

Для цитирования: Асланов Г.К., Казибекров Р.Б., Мирзабеков Т.М., Мусаибов Р.Р. Программные методы повышения надежности аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46(3): 66-78. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-66-78

For citation: G.K. Aslanov, R.B. Kazibekov, T.M. Mirzabekov, R.R. Musaibov. Software methods for Increasing the Reliability of Aerodrome quasi-doppler Automatic radio direction finders. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (3): 66-78. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-66-78

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 550.34.01

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-66-78

ПРОГРАММНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АЭРОДРОМНЫХ КВАЗИДОПЛЕРОВСКИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОВ

Асланов Г.К., Казибекров Р.Б., Мирзабеков Т.М., Мусаибов Р.Р.

Дагестанский государственный технический университет
367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка программных методов повышения надежности работы аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов (АРП). **Метод.** Приведены математические модели и алгоритмы программного восстановления неисправности аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов. Предложено изменить структуру аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов. **Результат.** Предложены методы и алгоритмы для программного повышения надежности работы аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов. Приведена новая организация структуры аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов. Для обеспечения работоспособности АРП при выходе из строя вибраторов антенной системы предложены новые программные методы: с использованием фазовых соотношений с любых двух пар ортогонально расположенных вибраторов кольцевой антенной решетки; с использованием метода комбинаторики; Предложенная схема организации работы АРП позволяет повысить среднюю наработку на отказ одного канала пеленгования в 4,4 раза. **Вывод.** Разработанные методы обеспечения работоспособности АРП при выходе из строя вибраторов антенной системы позволяют одновременно вычислить пеленг и угол места на источник радиоизлучения. Использование предложенного метода позволяет без аппаратных затрат повысить надежность работы аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов и обеспечивает адекватность измеренных значений инструментальной погрешности аэродромных квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторов реальным.

Ключевые слова: автоматический радиопеленгатор, математическая модель, алгоритм, надежность, антенная система, инструментальная погрешность, скользящее резервирование

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

SOFTWARE METHODS FOR INCREASING THE RELIABILITY OF AERODROME QUASI-DOPPLER AUTOMATIC RADIO DIRECTION FINDERS

G.K. Aslanov, R.B. Kazibekov, T.M. Mirzabekov, R.R. Musaibov

Daghestan State Technical University,
70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia

Abstract Objectives To develop software methods that can improve the reliability of airfield quasi-Doppler automatic direction finders (ADF). **Method.** Mathematical models and algorithms of software fault recovery of aerodrome quasi-Doppler automatic radio direction finders were developed. It is proposed to change the structure of aerodrome quasi-Doppler automatic radio direction finders. **Results.** Methods and algorithms for software improvement of the reliability of airfield quasi-Doppler automatic direction finders are proposed. A novel structural organisation of airfield quasi-Doppler automatic radio direction finders is given. New software methods are proposed for ensuring ADF operability in the event of a failure of the antenna system vibrators, both with the use of phase relations from any two pairs of orthogonally arranged ring antenna vibrators and with the use of the combinatorial method. The proposed organisational ADF scheme allows the average operating time per failure of one direction-finding channel to be increased by 4.4 times. **Conclusion.** The developed methods for ensuring ADF operability in the event of a failure of antenna system vibrators enable a simultaneous calculation of the azimuth and angle of position on the radio emission source. The use of the proposed method increases the potential reliability of airfield quasi-Doppler automatic direction finders without any hardware costs, as well as ensuring the adequacy of the calculated instrumental error values of airfield quasi-Doppler automatic direction finders relative to the real ones.

Keywords: automatic direction finder, mathematical model, algorithm, reliability, antenna system, instrumental error, sliding redundancy

Введение. Радиопеленгаторы находят широкое применение при поиске терпящих бедствие судов и людей, радионавигации, радиоконтроле, радиоразведке [1, 11].

Современный этап развития авиационной техники характеризуется увеличением интенсивности и скорости полетов, ужесточением требований к безопасности полетов, что требует повышения надежности функционирования навигационного оборудования.

Кроме того, повышения надежности АРП продиктовано необходимостью обеспечения превосходства технических характеристик отечественных АРП над зарубежными.

Постановка задачи. В соответствии с нормами годности к эксплуатации аэродромного радиотехнического оборудования автоматические радиопеленгаторы должны обладать высокой надежностью и обеспечивать непрерывную круглосуточную работу одного канала пеленгования в течение 2000 часов [1, 2].

Для обработки информации в составе АРП применяются микропроцессорные устройства. Это позволяет применять новые методы повышения надежности, в частности, устранить неисправности программными методами.

Из-за высоких требований по обеспечению надежности функционирования АРП на аэропортах устанавливались 2 комплекта АРП (один в холодном резерве).

Антенная система АРП является самым низко надежным устройством, что объясняется тем, она работает под открытым небом, под воздействием гидрометеорологических факторов.

Выход из строя любого элемента антенной решетки приводит к аварии АРП. Это связано с тем, что, в этом случае, расстояние между вибраторами становится больше длины волны пеленгуемого сигнала (т.е. фазовое расстояние увеличивается более чем на 2π), что приводит к появлению неоднозначности фазовых измерений.

В эксплуатируемых АРП, расстояние между вибраторами антенной системы АРП выбирают так, чтобы разность фаз сигналов между этими элементами не превышала 360^0 . В связи с этим, для 16 вибраторной антенной системы АРП, расстояние между вибраторами выбрана равной 0,63м, в то время, когда минимальная длина волны пеленгуемого сигнала равна 0,75м, что приводит ограничению уровня шумовой составляющей фазы значением 60^0 .

При этом, при выходе из строя любого вибратора, система контроля АРП блокирует высвечивание пеленга, так как ошибка пеленгования может стать аномальной.

Разрешение неоднозначности фазовых измерений, превышающих 360^0 с помощью программных методов, позволяет устранить этот недостаток.

Методы исследования. Известно, что основной причиной отказа АРП является отказ элементов антенной системы.

Для обеспечения работоспособности эксплуатируемых АРП-75 их устанавливают в аэропортах по два комплекта (при выходе из строя одного, включается второй).

В АРП «Пихта» применялись две антенны, при этом, при неисправности одной из вибраторов антенной системы, вместо него использовалась информация с идентичного вибратора резервной антенны, находящейся в горячем резерве [4].

Отказ АРП, вызванный выходом из строя вибратора антенной системы, может быть восстановлен программным методом, с использованием фазовых соотношений с двух пар ортогонально расположенных элементов кольцевой антенной решетки [6,7,8].

Известно, что для фазового детектора с линейным рабочим диапазоном в пределах $-\pi \div \pi$ действительные значения и значения разностей фаз с неоднозначностью связаны зависимостью

$$\psi_k = \varphi_k - 2\pi n, \text{ если } (2n - 1)\pi < \varphi_k < (2n + 1)\pi \quad (1)$$

где: φ_k – действительные значения разностей фаз,

ψ_k - значения разностей фаз с неоднозначностью,

n -целое число

Для фазового детектора имеющего линейную характеристику в диапазоне $0 \div 2\pi$ эта зависимость будет иметь вид:

$$\psi_k = \varphi_k - 2\pi n, \text{ если } 2\pi n < \varphi_k < 2(n + 1)\pi \quad (2)$$

Для восстановления значений разностей фаз ψ_k нужно произвести операцию:

$$[\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N] = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N] + 2\pi[n_1, n_2, \dots, n_N] \quad (3)$$

где: $[\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_N]$ – вектор действительных значений разностей фаз;

$[\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_k]$ - вектор значений разностей фаз, сформированных фазовым детектором,

$[n_1, n_2, \dots, n_N]$ - неизвестный вектор дополнений целых чисел,

N -число вибраторов антенной системы.

Таким образом, задача разрешения неоднозначности фазовых измерений сводится к определению методом перебора всех возможных значений $[n_1, n_2, \dots, n_N]$.

Для M вариантов вектора дополнений, имеем матрицу размером $N \cdot M$:

$$D = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1N} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ n_{M1} & n_{M2} & \dots & n_{MN} \end{bmatrix} \quad (4)$$

В соответствии с которой получим матрицу фаз размером (N,M):

$$\varphi = \begin{bmatrix} \varphi_{11} & \varphi_{12} & \cdot & \varphi_{1N} \\ \varphi_{21} & \varphi_{22} & \cdot & \varphi_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \varphi_{M1} & \varphi_{M2} & \cdot & \varphi_{MN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Здесь, элементы матрицы φ формируются следующим образом:

$$\varphi_{lk} = \psi_{lk} + n_{lk}2\pi, \quad l = 1, 2 \dots M, \quad k = 1, 2 \dots N$$

Номер вибратора k - ортогонального i - му определяется выражением:

$$k = \left\{ \frac{i + N/4}{N} \right\} N \quad (6)$$

причем, при $k=0$, принимается значение $k=N$.

Разность фаз между центральным и i -м вибраторами антенной решетки определяется выражением

$$\varphi_i = \frac{2\pi R}{\lambda} \cos \beta \cos \left(\frac{2\pi(i-1)}{N} - \theta \right) \quad (7)$$

тогда, разность фаз между k - м и центральным вибраторами определяется выражением

$$\varphi_{k+\frac{N}{4}} = m \cos \beta \sin \left(\frac{2\pi(k-1)}{N} - \theta \right) \quad (8)$$

где: R – радиус антенной решетки,

λ – длина волны пеленгуемого сигнала,

β - угол места на источники излучения, θ - пеленг на источник излучения.

В связи с чем, справедливо равенство:

$$\varphi_i^2 + \varphi_{i+\frac{N}{4}}^2 = \left(\left(\frac{2\pi R}{\lambda} \right) \cos \beta \right)^2 = m^2 \cos^2 \beta, \quad (9)$$

где $m = \frac{2\pi R}{\lambda}$ - индекс фазовой модуляции.

Для двух пар ортогонально расположенных вибраторов в идеальном варианте имеем:

$$\frac{\sqrt{\varphi_i^2 + \varphi_{i+4}^2}}{\sqrt{\varphi_j^2 + \varphi_{j+4}^2}} = 1 \quad (10)$$

Реально условиях, из-за наличия помех, это отношение не будет равно 1. Поэтому, справедливо выражение:

$$\left| \frac{\sqrt{\varphi_i^2 + \varphi_{i+4}^2}}{\sqrt{\varphi_j^2 + \varphi_{j+4}^2}} - 1 \right| \leq \Delta \quad (11)$$

где: Δ - заранее заданная ошибка.

Истинным значениями фаз будут те из них, для которых Δ является минимальным.

Для восстановления работоспособности АРП, вызванной выходом из строя элемента антенной решетки можно использовать метод комбинаторики [12].

Этот метод может обеспечить работоспособность АРП при фактически не менее трех исправных элементах антенной системы.

Будем считать, что работоспособными являются элементы антенной решетки под номерами l, k, n , для которых измеренные разности фаз, равны:

$$\begin{cases} m \cos \beta \cos \left[\frac{2\pi(l-1)}{N} - \theta \right] = a \\ m \cos \beta \cos \left[\frac{2\pi(k-1)}{N} - \theta \right] = b \\ m \cos \beta \cos \left[\frac{2\pi(n-1)}{N} - \theta \right] = c \end{cases} \quad (12)$$

Так как фазы измеряются с неоднозначностью, то они могут принимать любые значения, кратные 2π .

Поэтому, с учетом неоднозначности уравнения (12) могут быть представлены в виде:

$$\begin{cases} m \cos \beta \cos \left(\frac{2\pi(l-1)}{N} - \theta \right) = a + 2k\pi \\ m \cos \beta \cos \left(\frac{2\pi(k-1)}{N} - \theta \right) = a + 2k\pi \\ m \cos \beta \cos \left(\frac{2\pi(n-1)}{N} - \theta \right) = a + 2k\pi \end{cases} \quad (13)$$

При этом,

$$k \in Z[-(k+1); k], \quad k = \left[\frac{R}{\lambda} \right].$$

Для антенной решетки, например, с радиусом $R=1,6$ м., пеленгующего сигнал на частоте $f = 400$ МГц в уравнении (13) разности фаз могут принять значения: $\varphi - 6\pi$, $\varphi - 4\pi$, $\varphi - 2\pi$, φ , $\varphi + 2\pi$, $\varphi + 4\pi$

В связи с этим, вместо каждого уравнения системы (13), будем иметь по шесть уравнений.

В системе уравнений (13) неизвестными являются пеленг θ и угол места β , которые могут быть найдены решением двух любых из трех уравнений. Так как каждое уравнение системы имеет 6 возможных вариантов разностей фаз в правой части, то необходимо вместо двух уравнений решать 36 систем двух уравнений, которые дадут по 36 значений пеленга θ и угла места β .

Для примера, если возьмем два первых уравнения из (12) получим:

$$\cos\beta = \frac{b}{m \cos\left(\frac{2\pi(k-1)}{N} - \theta\right)}, \quad (14)$$

$$\theta = \arctg \frac{b \cos \frac{2\pi(l-1)}{N} - a \cos \frac{2\pi(k-1)}{N}}{a \sin \frac{2\pi(k-1)}{N} - b \sin \frac{2\pi(l-1)}{N}}, \quad (15)$$

Подставляя вместо a и b все возможные комбинации

$$a + 2k\pi, b + 2k\pi, k \in Z[-(k+1), k], k = \left[\frac{2\pi R}{\lambda} \right]$$

получим 36 значений пеленга θ и соответствующие им 36 значений угла места β .

При этом, из рассмотрения исключаются пеленги, для которых абсолютные значения $\cos\beta$ будут превышать $1 \pm \Delta$. Причем Δ должен быть выбран исходя из уровня допустимых значений помех.

Вторая пара уравнений (12) даст еще 36 пар значений пеленга θ и угла места β , из которых только одна пара будет близка по значению одной первой паре. В случае появления большего количества пар с близкими значениями пеленгов θ и углов места β дальнейший анализ может быть выполнен исходя из условия размещения элементов антенной решетки по окружности, т.е. из условия обеспечения равенства:

$$\varphi_i = \frac{2\pi R}{\lambda} \cos\beta \cos\left(\frac{2\pi(i-1)}{N} - \theta\right), \quad (16)$$

т.е. вычисленные разности фаз должны удовлетворять условию равномерного размещения элементов антенной решетки по окружности:

Рассмотренный метод, одновременно с восстановлением работоспособности АРП, дает возможность по выражениям (14) и (15) вычислить пеленг θ и угол места β на источник радиополучения.

Для уменьшения массогабаритных характеристик с одновременным повышением надежности АРП предлагается качественно новое его функциональное построение [5].

В эксплуатируемых многоканальных АРП для каждого частотного канала предназначен свой канал пеленгования, содержащий радиоприемник, устройство обработки пеленгационной информации. При этом максимальное число пеленгационных каналов равно 16.

Для обеспечения надежности в АРП применено скользящее резервирование, суть которого заключается в том, что проверяемый на исправность канал, выводится из режима пеленгования и, вместо него подключается резервный канал, который продолжает пеленгование на рабочей частоте. Выведенный из режима пеленгования канал настраивается на частоту контрольного измерительного генератора (КИГ) с заранее известным азимутом и определяет его пеленг.

Если значение измеренного пеленга соответствует с заранее установленным допуском азимуту на КИГ, то проверяемый канал считается исправным и возвращается на свою рабочую частоту, а резервный канал переходит на проверку следующего рабочего канала. Если же пеленг не находится в пределах допуска, то он выводится из рабочего режима, и резервный канал продолжает работать на рабочей частоте.

При этом в АРП вырабатывается сигнал «Ухудшение состояния АРП», что говорит о том, что один из двух резервных каналов используется в качестве рабочего канала.

После этого в работу по проверке состояния рабочих каналов вступает второй резервный

канал. При выявлении еще одного неисправного канала второй резервный канал начинает работать вместо неисправного, и вырабатывается сигнал «Авария АРП», которая говорит о том, что состояние АРП не контролируется, и он в любой момент может оказаться неисправным.

Известно, что одновременно по всем n каналам пеленгования на связь не выходят. Кроме того, проведенные исследования показали, что средняя длительность выхода на связь на одном частотном канале равна 3 сек и в то же время, имеется реальная возможность создания АРП, пеленгующего сигналы с длительностью 0,05 сек. Это дает возможность предложить, функциональную схему, приведенную на рис. 1.

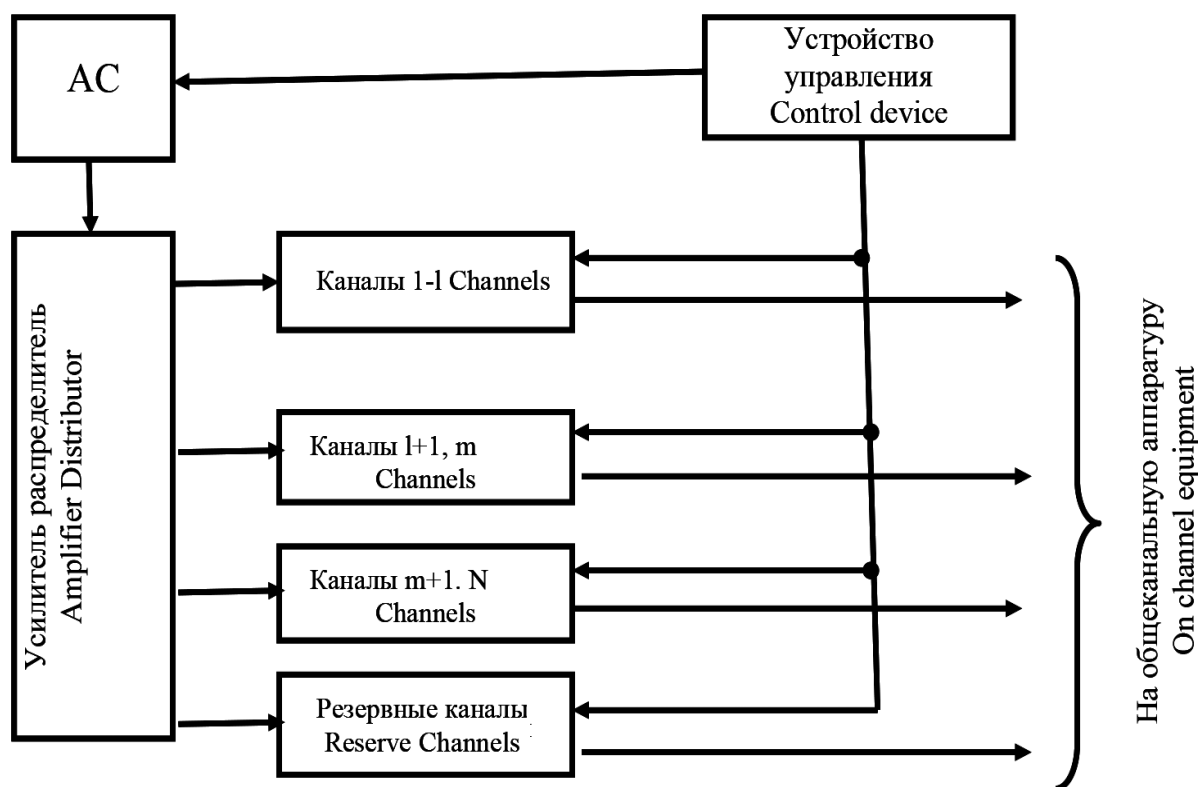


Рис. 1. Аэродромные квазидоплеровские автоматические радиопеленгаторы, где число каналов пеленгования меньше числа частотных каналов

Fig. 1. Aerodrome quasi-Doppler automatic direction finders, where the number of direction finding channels is less than the number of frequency channels

Здесь количество каналов обработки информации меньше числа частотных каналов n . Как видно из структурной схемы, один канал производит пеленгование по нескольким частотным каналам.

В схеме, антенная система и усилитель распределитель работают в обычном режиме. Устройство управления, кроме выработки опорных напряжений, производит сканирование каналов пеленгования по частотам, на которые настроен канал пеленгования. Кроме того, устройство управления осуществляет скользящее резервирование, вышедших из строя каналов пеленгования.

На рис. 2 приведена блок-схема алгоритма скользящего резервирования.

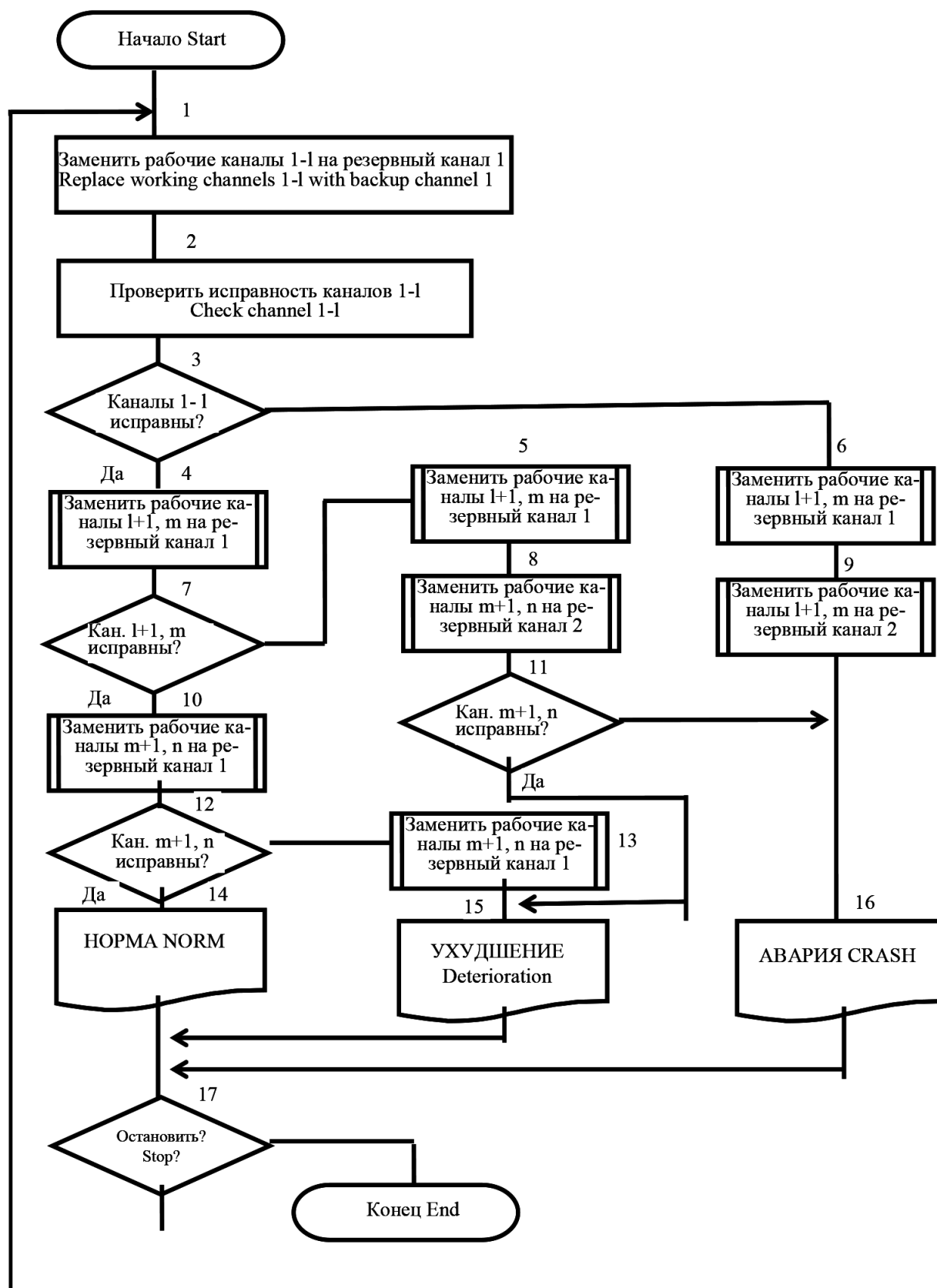


Рис. 2. Блок-схема алгоритма скользящего резервирования
Fig. 2. The block diagram of the rolling reservation algorithm

Система резервирования работает следующим образом.

Вместо канальной части аппаратуры, пеленгующей сигналы на частотных каналах $1 \div 1$, подключается первый резервный канал, который настраивается на частоты рабочего канала $1 \div 1$, что позволяет радиопеленгатору продолжать функционировать в штатном режиме.

Рабочий канал настраивается на частоту контрольно измерительного генератора (КИГ) и определяет пеленг на него. Если погрешность пеленгования КИГ не превышает заранее заданной величины, то рабочий канал считается исправным и переводится в рабочий режим (блоки 1, 2).

В случае неисправности рабочего канала, резервный канал продолжает работать в качестве основного канала (блоки 3, 6). В этом случае, в работу вступает второй резервный канал. При этом, если исправны все рабочие каналы, то система контроля выдает информацию «НОРМА» (блоки 1, 2, 3, 4, 7, 10, 12, 14).

Если же неисправен один рабочий канал, то высвечивается информация «УХУДШЕНИЕ» (блоки 1, 2, 3, 4, 7, 10, 12, 13, 15 или 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 11, 15).

В случае неисправности двух рабочих каналов, на табло высвечивается информация «АВАРИЯ» (блоки 1, 2, 3, 5, 7, 8, 11, 16 или 1, 2, 3, 6, 9, 16).

Высвечивание информации «НОРМА», означает, что радиопеленгатор функционирует в штатном режиме.

Информация «УХУДШЕНИЕ» означает, что радиопеленгатор исправен, но может выйти из строя. В нашем случае это означает, что один резервный канал занят и при выходе из строя еще одного рабочего канала второй резервный канал будет работать вместо него, как основной, и прекратится контроль работы АРП.

Такая же информация высвечивается, например, если радиопеленгатор перейдет на работу от резервного источника питания.

«АВАРИЯ» означает, что пеленгатор неисправен, и, эксплуатировать его нельзя. А в нашем случае, когда второй резервный канал работает вместо основного, хотя пеленгатор и продолжает определять пеленги на воздушные суда, но отсутствует контроль состояния АРП, в связи с чем, эксплуатировать его нельзя. Такие жесткие требования к функционированию АРП вызваны высокими требованиями по его надежности. Радиопеленгатор должен обеспечивать непрерывную круглосуточную работу в течение 2000 часов.

Произведем сравнительный анализ выигрыша средней наработки на отказ предложенной структурной схемы АРП, с традиционной.

Предварительный анализ показывает, что в предложенном варианте, один канал пеленгования может осуществлять в сканирующем режиме пеленгование по шести частотным каналам.

Таким образом, для пеленгования по шестнадцати частотным каналам потребуется 3 рабочих канала (по традиционной схеме – 16). Число резервных каналов, для обеих схем, примем равным двум.

Средняя наработка до отказа резервированных каналов пеленгования, при равнонадежных каналах, будет равна:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N+1} + \dots + \frac{1}{N+M} \right) \quad (17)$$

где: λ - интенсивность отказов одного канала пеленгования,

N - число основных каналов пеленгования,

M - число резервных каналов пеленгования.

Тогда, соответственно, для шестнадцати канального АРП и АРП по предлагаемой схеме, получим:

$$T_{cp16} = \frac{433}{2448\lambda}, \quad T_{cp3} = \frac{47}{60\lambda}$$

Обсуждение результатов. Таким образом, при использовании предлагаемой схемы, средняя наработка на отказ канальной части АРП увеличится в 4,4 раза.

В целях повышения надежности АРП может быть изменено время накопления информации в канале обработки в зависимости от мощности пеленгуемого сигнала [13].

В АРП, находящихся в эксплуатации, накопление информации производится за 8 циклов сканирования элементов антенной решетки.

Известно, что уровень сигнала на входе приемника меняется в зависимости от мощности пеленгуемого сигнала. Поэтому, для обеспечения одинакового уровня сигнала, приходится изменять коэффициент усиления радиоприемника с помощью схемы автоматической регулировки усиления (АРУ) приемника.

Уровень сигнала на выходе АРУ обратно пропорционально мощности пеленгуемого сигнала. Таким образом, в зависимости от уровня сигнала на выходе АРУ можно изменить количество циклов сканирования антенной решетки.

В связи с высокими требованиями по надежности функционирования АРП (2000 часов непрерывной круглосуточной работы) на аэропортах были вынуждены устанавливать по 2 комплекта АРП,

Одним из наименее надежных узлов АРП является антенная система. Это связано тем, что выход из строя любого элемента антенной решетки приводит к выходу из строя АРП.

Для обеспечения работоспособности АРП при выходе из строя вибраторов антенной системы предложены новые программные методы:

- с использованием фазовых соотношений с любых двух пар ортогонально расположенных вибраторов кольцевой антенной решетки;
- с использованием метода комбинаторики;

Разработанные методы обеспечения работоспособности АРП при выходе из строя вибраторов антенной системы позволяют одновременно вычислить пеленг и угол места на источник радиоизлучения.

Предложенная схема организации работы АРП позволяет повысить среднюю наработку на отказ одного канала пеленгования в 4,4 раза.

Вывод. Предложенные методы обработки информации позволяют обеспечить работоспособность АРП при выходе из строя вибраторов антенной системы программными методами, без аппаратных затрат.

Новая схема организации работы АРП позволяет повысить среднюю наработку на отказ одного канала пеленгования в 4,4 раза.

Библиографический список:

1. Асланов Г.К. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук на тему: "Прикладные методы обеспечения точностных характеристик АРП и АРПС". Московский государственный технический университет гражданской авиации. Москва 1998г.
2. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Анализ причин возникновения аномальных ошибок в квазидоплеровских автоматических радиопеленгаторах // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия Информатика Телекоммуникации Управление, №2. СПб: 2009.
3. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Выход из строя элементов антенной системы АРП как причина возникновения аномальной ошибки пеленгования // Сборник тезисов докладов XXX итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ: тезисы докладов. Часть I. Технические науки – Махачкала: ДГТУ, 2009.
4. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Анализ ошибок автоматических радиопеленгаторов, вызываемых выходом из строя элементов антенной системы // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2008. №14, С. 91-96.
5. Асланов Г.К., Гасанов О.И. Улучшение технических характеристик АРП, путем его интеллектуализации // Современные информационные технологии в проектировании, управлении и экономике: материалы IV Всероссийской конференции по актуальным проблемам внедрения и развития сектора IT-технологий, 22-25 сент. 2009 г. Махачкала: ДГТУ, 2009.
6. Асланов Г.К., Асланов Т.Г., Казибеков Р.Б., Тетакаев У.Р. Оценка ошибок, вызываемых выходом из строя элементов антенной системы аэродромного автоматического радиопеленгатора // Вестник Дагестанского

технического университета. Технические науки. 2018; 45(2) :94-103. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103>

7. Асланов Г.К., Казобеков Р.Б., Тетакаев У.Р.. Об одном методе обеспечения работоспособности фазовых автоматических радиопеленгаторов при неисправных вибраторах антенной системы // Молодежь, наука, инновации»: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Грозный: ГГНТУ имени академика М.Д. Миллионщикова, 2013.

8. Казобеков, Р.Б. Обеспечение работоспособности аэродромных автоматических радиопеленгаторов при неисправной антенной системе // Межд. сб. науч. тр. «Smart IT», 2014.

9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1977.

10. Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. М., "Сов. радио", 1964г.

11. Саидов А.С., Тагилаев А.Р., Алиев Н.М., Асланов Г.К. Проектирование фазовых автоматических радиопеленгаторов. Москва, Радио и связь, 1997 г.

12. Тетакаев У.Р., Казобеков Р.Б. Разрешения фазовой неоднозначности методом комбинаторики / // Сборник тезисов докладов XXXVI итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, 21-25 апреля 2015 г. Махачкала: ДГТУ, 2015.

13. Тетакаев У.Р., Казобеков Р.Б., Мирзабеков Т.М., Шихмагомедова Р.Ф. Повышение надежности автоматического радиопеленгатора за счет оптимизации времени накопления информации в зависимости от уровня пеленгуемого сигнала //Сборник тезисов докладов XXXVIII итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ, 17-22 апр. 2017 г. Махачкала: ДГТУ, 2017.

14. Direction finding of narrowband autoregressive sources by antenna arrays /Ziskind Ilan, Bar-Ness Yeheskel // Antennas and Propag.: Int. Symp. Dig."Merg. Technol. 90's", Dallas, Tex., May 7-11, 1990. Vol. 4. Piscataway (N.J.),1990.

15. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of unknown noise fields / Wang Fengzhen // Res. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, Va, May 7-10, 1990. New York (N. Y.), 1990.

16. Johnson,J.: R&S direction finders for Her Majesty's Coastguard. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp.36-37.

17. Mutual coupling effects on phase-only direction finding / Weiss Anthony J., Friedlander Benjamin // IEEE.Trans. Antennas and Propag. 1992. Vol.40, N5.

18. Performance analysis of direction finding using lag redundancy averaging /Doron Miriam A., Weiss Anthony J., //IEEE Trans. Signal Process. 1993. 41, N3. 15. Precision DF safeguards North-Sea shipping. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp.35-36.

19. F. Quint, J. Reichert and H. Roos. Emitter Detection and Tracking Algorithm for a Wide Band Multichannel. Direction-Finding System in the HF-Band. Proc. MILCOM 1999, vol.1, pp.212-216. 1999.

20. A. Chemarov, "The Signal Detection/Direction Finding Algorithm in a Wide Simultaneous Scan Band", 8-th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, EMC-2009, p. 71-74, St.-Petersburg, Russia, June 16-19, 2009.

21. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of unknown noise fields / Wang Fengzhen // Res. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, Va, May 7-10, 1990. New York (N. Y.), 1990.

22. Unsett U. VHF Direction Finders control shipping in North Sea and Atlantic. News from Rohde & Schwarz (1989) No.124, pp.36-37.

References:

1. Aslanov G.K. Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk na temu: "Prikladnyye metody obespecheniya tochnostnykh kharakteristik ARP i ARPS". Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet grazhdanskoy aviatsii. Moskva 1998g. [Aslanov G.K. Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences on the topic: "Applied methods to ensure the accuracy characteristics of ARP and ARPS." Moscow State Technical University of Civil Aviation. Moscow 1998. (In Russ)]

2. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analiz prichin vozniknoveniya anomal'nykh oshibok v kvazidoplerovskikh avtomaticheskikh radiopelengatorakh // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU, seriya Informatika Telekommunikatsii Upravleniye, №2. SPb: 2009. [Aslanov G.K., Hasanov O.I. Analysis of the causes of abnormal errors in quasi-Doppler automatic direction finders // Scientific and Technical Journal of St. Petersburg State Polytechnic University, Series Informatics Telecommunications Management, No. 2. SPb: 2009. (In Russ)]

3. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Vykhod iz stroya elementov antennoy sistemy ARP kak prichina vozniknoveniya anomal'noy oshibki pelengovaniya // Sbornik tezisev dokladov XXX itogovoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii преподавателей, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU: tezisy dokladov. Chast' I. Tekhnicheskiye nauki – Makhachkala: DGTU, 2009. [Aslanov G.K., Hasanov O.I. Failure of elements of the ARP antenna system as the cause of an abnormal direction finding error // Collection of abstracts of the XXX final scientific and technical conference of teachers, employees, graduate students and students of DSTU: abstracts. Part I. Technical sciences - Makhachkala: DSTU, 2009. (In Russ)]

4. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Analiz oshibok avtomaticheskikh radiopelengatorov, vyzvyvayemykh vy-khodom iz stroya elementov antennoy sistemy // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-versiteta. Tekhnich-

eskiye nauki. – 2008. - №11. [Aslanov G.K., Hasanov O.I. Error analysis of automatic direction finders caused by the failure of the antenna system elements // Herald of the Daghestan State Technical University. Technical science. 2008. No. 11. pp. 91-96. (In Russ)]

5. Aslanov G.K., Gasanov O.I. Uluchsheniye tekhnicheskikh kharakteristik ARP, putem yego intellektualizatsii // Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v proyektirovani, upravlenii i ekonomike: materialy IV Vserossiyskoy konferentsii po aktual'nyim problemam vnedreniya i razvitiya sektora IT-tekhnologiy, 22-25 sent. 2009 g. - Makhachkala: DGTU, 2009. [Aslanov G.K., Hasanov O.I. Improving the technical characteristics of ARPs through its intellectualization // Modern Information Technologies in Design, Management and Economics: Proceedings of the IV All-Russian Conference on Actual Problems of Implementation and Development of the IT-Technology Sector, September 22-25. 2009 - Makhachkala: DSTU, 2009. (In Russ)]

6. Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kazibekov R.B., Tetakayev U.R. Otsenka oshibok, vyzyvayemykh vykhodom iz stroya elementov antennoy sistemy aerodromnogo avtomaticheskogo radiopelengatora // Vestnik Dagestanskogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki 2018; 45(2) :94-103. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103> [Aslanov G.K., Aslanov T.G., Kazibekov R.B., Tetakaev U.R. Evaluation of errors caused by the failure of the elements of the antenna system of an airfield automatic direction finder // Bulletin of the Dagestan Technical University. Engineering 2018; 45(2) :94-103. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2018-45-2-94-103>. (In Russ)]

7. Aslanov G.K., Kazibekov R.B., Tetakayev U.R.. Ob odnom metode obespecheniya rabotosposobnosti fazovykh avtomaticheskikh radiopelengatorov pri neispravnykh vibratorakh antennoy sistemy // Molodezh', nauka, innovatsii: Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Groznyy: GGNTU imeni akademika M.D. Millionshchikova, 2013. [Aslanov G.K., Kazibekov R.B., Tetakaev U.R. On a method for ensuring the operability of phase automatic direction finders with faulty vibrators of the antenna system // Youth, Science, Innovation”: Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference. - Terrible: GSTU named after academician M.D. Millionschikova, 2013. (In Russ)]

8. Kazibekov, R.B. Obespecheniye rabotosposobnosti aerodromnykh avtomaticheskikh radiopelengatorov pri neispravnoy antennoy sisteme // Mezhd. sb. nauch. tr. «Smart IT», 2014. [Kazibekov R.B. Ensuring the operability of airfield automatic direction finders with a faulty antenna system // Int. Sat scientific tr Smart IT, 2014. (In Russ)]

9. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike (dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov). M.: Nauka, 1977. [Korn G., Korn T. Handbook of mathematics (for scientists and engineers). M.: Nauka, 1977. (In Russ)]

10. Kukes I.S., Starik M.Ye. Osnovy radiopelengatsii. M., "Sov. radio", 1964. [Kukes I.S., Old man M.E. Basics of direction finding. M., "Sov. Radio", 1964. (In Russ)]

11. Saidov A.S., Tagilayev A.R., Aliyev N.M., Aslanov G.K. Proyektirovaniye fazovykh avtomaticheskikh radiopelngatorov. Moskva, Radio i svyaz', 1997. [Saidov A.S., Tagilaev A.R., Aliev N.M., Aslanov G.K. Design of phase automatic radio pangers. Moscow, Radio and Communications, 1997. (In Russ)]

12. Tetakayev U.R., Kazibekov R.B. Razresheniya fazovoy neodnoznachnosti metodom kombinatoriki // Sbornik tezisov dokladov XXKHVI itogovoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU, 21-25 aprelya 2015. – Makhachkala: DGTU, 2015. [Tetakaev U.R., Kazibekov R.B. Resolutions of phase ambiguity by the combinatorics method // Collection of abstracts of reports XXXVI of the final scientific and technical conference of teachers, employees, graduate students and students of DGTU, April 21-25, 2015. Makhachkala: DGTU, 2015. (In Russ)]

13. Tetakayev U.R., Kazibekov R.B., Mirzabekov T.M., Shikmagomedova R.F. Povysheniye nadezhnosti avtomaticheskogo radiopelengatora za schet optimizatsii vremeni nakopleniya informatsii v zavisimosti ot urovnya pelenguyemogo signala //Sbornik tezisov dokladov XXKHVIII itogovoy nauchno-tekhnicheskoy konfe-rentsii prepodavateley, sotrudnikov, aspirantov i studentov DGTU, 17-22 apr. 2017. Makhachkala: DGTU, 2017. [Tetakaev U.R., Kazibekov R.B., Mirzabekov T.M., Shikmagomedova R.F. Improving the reliability of the automatic direction-finder by optimizing the accumulation time of information depending on the level of the direction-finding signal // Collection of abstracts XXXVIII of the final scientific and technical conference of teachers, employees, graduate students and students of DSTU, April 17-22. 2017. Makhachkala: DSTU, 2017.

14. Direction finding of narrowband autoregressive sources by antenna arrays / Ziskind Ilan, Bar-Ness Yeheskel // Antennas and Propag. : Int. Symp Dig. "Merg. Technol. 90's", Dallas, Tex., May 7-11, 1990. Vol. 4. Piscataway (N.J.), 1990.

15. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of un-known noise fields / Wang Fengzhen // Res. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, Va., May 7-10, 1990. New York (N. Y.), 1990.

16. Johnson, J. : R&S direction finders for Her Majesty's Coastguard. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp. 36-37.

17. Mutual coupling effects on phase-only direction finding / Weiss Anthony J., Friedlander Benjamin // IEEE.Trans. Antennas and Propag. 1992. Vol. 40, N5.

18. Performance analysis of direction finding using lag redundancy averaging / Doron Miriam A., Weiss Anthony J., // IEEE Trans. Signal Process. - 1993 . 41, No. 3. 15. Precision DF safeguards North-Sea shipping. News from Rohde & Schwarz (1985) No.109, pp. 35-36.

19. F. Quint, J. Reichert and H. Roos. Emitter Detection and Tracking Algorithm for a Wide Band Multichannel. Direction-Finding System in the HF-Band. Proc. MILCOM 1999, vol. 1, pp. 212-216. 1999.

20. A. Chemarov, "The Signal Detection / Direction Finding Algorithm in a Wide Simultaneous Scan Band", 8th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, EMC-2009, pp. 71-74, St.-Petersburg, Russia, June 16-19, 2009.
21. Direction-of-arrival estimation for narrow band coherent and incoherent sources in the presence of unknown noise fields / Wang Fengzhen // Res. IEEE Int. Radar Conf., Arlington, Va., May 7-10, 1990. New York (N. Y.), 1990.
- 22.. Unsett U. VHF Direction Finders control shipping in North Sea and Atlantic. News from Rohde & Schwarz (1989) No.124, pp. 36 - 37.

Сведения об авторах:

Асланов Гайдарбек Кадырбекович, доктор технических наук, профессор, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: uits@dstu.ru

Казибеков Рустам Бидирханович, аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: Kazib.rus11@mail.ru

Мирзабеков Темурихан Мевлюдинович, аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: Mirzabekov.timur@mail.ru

Мусаилов Рашид Рагимханович, аспирант, кафедра управления и информатики в технических системах и вычислительной техники; e-mail: rashid_musaibov@mail.ru

Information about the authors.

Gaydarbek K. Aslanov, Dr. Sci. (Technical), Prof., Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: uits@dstu.ru.

Rustam B. Kazibekov, Graduate Student, Department of Management and Informatics in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: Kazib.rus11@mail.ru

Temurkhan M. Mirzabekov, Graduate Student, Department of Management and Computer Science in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: Mirzabekov.timur@mail.ru

Rashid R. Musaibov, Graduate Student, Department of Management and Computer Science in Technical Systems and Computer Engineering; e-mail: rashid_musaibov@mail.ru

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 24.05.2019.

Принята в печать 12.07.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 24.05.2019.

Accepted for publication 12.07.2019.