

УДК: 621.317

DOI: 10.53816/23061456_2022_11–12_113

**МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАДИОЦЕНТРА**
**METHODOLOGY FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION
OF RADIO COMMUNICATION FACILITIES
OF AN AUTOMATED RADIO CENTER**

М.В. Голунов

M.V. Golyunov

Военная академия связи им. С.М. Буденного

Используемые в настоящее время методы повышения надежности объектов (систем) в своих математических выражениях не учитывают интервал времени неправильного функционирования, который возникает из-за нераспознанного (скрытого) параметрического отказа, т.е. они определены для случая идеального диагностического обеспечения, что не соответствует действительности. В настоящей методике показано, что при применении резервирования именно интервал неправильного функционирования радиосредств будет оказывать основное влияние на их коэффициент готовности и благодаря адаптации радиоволнового метода неразрушающего контроля к контролю технического состояния радиосредств это влияние удастся сократить.

Ключевые слова: контроль технического состояния, техническое обслуживание, отказ, радиолиния, радиосредства, интервал неправильного функционирования.

The methods currently used to improve the reliability of objects (systems) in their mathematical expressions do not take into account the time interval of improper functioning, which occurs due to an unrecognized (hidden) parametric failure, i.e. they are defined for the case of ideal diagnostic support, which does not correspond to reality. In this technique, it is shown that when using redundancy, it is the interval of improper functioning of radio equipment that will have the main effect on their readiness coefficient and thanks to the adaptation of the radio wave method of non-destructive testing to the control of the technical condition of radio equipment, this influence can be reduced.

Keywords: control of technical condition, maintenance, failure, radio line, radio equipment, interval of improper functioning.

**Постановка задачи на разработку методики
контроля технического состояния
средств радиосвязи автоматизированного
радиоцентра**

Целью разрабатываемой методики является обеспечение требуемых значений коэффициентов готовностей радиосредств радиолиний авто-

матизированного радиоцентра (АРЦ) [1] за счет своевременной и достоверной идентификации их вида технического состояния (ТС) (правильности функционирования [2]) при ограниченных ресурсах средств контроля (СК) [3].

Объект методики — средства радиосвязи АРЦ.

В качестве предмета методики рассматриваются методы и технологии неразрушающего

контроля [4] технического состояния (КТС) средств радиосвязи.

Исходными данными для методики являются: наличие средств радиосвязи АРЦ в виде совокупности радиоприемных (РПУ) и радиопередающих устройств (РПДУ), включая резерв, а также СК ТС, их тактико-технические и надежность характеристики, требуемое значение коэффициента готовности $K_{г\text{треб}}$ радиосредств, перечень контролируемых параметров и среднее время T^* (априорная статистическая величина) выхода их значений за пределы допусков.

Выходные данные: информация, с требуемой достоверностью, о техническом состоянии средств радиосвязи $\Delta\beta_i$, g_i^2 (соответственно показатели качества функционирования (ПКФ) [5] РПУ и РПДУ) в процессе функционирования с их численной оценкой, интервал времени τ между процедурами КТС радиосредств, обеспечение условия $\max K_r(\tau) \geq K_{г\text{треб}}$.

Для решения поставленной задачи методику КТС средств радиосвязи АРЦ целесообразно разбить на следующие этапы:

1) определение пороговых значений ПКФ РПДУ $g_{i\text{пор}}^2$, РПУ $\Delta\beta_{i\text{пор}}$;

2) формирование базы данных (БД) измерителя коэффициентов подобия сигналов (ИКПС) $h_i(t)$;

3) идентификация вида технического состояния радиосредств радиолинии в процессе функционирования $g_i^2(\Delta\beta_i)$;

4) обеспечение требуемого значения коэффициента готовности $K_{г\text{треб}}$ радиосредств АРЦ за счет своевременной $\tau = \arg \{ \max_{\tau \in [0, T]} K_r(\tau) \}$

и достоверной $\max_{g_{\text{пор}} \in g(x_j)} D(g_{\text{пор}})$ идентификации их

вида технического состояния.

Постановка задачи на разработку методики представлена на рис. 1 в виде общей схемы, рис. 1, а и схемы с разбиением ее на этапы рис. 1, б, на которой обозначены: ОК — объекты контроля (радиосредства); ИД — исходные данные об объектах и средствах контроля ТС; 1, 2, 3, 4 — этапы методики; БД АРЦ — база данных АРЦ; ВС — внешняя среда (сигнальная и помеховая обстановка); ТС РПУ (РПДУ) — временные ряды значений ПКФ, соответственно РПУ (РПДУ), характеризующих их ТС.

Задача первых двух этапов заключается в формировании первичной информации в БД комплекса средств автоматизации АРЦ, в части касающейся подсистемы КТС средств радиосвязи, в виде следующих исходных данных: $g_{i\text{пор}}^2$, $\Delta\beta_{i\text{пор}}$, $h_i(t)$, которые, в свою очередь,

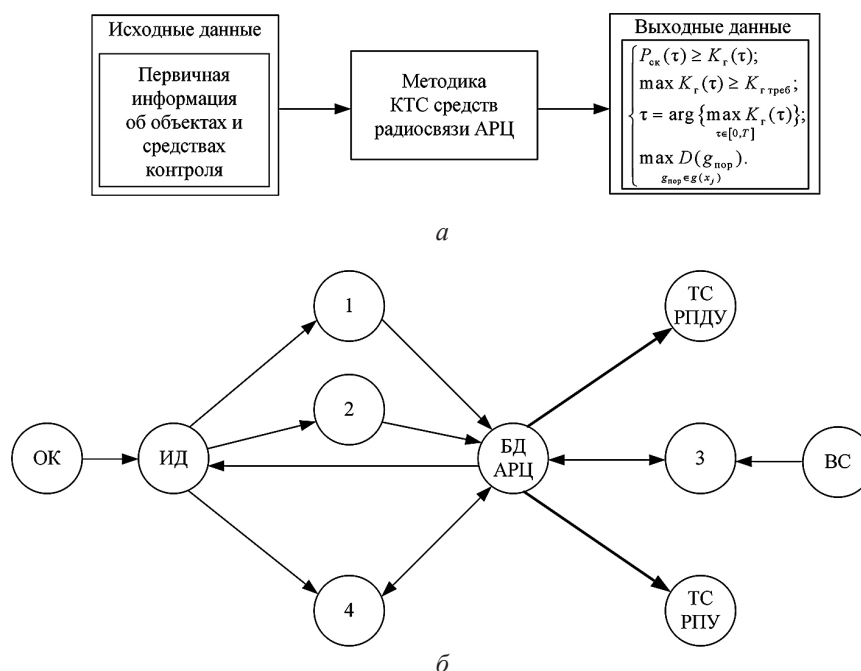


Рис. 1. Постановка задачи на разработку методики в виде: а — общей схемы; б — схемы с разбиением на этапы

являются входными данными для третьего этапа методики.

Третий этап методики является следствием модели КТС радиосредств радиолинии в процессе функционирования, описанной в работе [6], и отражает КТС средств радиосвязи при их непосредственном применении по назначению.

Четвертый этап методики в части, касающейся постановки задачи по определению оптимального интервала времени τ между процедурами КТС средств радиосвязи без учета времени выхода их определяющих параметров за пределы установленных допусков T^* , рассмотрен в работе [7].

Таким образом, в настоящей статье произведем оценку оптимального интервала времени τ между процедурами КТС средств радиосвязи с учетом среднего времени выхода их определяющих параметров за пределы установленных допусков T^* и работу блок-схемы алгоритма четвертого этапа методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности $K_{г\text{треб}}$ радиосредств АРЦ.

Решение задачи по определению оптимального интервала времени между процедурами контроля технического состояния радиосредств с учетом среднего времени выхода их определяющих параметров за пределы установленных допусков

Решение по определению оптимального интервала времени τ между процедурами параметрического контроля (далее будем считать контроль по параметрам и ПКФ эквивалентным) технического состояния радиосредств в процессе функционирования без учета среднего времени выхода их определяющих параметров за пределы установленных допусков имеет вид [7]:

$$\tau \geq \sqrt{nT\Delta t_k^*}, \quad (1)$$

где T — средняя наработка на отказ радиосредства (ОК); n — натуральное число; Δt_k^* — время, затрачиваемое на идентификацию ТС функционирующих радиосредств (параметрический контроль или контроль по ПКФ [8]).

Время τ в выражении (1) определено при условии наступления интервала неправильно-

го функционирования τ' средств радиосвязи, резервированных методом замещения [9], с периодичностью T , что означает принятие допущения о том, что существуют только параметрические отказы [9], оказывающие влияние на целевую функцию радиосредств (радиолинии), и является решением первого неравенства системы на интервале времени $nT_{\text{СК}}$ (n — натуральное число, $T_{\text{СК}}$ — средняя наработка до отказа, СК) в виде:

$$\begin{cases} P_{\text{СК}}(\tau) \geq K_{г}(\tau); \\ \max K_{г}(\tau) \geq K_{г\text{треб}}; \\ \tau = \arg \{ \max_{\tau \in [0, T]} K_{г}(\tau) \}; \\ \max D(g_{\text{нор}}), \\ g_{\text{нор}} \in g(x_j) \end{cases} \quad (2)$$

где $P_{\text{СК}}(\tau)$ — вероятность безотказной работы СК при его экспоненциальном законе распределения, определяемая выражением [7]: $P_{\text{СК}}(\tau) = \exp(-n\Delta t_k^*/\tau)$, $K_{г}(\tau)$ — коэффициент готовности ОК (резервируемой системы) с учетом интервала времени между процедурами КТС радиосредств τ согласно выражению [7]: $K_{г}(\tau) = T / (T + T_{\text{в}} + \tau)$ и резервируемой методом замещения в виде [7]: $K_{г}(\tau) = T / (T + \tau)$, $T_{\text{в}}$ — среднее время восстановления ОК.

Однако существуют внезапные отказы, которые никак не проявляются до момента перехода радиосредств из работоспособного в неработоспособное состояние, причиной которых могут быть постепенные деградиационные физико-химические процессы внутри интегральных микросхем, например из-за воздействия ионизирующего излучения, температуры [10] или дефектов при изготовлении (нарушение технологического процесса). При этом средняя наработка на отказ T учитывает средние потоки отказов элементов, из которых состоит радиосредство, и обычно не превышает для современных средств радиосвязи нескольких тысяч часов. Поэтому средняя наработка на отказ T всегда будет меньше среднего времени выхода определяющих параметров средств радиосвязи за пределы установленных допусков T^* ($T < T^*$).

В диссертационной работе [11] приведены результаты экспериментального исследования закономерностей дрейфа определяющих параметров радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Условия проведения эксперимента:

1) измерение значений параметров производилось один раз в квартал t (сеч);

2) статистическая однородность снимаемой информации обеспечивалась за счет использования в качестве объекта исследования комплектов РЭА, введенных в эксплуатацию одновременно и выработавших одинаковый ресурс;

3) в ходе эксперимента выдерживались однородные условия и режимы эксплуатации изделий;

4) после установки единых исходных состояний контролируемых параметров, измерение их значений производилось одними средствами контроля по единой методике, коррекция параметров не осуществлялась.

Была получена и обработана следующая информация:

1) по мощности сигнала радиопередающего устройства с объемом выборки 61;

2) по шумовому параметру kT_0 радиоприемного устройства с объемом выборки 58;

3) по уровню сигнала на выходе генератора шума с объемом выборки 63.

На рис. 2–7 показаны графики изменения математического ожидания $m(t)$ и дисперсии $D(t)$ значений контролируемых параметров и их границы, определенные с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

Экспериментальные данные изменения $m(t)$ и $D(t)$ СП подтверждают модель, в которой значения контролируемого параметра $y(t)$ представляют

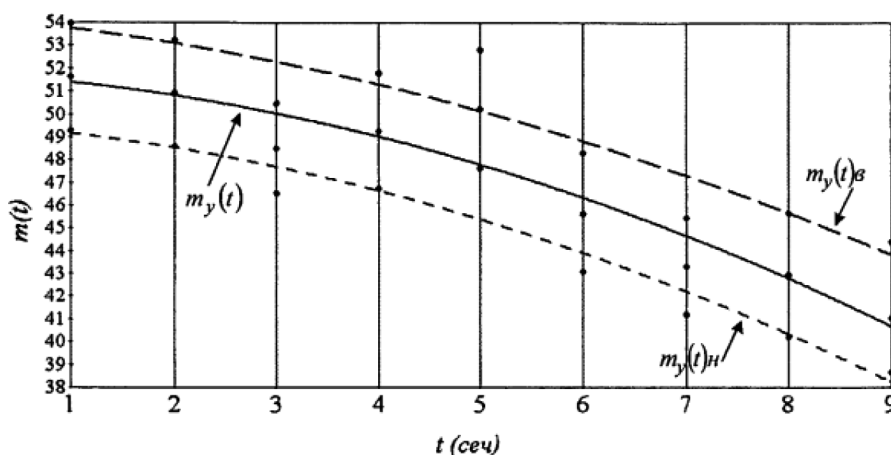


Рис. 2. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ случайного процесса (СП) изменения мощности сигнала радиопередающего устройства

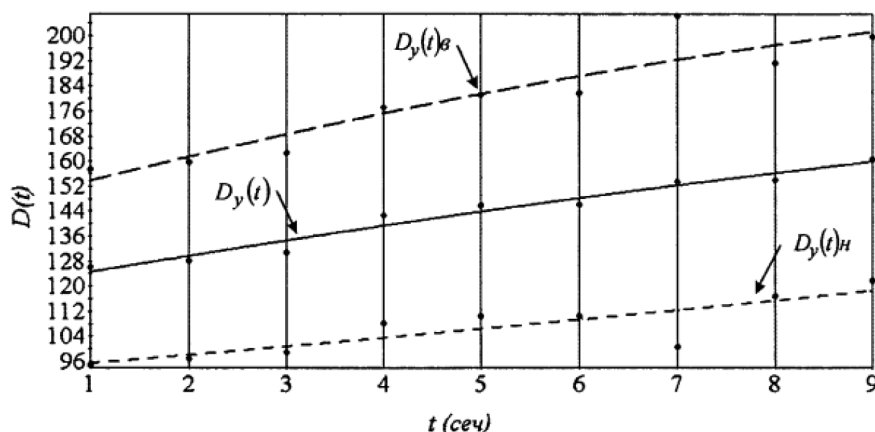


Рис. 3. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения мощности сигнала радиопередающего устройства

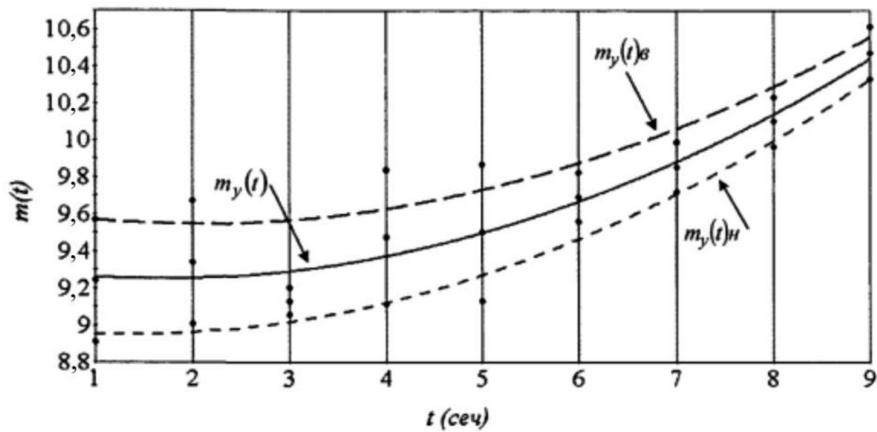


Рис. 4. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ СП изменения шумового параметра радиоприемного устройства

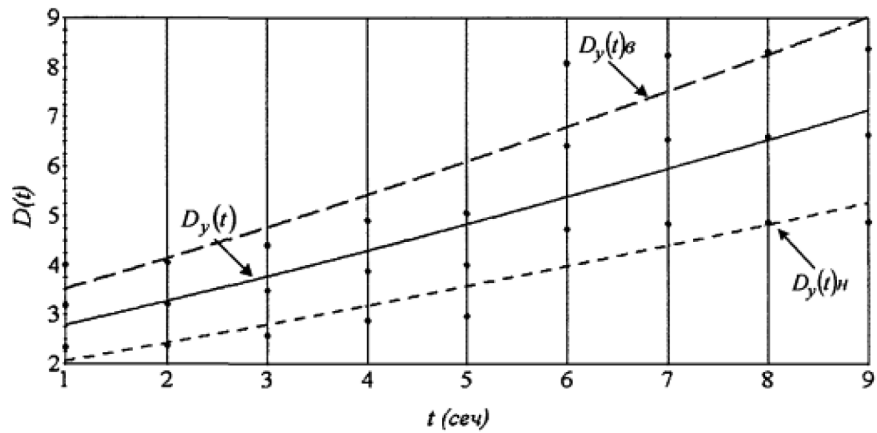


Рис. 5. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения шумового параметра радиоприемного устройства

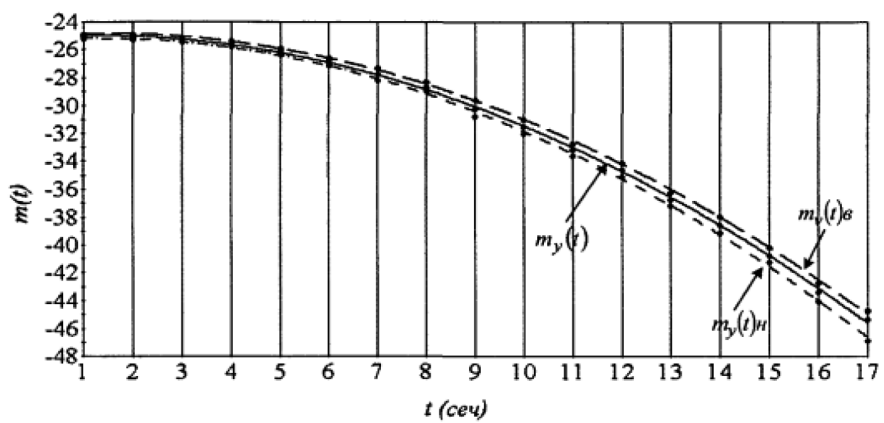


Рис. 6. Кривые, аппроксимирующие математическое ожидание $m(t)$ СП изменения уровня сигнала на выходе генератора шума

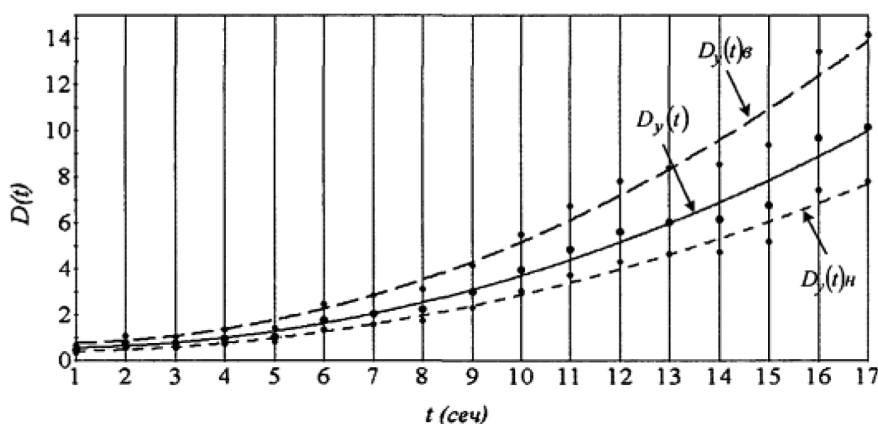


Рис. 7. Кривые, аппроксимирующие дисперсию $D(t)$ СП изменения уровня сигнала на выходе генератора шума

собой аддитивный нестационарный СП. При этом $y(t)$ может быть представлен в виде суммы двух независимых компонент: случайной детерминированной $f(t)$, отражающей необратимые изменения состояния технического объекта, и случайной $\xi(t)$, обусловленной различными флуктуациями эксплуатационных факторов [12].

Из графиков, представленных на рис. 2–7, следует, что математическое ожидание и дисперсия контролируемых параметров (случайных процессов) с течением времени увеличиваются. Причем скорость изменения математического ожидания выше скорости изменения дисперсии контролируемых параметров. Так же графики на рис. 2–7 позволяют оценить среднее время выхода определяющих параметров за пределы допуска T^* .

Пример расчета:

1) если принять допуск на снижение выходной мощности РПДУ в 15 %, то, согласно графику рис. 2, T^* составит $7,5 \text{ (кв)} \times 3 \text{ (мес)} \times 730 \text{ (ч)} = 16425 \text{ (ч)}$;

2) если коэффициент шума РПУ не должен превышать 10,2, то, согласно графику рис. 4, T^* составит $8,5 \text{ (кв)} \times 3 \text{ (мес)} \times 730 \text{ (ч)} = 18615 \text{ (ч)}$.

Полученные по экспериментальным графикам рис. 2, 4, 6 средние значения времени выхода определяющих параметров за пределы допуска T^* кратно превышают среднюю наработку на отказ контролируемых радиосредств.

Например: согласно ГОСТ Р 52016-2003 средняя наработка на отказ магистральных РПУ декаметрового (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.

На рис. 8 представлено графическое отображение интервала неправильного функционирования в процессе функционирования радиосредства (рис. 8, а) и резервируемой методом замещения системы (рис. 8, б).

На рис. 8, а, б показаны интервалы времени работоспособного состояния T_i и восстановления T_{vi} ($i = 1, \dots, n$) радиосредств, а также среднее время выхода определяющих параметров за пределы допуска T^* и интервал времени неправильного функционирования τ' . На рис. 8, б время $T_{vi} \approx 0$, поскольку в этот момент происходит отказ функционирования радиосредства и осуществляется включение резервного комплекта. Важно отметить, что работающие в круглосуточном режиме встроенные средства функционального контроля радиосредств сигнализируют о наступлении отказа (для оператора эти отказы являются внезапными и явными [13]), что позволяет своевременно осуществить включение резервного комплекта средств радиосвязи в работу. При этом выявить момент снижения качества функционирования $g_{\text{пор}}^2$ средств связи ниже допустимого без использования средств измерений не представляется возможным, что, как было отмечено, приводит к существованию продолжительных периодов τ' (на рис. 8, а, б выделен пунктирными линиями), скрытых от служб эксплуатации, причин заниженных технологических показателей

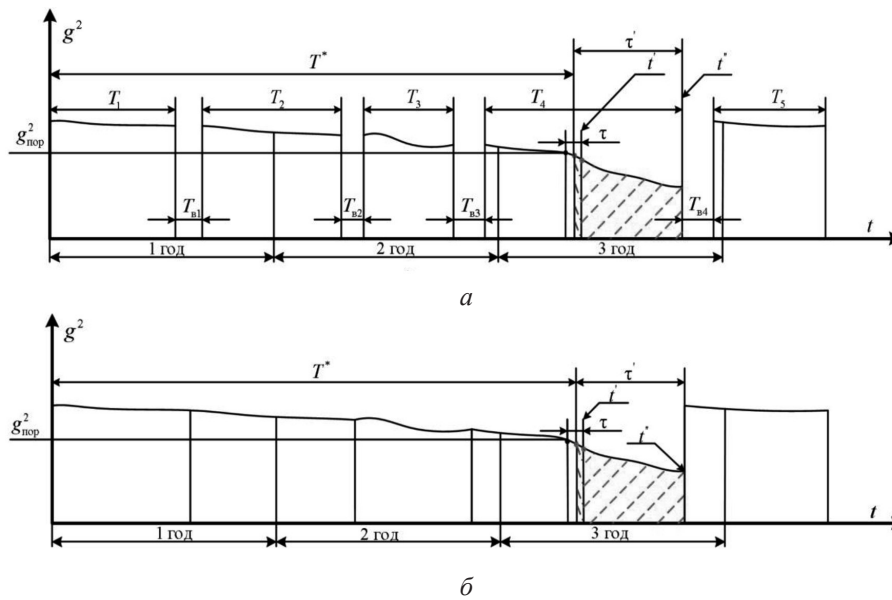


Рис. 8. Графическое отображение интервала неправильного функционирования в процессе функционирования радиосредства (а) и резервируемой метод замещения системы (б)

средств связи, носящих многодневный и даже многомесячный характер [14].

С учетом того, что $T < T^*$ и равной вероятности выхода ПКФ за пределы допуска в интервалах $(0; \tau/2]$ и $(\tau/2; \tau]$ коэффициент готовности $K_r(\tau)$ примет вид:

$$K_r = \frac{T}{T + T_{в} + \frac{T}{2T^*} \tau}. \quad (3)$$

Первое неравенство системы (2), при экспоненциальном распределении вероятности безотказной работы СК и резервировании методом замещения ОК примет вид:

$$\exp\left(-\frac{n\Delta t_k^*}{\tau}\right) \geq \frac{T}{T + \frac{T}{2T^*} \tau} = \frac{T^*}{T^* + 0,5\tau}. \quad (4)$$

Правая часть неравенства (4) получена при $T_{в} = 0$ ч. Это может показаться грубым допущением, однако уже при однократном резервировании методом замещения (дублирование) значения времени восстановления до 5 суток практически не оказывают влияние на результат решения неравенства (4), но решение значительно упрощается.

Решение неравенства (4) относительно τ приводит к следующей формуле:

$$\tau \geq \sqrt{2nT^* \Delta t_k^*}. \quad (5)$$

При этом решение (5) практически не зависит от кратности резервирования и будет выполняться уже при однократном резервировании методом замещения (дублирования) радиосредств.

На рис. 9, а, б представлены графики зависимости вероятности безотказной работы средств контроля $P_{\text{ск}}(n, \tau)$ при обеспечении неравенства (4) на интервале времени $nT_{\text{ск}}^*$ ($n = 1, \dots, 10$), график зависимости $K_r(\tau)$ (3) и $T^* = 20000$ (ч), $\Delta t_k^* = 1/12$ (ч).

На рис. 9, а кривая линия, образованная пересечением графиков функций $P_{\text{ск}}(n, \tau)$ и $K_r(\tau)$ (соответственно левая и правая части неравенства (4)), содержит множество точек с координатами (n, τ) , обеспечивающих $\max K_r(\tau)$.

Решение (5) получено при наилучших условиях — экспоненциальном законе распределения вероятности безотказной работы СК и может служить, при сохранении остальных параметров равными, в качестве оценки минимальной частоты дискретного КТС средств радиосвязи в процессе функционирования. При других законах

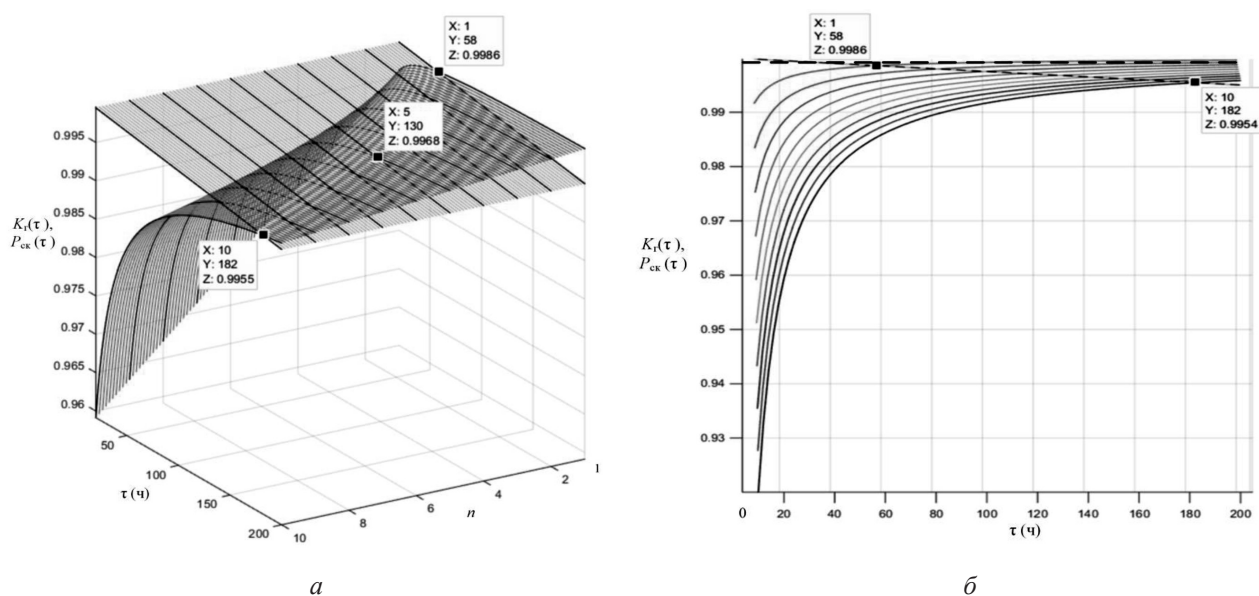


Рис. 9. Графики зависимости $P_{ск}(n, \tau)$, $K_r(\tau)$

распределения вероятности безотказной работы СК осуществлять КТС радиосредств возможно с большей частотой.

Блок-схема алгоритма четвертого этапа методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности радиосредств автоматизированного радицентра

Целью четвертого этапа методики КТС средств радиосвязи АРЦ является обеспечение выполнения второго нестрогого неравенства условий (2) в виде: $\max K_r(\tau) \geq K_{r\text{треб}}$.

Рассмотрим порядок работы четвертого этапа методики в виде алгоритма, представленного на рис. 10:

1) ввести исходные данные: T , $T_{ск}$, $K_{r\text{треб}}$, Δt_k^* , n ;

2) применить формулы из теории надежности (например для резервирования методом замещения [9]: $K_r = \sum_i^m \rho^i / \sum_{i=0}^{m+1} \rho^i$, здесь m — кратность

резервирования, $\rho = T_b / T$) и обеспечить выполнение предварительного условия $K_r > K_{r\text{треб}}$;

3) произвести предварительную оценку среднего времени выхода определяющих параметров за пределы своих допусков $T^*(g^2 \geq g_{\text{пор}}^2)$ по имеющейся статистике параметрических отказов. Если таких статистических данных нет, то пред-

варительную оценку среднего времени выхода определяющих параметров за пределы своих допусков осуществить из выражения $T^* \approx (2 \div 4)T$, а в процессе непосредственного применения по назначению контролируемых радиосредств (всей автоматизированной сети радиосвязи [1]) производить ее коррекцию по собранной статистике параметрических отказов;

4) рассчитать с помощью выражения (5) периодичность КТС средств радиосвязи. Расчет τ осуществлять с $n = 1$ и т.д.;

5) определить значение $K_r(\tau)$ по формуле (3);

6) проверить соблюдение условия $K_r(\tau) \geq K_{r\text{треб}}$. Проверку осуществлять с $n = 1$ и т.д. и добиться выполнения условия $K_r(\tau) \geq K_{r\text{треб}}$ при максимальном значении n . Если условие выполняется, то осуществляем переход к шагу 8, если нет, то к шагу 7;

7) произвести корректировку входных параметров и добиться выполнения условия $K_r(\tau) \geq K_{r\text{треб}}$;

8) сохранить значения τ в БД АРЦ.

Заключение

Научная новизна методики заключается в том, что в ней, в отличие от известных работ, произведен учет интервала неправильного функционирования радиосредств при обеспечении требуемого значения их коэффициента готовности, что позволяет (практическая значимость):

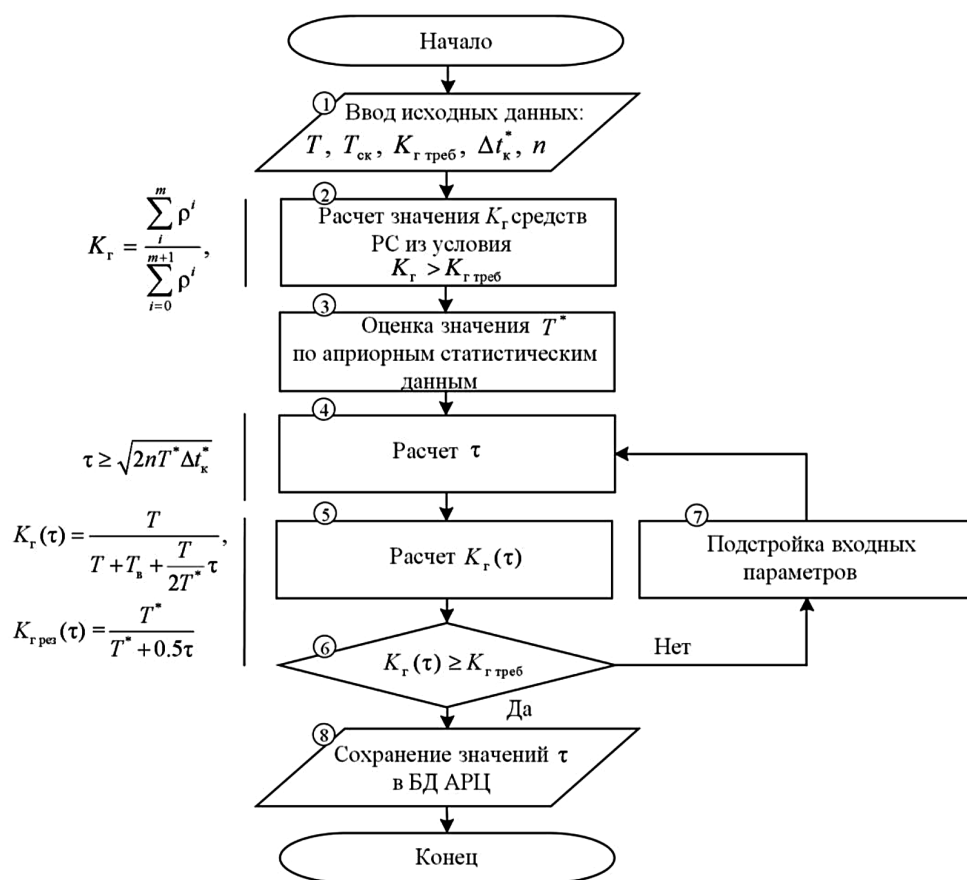


Рис. 10. Блок-схема алгоритма четвертого этапа методики по обеспечению требуемого значения коэффициента готовности радиосредств автоматизированного радиоцентра

1) своевременно, с требуемой достоверностью, выявлять постепенные (скрытые) отказы как передающих, так и приемных радиосредств, благодаря измерению значений их ПКФ;

2) осуществить переход от планово-предупредительной стратегии технического обслуживания радиосредств на АРЦ к техническому обслуживанию по фактическому техническому состоянию за счет своевременного обновления данных об их техническом состоянии;

3) обосновать скважность проведения процедур контроля РПУ и РПДУ на АРЦ, а также режим работы контролирующих средств и обеспечить их высокую надежность в процессе длительной эксплуатации на АРЦ.

Теоретической значимостью предлагаемой методики является дальнейшее развитие научно-методического аппарата контроля и диагностирования, учитывающего влияние длительности и периодичности КТС средств радиосвязи, в системе, образованной средством и объектом

контроля, с ограниченным ресурсом входящих в нее подсистем.

Достоверность представленных в методике результатов подтверждается тем, что полученные в исследовании формулы преобразуются в известные при переходе от дискретного контроля технического состояния к непрерывному.

Литература

1. 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.
2. Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. Технические средства диагностирования. — М.: Машиностроение, 1989. 672 с.
3. Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. — СПб.: Питер, 2005. 479 с.

4. Ключев В.В., Соснин Ф.Р., Ковалев А.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Под общ. ред. В.В. Ключева. — М.: Машиностроение, 2005. 656 с.

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

6. Голунов М.В. Аналитическая модель контроля технического состояния радиосредств радиолинии в процессе функционирования с предварительной оценкой сигнальной и помеховой обстановки в канале связи // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 69–95.

7. Голунов М.В. Своевременность контроля технического состояния средств радиосвязи // Техника средств связи. 2021. № 4 (156). С. 61–68.

8. Федоренко В.В. Модель оптимизационных задач технического обслуживания систем передачи сигналов по фактическому состоянию // Электронное моделирование. 1994. Т. 16. № 1. С. 47–51.

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

10. Строганов А. Характеристики надежности современных ПЛИС // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2019. № 4 (185). С. 52–58.

11. Моисеев С.А. Метод прогнозирующего контроля радиоэлектронной аппаратуры с адаптацией межконтрольного интервала: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. — Орел: ГУ-УНПК, 2013. 198 с.

12. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Управление эксплуатацией систем ответственного назначения. — Владивосток: Дальнаука, 2000. 200 с.

13. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. 28 с.

14. Исаков Е.Е. Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации. — СПб.: ВАС, 2015. 447 с.

References

1. 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 // Technics of means of communication. 2020. № 4 (152). Pp. 17–36.

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

3. Cherkesov G.N. Reliability of hardware and software complexes. Study guide. — St. Petersburg: Peter, 2005. 479 p.

4. Klyuev V.V., Sosnin F.R., Kovalev A.V. Non-destructive testing and diagnostics: handbook / Under the general editorship of V.V. Klyuev. — M.: Mechanical Engineering, 2005. 656 p.

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

6. Golyunov M.V. Analytical model for monitoring the technical condition of radio equipment of a radio line in the process of functioning with a preliminary assessment of the signal and interference situation in the communication channel // Equipment of communication means. 2022. No. 1 (157). Pp. 69–95.

7. Golyunov M.V. Timeliness of monitoring the technical condition of radio communications equipment // Technics of means of communication. 2021. № 4 (156). Pp. 61–68.

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

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

10. Stroganov A. Reliability characteristics of modern FPGAs // Electronics: Science, technology, business. 2019. No. 4 (185). Pp. 52–58.

11. Moiseev S.A. Method of predictive control of electronic equipment with adaptation of the inter-control interval: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.11.13. — Orel: GU-UNPK, 2013. 198 p.

12. Abramov O.V., Rosenbaum A.N. Management of operation of systems of responsible purpose. — Vladivostok: Dalnauka, 2000. 200 p.

13. GOST 27.002 — 2015. Reliability in technology. Basic concepts. Terms and definitions. 28 p.

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