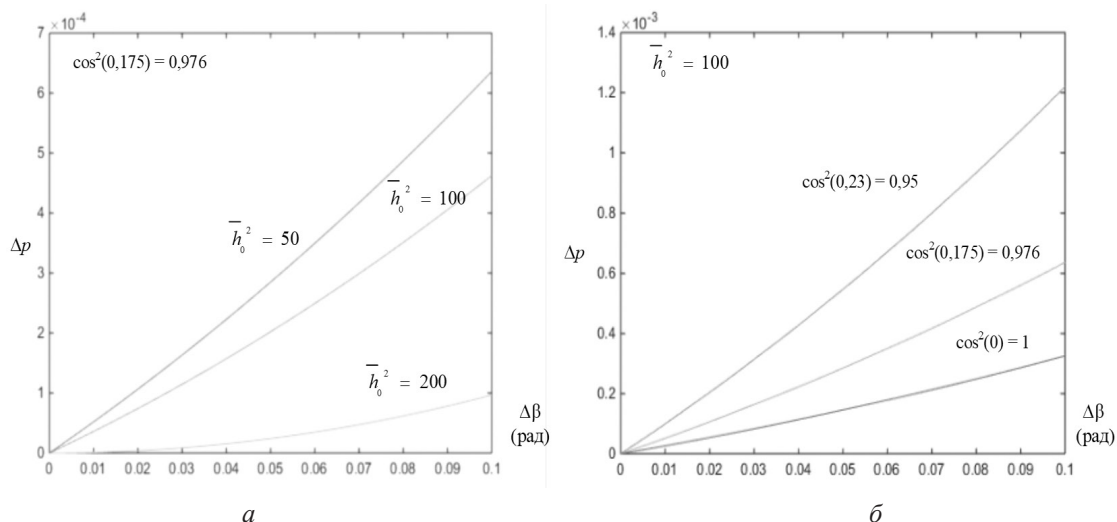


Рис. 3. Графики зависимостей разности вероятностей ошибок от ТС функционирующего РПУ при различных значениях отношения сигнал/шум (а) и искажений РПДУ (б)

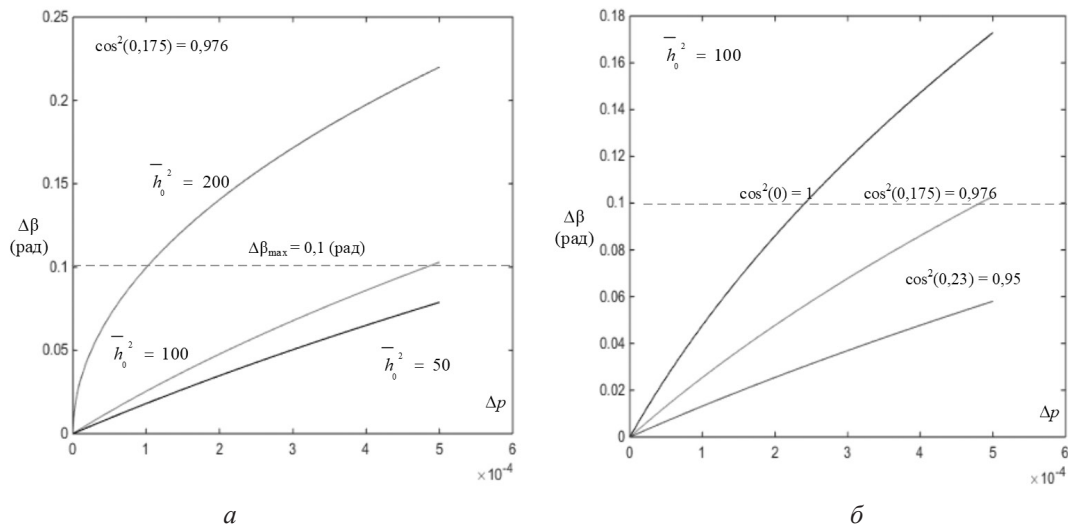


Рис. 4. Графики зависимости ТС функционирующего РПУ от разности вероятностей ошибок основного и резервного РПУ при различных значениях отношения сигнал/шум (а) и искажений РПДУ (б)

в 2 раза (с 200 до 100) приводит к увеличению разности вероятностей ошибок в 3,5 раза. Таким образом, ТС радиосредств (отклонение параметров сигнала от нормы) приводит к значительному возрастанию разности вероятностей ошибок. Зависимость $\Delta\beta = f(\Delta p)$ монотонно возрастающая и пригодна для контроля ТС функционирующего РПУ.

Заключение

Представленная модель позволяет осуществлять контроль ТС радиосредств в процессе функционирования за счет измерения и сравнения с пороговым значением КПС на передающей стороне и аппаратурной избыточности (резервирование) на приемной стороне. Модель предназначена для контроля постепенных скрытых отказов и способствует внедрению гибких стратегий ТО, благодаря полноте учета данных о фактическом состоянии радиосредств.

Новизна модели заключается в определении ТС функционирующих радиосредств МАРЛ на аппаратурном и канальном уровнях, а также величины их (РПДУ, РПУ) совместного влияния на основную целевой показатель радиолинии — вероятность связи с требуемой достоверностью (вероятность ошибки).

Совместное применение встроенных средств контроля ТС и предложенной модели будет способствовать идентификации как внезапных, так и постепенных отказов, а также воз-

можности прогнозирования остаточного ресурса радиосредств.

Литература

1. Николашин Ю.Л., Будко П.А., Жуков Г.А. Основные направления модернизации декаметрового средства связи // Техника средств связи. 2019. № 1 (145). С. 13–25.
2. Аллакин В.В., Голунов М.В. Анализ научно-методического аппарата удаленного мониторинга технического состояния информационно-телекоммуникационных сетей и систем // Техника средств связи. 2020. № 4 (152). С. 17–36.
3. Захаров Г.П., Яновский Г.Г. Интегральные цифровые сети связи // Итоги науки и техники. Электросвязь. Т. 1. — М.: ВИНТИ. 1986. С. 3–101.
4. Исаков Е.Е. Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации. — СПб: ВАС. 2015. 447 с.
5. Федоренко В.В. Модель оптимизационных задач технического обслуживания систем передачи сигналов по фактическому состоянию // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. № 1. С. 47–51.
6. Сикарев А.А., Федоренко В.В. Способ ускоренного контроля параметров средств связи // Механизация и автоматизация управления. 1987. № 3. С. 54–56.
7. Федоренко В.В. Математическая модель системы передачи сигналов для решения задач

контроля // Электронное моделирование. 1991. № 6. С. 85–88.

8. Будко П.А., Федоренко В.В. Управление в сетях связи. Математические модели и методы оптимизации: Монография. — М.: Издательство физико-математической литературы. 2003. 539 с.

9. Федоренко В.В. Способ контроля средств радиосвязи по показателю качества // Механизация и автоматизация управления. 1991. № 2. С. 19–22.

10. Голунов М.В. Оптимизация частоты дискретного контроля технического состояния средств связи магистральной адаптивной радиопередачи // Научно-технический сборник. Труды академии. 2021. № 115. С. 164–168.

11. Поборчая Н.Е. Анализ влияния априорной неопределенности относительно дисперсии аддитивного шума на работу алгоритмов оценивания параметров сигналов // Электросвязь. 2021. № 2. С. 39–42.

12. Бакланов И.Г. Тестирование и диагностика систем связи. — М.: Эко-Трендз. 2001. 264 с.

13. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. — СПб: БХВ-Петербург. 2006. 704 с.

14. Ключев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. Технические средства диагностирования. — М.: Машиностроение. 1989. 672 с.

15. Мешалкин В.А., Сосунов Б.В. Основы энергетического расчета радиоканалов. — СПб: ВАС. 1991. 110 с.

References

1. Nikolashin Y.L., Budko P.A., Zhukov G.A. The Main directions of modernization decimeter communication system // a Technique of communication. 2019. № 1 (145). P. 13–25.

2. Allicin V.V., Golunov M.V. Analysis of scientific and methodological apparatus for remote monitoring of the technical condition of information and telecommunication networks and systems // Technique of communication. 2020. № 4 (152). P. 17–36.

3. Zakharov G.P., Yanovsky G.G. Integrated digital communication network // Results of science and technology. Telecommunication. T. 1. — М.: VINITI. 1986. P. 3–101.

4. Isakov E.E. The basic principles of building a stable military communication and possible ways to implement them. — St. Petersburg: VAS. 2015. 447 p.

5. Fedorenko V.V. Model of optimization tasks of maintenance of signal transmission systems according to the actual state // Electronic modeling. 1994. T. 16. № 1. P. 47–51.

6. Sikarev A.A., Fedorenko V.V. Method of accelerated control of parameters of means of communication // Mechanization and automation of control. 1987. № 3. P. 54–56.

7. Fedorenko V.V. Mathematical model of a signal transmission system for solving control problems // Electronic modeling. 1991. № 6. P. 85–88.

8. Budko P.A., Fedorenko V.V. Management in communication networks. Mathematical models and optimization methods: Monograph. — М.: Publishing House of Physical and Mathematical Literature. 2003. 539 p.

9. Fedorenko V.V. Method of control of radio communication facilities by quality indicator // Mechanization and automation of management. 1991. № 2. P. 19–22.

10. Golyunov M.V. Optimization of the frequency of discrete monitoring of the technical condition of communication means of the main adaptive radio line // Scientific and technical collection. Proceedings of the Academy. 2021. № 115. P. 164–168.

11. Poborchaya N.E. Analysis of the influence of a priori uncertainty regarding the dispersion of additive noise on the operation of algorithms for estimating signal parameters // Telecommunication. 2021. № 2. P. 39–42.

12. Baklanov I.G. Testing and diagnostics of communication systems. — М.: Eco-Trends. 2001. 264 p.

13. Polovko A.M., Gurov S.V. Fundamentals of reliability theory. — St. Petersburg: BHV-Petersburg. 2006. 704 p.

14. Klyuev V.V., Parkhomenko P.P., Abramchuk V.E. Technical means of diagnostics. — М.: Mechanical Engineering. 1989. 672 p.

15. Meshalkin V.A., Sosunov B.V. Fundamentals of energy calculation of radio channels. — St. Petersburg: VAS. 1991. 110 p.