УДК 621.391.28

Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса

Будко П. А., Виноградeнко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К.

Постановка задачи: *при эксплуатации сложных многоуровневых систем, таких как морские робототехнические комплексы, их работоспособность всегда характеризуется большим числом параметров, контроль которых целесообразно осуществлять в несколько этапов. На первом этапе по какому-либо обобщенному показателю проводят проверку системы на работоспособность и, в случае обнаружения аварийной, или предаварийной ситуации, на последующих этапах в результате более тщательного контроля с использованием информации локального, регионального или глобального контура организации управления судят о ее реальном состоянии. Такая процедура контроля приводит к значительному сокращению времени проверок и объемов циркулирующей в системе служебной информации.* ***Целью работы*** *является выработка технических решений по реализации метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, позволяющего осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния радиоэлектронного оборудования его подсистем в режиме on-line.* ***Используемый научно-методический аппарат.*** *Решение задачи контроля и диагностики основано на проведении мониторинга изменения среднего уровня многопараметрического процесса путем построения карты Хотеллинга. Для совмещения показаний различных типов датчиков использован метод, основанный на сетке выбросов и Байесовском выводе, модифицированный для построения трехмерной модели технического состояния радиоэлектронного оборудования робототехнического комплекса на основе поверхности точек.* ***Новизна.*** *Элементами новизны представленного метода многоуровневого комплексного контроля являются то, что для принятия решения о полученной измерительной информации осуществляют позначное весовое мажоритарное сложение сигналов, поступивших с весовыми коэффициентами от нескольких типов датчиков на уровнях платы, блока, а также модуля радиоэлектронного оборудования. При этом осуществляется процесс комплексирования измерительной информации, поступающей от датчика напряжения, датчика напряженности магнитного поля, датчика влажности воздуха и тепловизора.* ***Результатом*** *предложенных технических решений стали метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, работающий по одноименному алгоритму, вероятностный граф распознавания технических состояний радиоэлектронного оборудования, а также схемная реализация устройства, осуществляющая предложенный метод и блок принятия решения в виде структурной, функциональной и принципиальной схем.* ***Практическая значимость:*** *предложенные метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса, устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования и блок принятия решения позволяют повысить достоверность результатов идентификации технического состояния радиоэлектронного оборудования подсистем робототехнического комплекса и расширить область применения технических средств контроля и диагностики.*

Ключевые слова: *робототехнический комплекс, радиоэлектронное оборудование, многоуровневый контроль, диагностика, идентификация, класс технического состояния, комплексирование измерительной информации.*

Библиографическая ссылка на статью:

Будко П. А., Виноградeнко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71-101. URL: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf

Reference for citation:

Budko P. A., Vinogradenko A. M., Kuznetsov S. V., Goydenko V. K. Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 71-101. Available at: http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf (in Russian).

Актуальность

Воздействующие на радиоэлектронные системы (РЭС) различные внутренние и внешние факторы неизбежно вызывают постепенное изменение характеристик ее элементов, а в конечном итоге и ее работоспособности. Трудоемкость и временные затраты на выявление и устранение дефектов в местах их возникновения достаточно велики. На данный момент при растущей сложности современных РЭС, увеличении числа контролируемых параметров, миниатюризации размеров элементов, а также низкого уровня использования систем, выполняющих функции прогнозирования и диагностирования предаварийного состояния, актуальными являются задачи прогнозирования отказов в рабочем режиме, снижения времени восстановления, уменьшения ресурсов сил и средств, требуемых для диагностирования. Это возможно достичь при использовании неразрушающих методов контроля и диагностики. Некоторые виды неразрушающего контроля приведены на рис. 1.

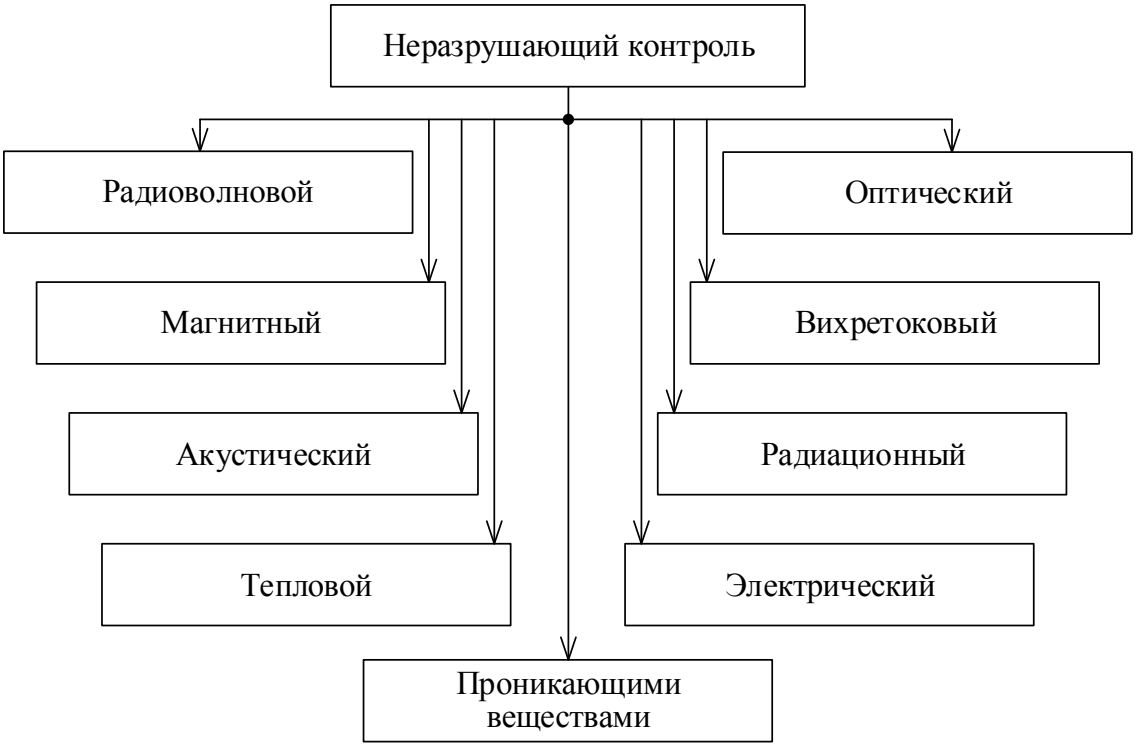

Рис. 1. Виды неразрушающего контроля

Особенно важен неразрушающий контроль для таких необитаемых (необслуживаемых) объектов как роботизированные комплексы, автономные космические и подводные аппараты, автоматизированные узлы связи и радиоцентры, малообитаемые отсеки кораблей и подводных лодок и т. д., где исключено проведение контрольных и диагностических функций радиоэлектронной аппаратуры обслуживающим персоналом. И здесь важно, что сбор диагностической информации необходимо осуществлять *в режиме реального времени*, не допуская перехода предаварийного технического состояния объекта контроля в аварию.

В статье представлен метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса (МРТК),

представляющий собой совокупность способов и устройство комплексного контроля и диагностики радиоэлектронных модулей комплекса, основанный на комплексировании измерительной информации, поступающей в реальном режиме времени от датчика напряжения, датчика напряженности магнитного поля, тепловизора, и датчика влажности воздуха с дальнейшей мажоритарной обработкой поступающей измерительной информации для анализа и принятия решения на управляющее воздействие со стороны оператора.

Морской робототехнический комплекс как объект контроля

Рассматривая МРТК как сложную техническую систему [1, 2], в нем можно выделить ряд подсистем, рис. 2:

- управляющая (решение задач функционального назначения);
- управления движением;
- навигации;
- радиосвязи;
- гидроакустической связи (ГАС);
- освещения подводной, надводной и воздушной обстановки;
- энергообеспечения;
- управления полезной нагрузкой;
- контроля и диагностики.

При этом основными подсистемами, с которыми взаимодействуют все остальные, являются управляющая подсистема и подсистема контроля и диагностики.

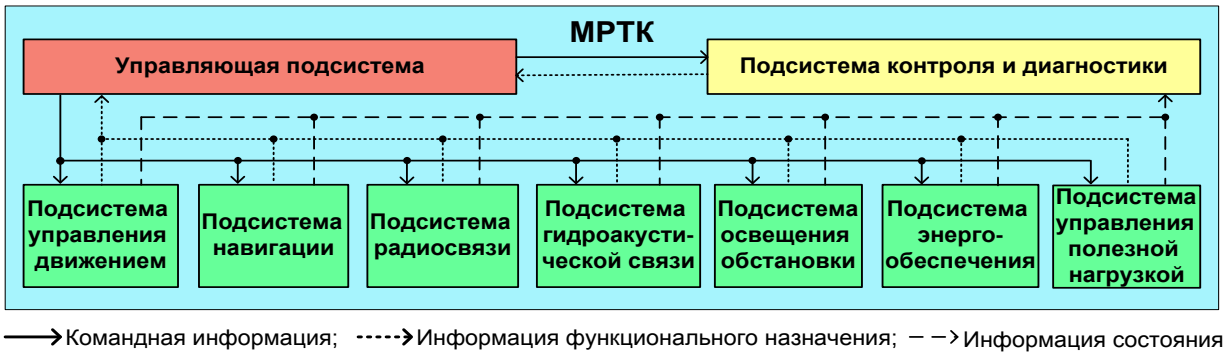

Рис. 2. Организация взаимодействия подсистем МРТК

Управляющая подсистема должна реализовывать набор алгоритмов, направленных на достижение целей применения МРТК [1, 2]. Она взаимодействует с остальными подсистемами, формируя управляющие воздействия (командную информацию) путем обработки информации функционального назначения от подсистем (текущие координаты от подсистемы навигации, принятые команды по каналам связи от подсистем радиосвязи или ГАС, и т. п.). Подсистемы формируют информацию о своем техническом состоянии, которая посредством подсистемы контроля и диагностики также доводится до управляющей подсистемы для применения в процессе выработки командной информации. При этом важно выявление предаварийного состояния подсистем МРТК,

когда еще возможно проведение цикла управляющих воздействий на выход из этого состояния. Это связано с тем, что констатация аварийного состояния комплекса, особенно при выполнении им целевой задачи, зачастую равносильно потере МРТК. В связи с чем, разработка подсистемы контроля и диагностики МРТК, а также алгоритмов её функционирования имеет важное значение [2].

Подсистему контроля и диагностирования МРТК предлагается строить на основе метода распределенного контроля [3, 4] по нескольким контурам управления (по количеству подконтрольных подсистем, рис. 3). При этом МРТК, как сложную систему, включающую $N(k)$ подсистем (узлов) на k-м уровне управления (глобальном – от центра управления, групповом – при действии МРТК в составе группы комплексов, локальном – от управляющей подсистемы МРТК), в условиях воздействия на него дестабилизирующих факторов, контролируют несколькими методами неразрушающего контроля. Это позволяет повысить достоверность фиксирования предаварийного или аварийного состояния и осуществить управляющее воздействие, которое исключит потерю МРТК.

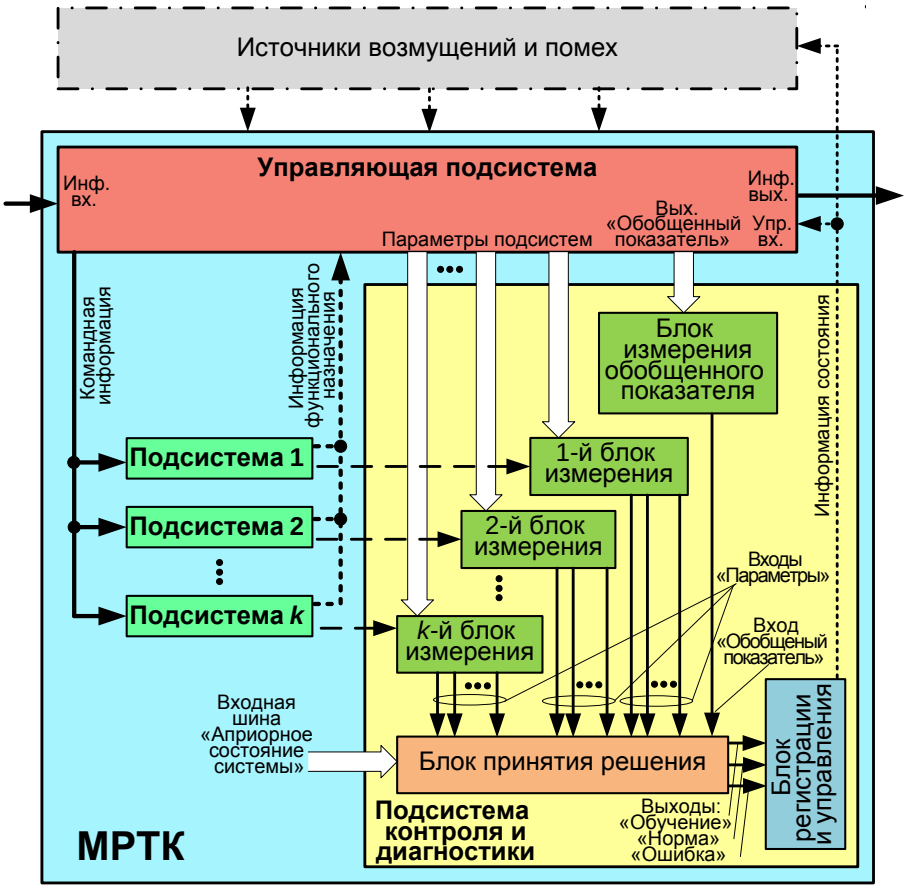

Рис. 3. Структурная схема построения подсистемы контроля и диагностики

Постановка задачи

Возможность реализации заявленного метода опирается на использование неразрушающих методов контроля и диагностики, применяемых в различных отраслях промышленной электроники и электротехники [1-6]. Так известен способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой [3], однако его недостатком является то, что в процессе выработки

управляющего воздействия постоянно используется вся, доступная измерению информация, что в распределенной системе (на глобальном контуре контроля) не только вызывает избыточность измерительной информации, но и приводит к тому, что в процессе функционирования сети (измерительной сети, сенсорной сети) все измерительные средства находятся в активном состоянии.

Также известны устройства, реализующие неразрушающие виды контроля [7-34], например, устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования [12], однако их недостатками является относительно высокая вероятность ошибки при измерении малых отклонений параметров контролируемых электроустановок от нормы в рабочих режимах. Это приводит к тому, что отклонение контролируемого параметра от нормы может быть не зафиксировано, при этом идентификация отклонений контролируемых параметров от нормы ведется только по одному признаку (напряженность магнитного поля). Этим объясняется низкая достоверность результатов идентификации технического состояния контролируемого объекта. Кроме того, эти устройства имеют относительно большое время поиска неисправности, поскольку для выбора оптимального источника измерительной информации (датчика, сенсора) из числа заданных необходимо осуществить последовательный контроль всех существующих источников. Обоснованный выбор оптимального датчика отсутствует. Это обусловлено тем, что в устройстве автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования [12] предварительный контроль с учетом различных состояний объектов контроля отсутствует.

Кроме промышленной электроники и электротехники неразрушающие методы контроля активно применяются и в отрасли телекоммуникаций [14, 16, 19-21, 35-39,]. К недостаткам блоков принятия решения таких устройств [12, 19-21] относятся высокая вероятность отказа в обслуживании, вызванная тем, что назначение порогов срабатывания системы контроля осуществляется без учета общего состояния системы связи и уровня загрузки буферных устройств в узлах коммутации, что вызывает блокировку узлов в загруженной сети. Также к недостаткам этих блоков неразрушающего контроля можно отнести достаточно низкую производительность и высокий коэффициент простоя, поскольку для контроля сложных технических систем и идентификации их состояния необходимо производить измерение, преобразование и обработку большого числа параметров, что нередко связано с отключением системы и ее простаиванием.

В связи с указанными недостатками современных методов и устройств контроля для необитаемых (малообитаемых) объектов контроля ставится задача на разработку метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК и технических решений со схемной реализацией, позволяющих осуществлять диагностику предаварийного и аварийного состояния радиоэлектронных модулей подсистем МРТК в режиме *on-line*.

Достижимость технического результата и его новизна

Техническим результатом, достигаемым с помощью предложенных метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК, устройства для его осуществления и блока принятия решения, рис. 4, является:

- повышение достоверности результатов идентификации технического состояния объектов контроля;
- расширение области применения технических средств контроля и диагностики;
- определение классов технических состояний объектов контроля;
- идентификация отклонений параметров контролируемых объектов от нормы по нескольким признакам (температура, напряженность магнитного поля, напряжение, влажность воздуха);
- снижение избыточности измерительной информации в системе контроля.

При рассмотрении метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК под термином «радиоэлектронное оборудование» будем понимать совокупность всего радиоэлектронного оборудования (РЭО) МРТК на всех уровнях разукрупнения его подсистем (плата, блок, модуль).

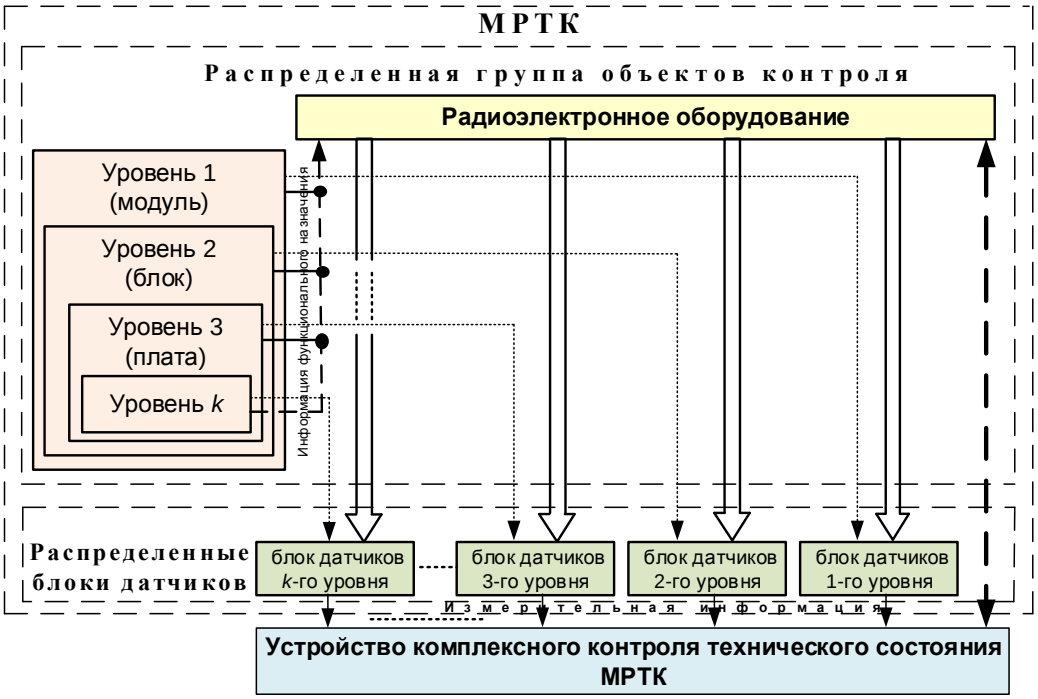

Рис. 4. Структурная схема устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния МРТК

В известном методе распределенного контроля и адаптивного управления K-уровневой системой [3], включающую $N(k)$ элементов РЭО, контролируют каждый $n(k)$-й элемент на каждом k-ом уровне, где $k = 1, 2, \ldots, K$, а $n(k) = 1, 2, \ldots, N(k)$, и характеризуют j контролируемыми параметрами, находящимися в условиях случайных выходов значений за допустимые пределы. Оценку состояния системы проводят поэтапно, причем предварительно, на каждом k-м уровне разукрупнения РЭО, на основе статистического анализа из-

меряемых параметров элементов РЭО формируют группы диапазонов достоверности $M(k, n)$. На заведомо работоспособных элементах РЭО по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль», который запоминают в виде эталонных матриц технического состояния (ТС). Измеряют мгновенные значения сигналов с выходов j датчиков, а результаты измеренных мгновенных значений сигналов оцифровывают и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной N. Из полученных векторов цифровой последовательности длиной N, формируют матрицу ТС размерностью $N \times N$, которую сравнивают с эталонными матрицами ТС «рабочего профиля». С учетом скорости выхода контролируемого параметра за пределы диапазона достоверности определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента РЭС [16, 17]. По наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц и уровню предаварийного состояния оценивают ТС элементов РЭО МРТК и идентифицируют место отказа.

При этом комплексный характер контроля заключается в получении измерительной информации об элементе РЭО, основанной на j разносторонних признаках: электромагнитном отклике, теплограмме, влажности воздуха, напряжении и др., соответственно, от датчика напряженности магнитного поля, тепловизора, датчика влажности воздуха, датчика напряжения и др.

Мониторинг изменения среднего уровня многопараметрического процесса осуществляют путем построения карты Хотеллинга. С учетом контролируемых j показателей многопараметрического процесса $X_1, X_2, ..., X_p$ результаты наблюдений контролируемого показателя анализируются [39]: для каждой t-ой мгновенной выборки ($t = 1, ..., m$) рассчитывается статистика

$$T_t^2 = u(\overline{X}_t - \mu_0)^{\mathrm{T}} S^{-1} (\overline{X}_t - \mu_0). \quad (1)$$

где S – оценка ковариационной матрицы Σ; u – объем выборки; μ_0 – вектор целевых средних; $\overline{X}_t$ – вектор средних в t-ой выборке (оценка вектора μ). Положение контрольной границы карты Хотеллинга определяется формулой

$$T_{кр}^2 = \frac{j(m-1)(u-1)}{mu - m - j + 1} F_{1-\alpha}\left(j, mu - m - j + 1\right), \quad (2)$$

где $F_{1-\alpha}\left(k_1, k_2\right)$ – квантиль F-распределения Фишера с числами степеней свободы k_1 – в числителе, k_2 – в знаменателе; α – вероятность ложной тревоги.

Для принятия решения о полученной измерительной информации, осуществляют позначное весовое мажоритарное сложение r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков на k уровнях РЭО, заключающееся в вычислении значения сумм:

$$\sum_{j=1}^{q(r_1)} K_j\left(r_1\right), \ \sum_{j=1}^{q(r_n)} K_j\left(r_n\right), \quad (3)$$

осуществляемое с использованием формулы

$$K_j = \ln \frac{\left(\Theta - 1\right)\left(1 - p_{\text{ош}\, j}\right)}{p_{\text{тр}\, j}}, \quad (4)$$

где: K_j – значение результирующего сигнала о аварийном состоянии элемента МРТК, принадлежащий алфавиту из Θ разрешенных знаков (в пределах допусков); $p_{\text{ош}\,j}$ – вероятность поступления «ошибочного» сигнала аварии; $p_{\text{тр}\,j}$ – вероятность поступления сигнала о техническом состоянии объекта контроля, находящегося в пределах диапазона достоверности; $q(r_1)$, $q(r_n)$ – численные значения принятых сигналов аварии $r_1, r_2, \ldots, r_n$, содержащихся в зарегистрированных n коалиционных группах, поступивших от j датчиков.

Распознавание классов ТС РЭО МРТК осуществляют по алгоритму распознавания классов элементов РЭО, включающего три этапа работы:

1) обнаружения отказа радиоэлектронного оборудования МРТК;
2) идентификация ошибок контроля;
3) распознавание класса технического состояния МРТК.

Повышение достоверности результатов идентификации ТС объектов контроля и расширение области применения технических средств контроля и диагностики РЭО обеспечивается благодаря введенной последовательности действий, основанной на анализе статистики выходов контролируемых параметров за пределы диапазона достоверности, получении измерительной информации по разносторонним признакам, применении многоэтапной процедуры комплексного контроля параметров РЭО, определении класса ТС и места отказа в оборудовании, а также учете позначного весового мажоритарного сложения измерительной информации.

В устройстве многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, которое реализует метод многоуровневого комплексного контроля повышение достоверности полученной измерительной информации о ТС РЭО достигается за счет комплексной регистрации отклонений номиналов напряженности магнитного поля, температуры, напряжения и влажности воздуха, характеризующих техническое состояние объектов контроля, а также прогнозирование аварийных состояний контролируемого РЭО МРТК за счет регистрации его предаварийных состояний, идентифицируемых скоростью отклонений контролируемых параметров от границ диапазона достоверности.

Благодаря наличию блока принятия решения обеспечивается распознавание классов технического состояния РЭО МРТК, осуществляемого по алгоритму распознавания классов технического состояния. Поскольку реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК осуществляется с применением статистической теории распознавания образов и статистической теории принятия решений, то критерием качества является суммарный сигнал о выбросах (выходах контролируемых параметров за границы диапазона достоверности), которые возникают на первом и последующих этапах контроля. Это обстоятельство использовано для построения блока идентификации технического состояния, в котором при формировании порогов используются априорные сведения о состоянии системы при нормальном функционировании и при возникновении аварийных состояний.

Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования МРТК

Предложенный метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, поясняется способами автоматизированного контроля технического состояния РЭО [3, 5, 8-10, 12-15], исходными данными, которых являются напряженность магнитного поля [12], тепловизионная «картина» контролируемого объекта [39], напряжение в контрольных точках [8, 10], а также, оценка сторонних признаков (влажность воздуха), влияющие на техническое состояние РЭО. На рис. 5. представлен алгоритм, реализующий способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК.

Первым этапом представленного алгоритма является этап анализа, включающего девять подэтапов (шагов).

На шаге 1 определяют исходные данные, ограничения и допущения.

На шаге 2 на формируют пороговые значения на контролируемые параметры и устанавливают на k уровнях РЭО (платы, блока, стойки, отсеки и др.) в виде $M(k, n)$ групп диапазонов достоверности.

На шагах 3-4 для каждого контролируемого элемента РЭО, на заведомо работоспособных экземплярах, по разносторонним признакам создают их «рабочий профиль» и запоминают его в виде эталонных матриц $g_1^*...g_n^*$ технического состояния.

На шаге 5 измеряют мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков напряженности магнитного поля, влажности воздуха, напряжения, тепловизора, пропорционально изменяемым во времени напряженности внешнего магнитного поля, влажности воздуха, напряжению и температуре, создаваемых контролируемым элементом РЭО в рабочем режиме [7].

На шаге 6 по изменению среднего уровня результатов измерения технического состояния РЭО осуществляют построение карты Хотеллинга [39] в виде поверхности точек в трехмерном пространстве, при этом каждая точка r поверхности представлена следующими величинами:

1) математическим ожиданием m_x положения в трехмерном пространстве r_x, r_y, r_z;
2) матрицей ковариации r_δ, задающей дисперсию трехмерного нормального распределения положения точки;
3) вероятностью параметрического отказа $r_{\text{отк}}$;
4) вероятностями получения измерительного сигнала о предаварийных состояниях N элементов РЭС r_{d_i}, где $i \in 1,...,N$.

На шагах 7-9 оцифровывают измеренные мгновенные значения сигналов, поступающих с датчиков и запоминают в виде векторов цифровой последовательности длиной N, из которых формируют матрицу ТС $g_1...g_n$ размерностью $N \times N$.

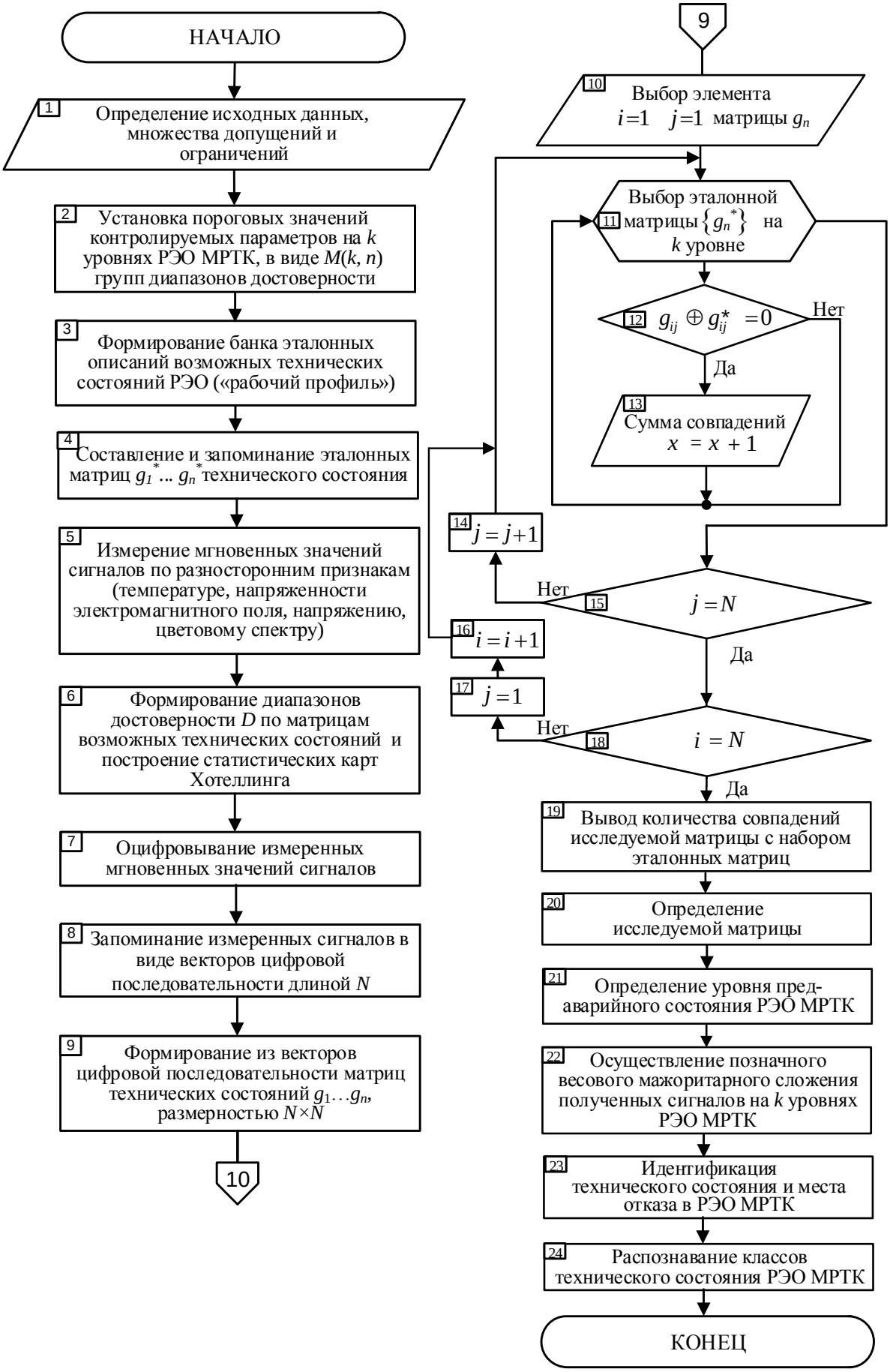

Рис. 5. Алгоритм, реализующий способ многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Вторым этапом способа является идентификация, включающего пятнадцать подэтапов (шагов).

На шаге 10 осуществляют выбор элемента матрицы g_n текущего технического состояния радиоэлектронного оборудования.

На шаге 11 осуществляют выбор элемента эталонной матрицы g_n^*.

На шаге 12 принимают решение на поэлементное сравнение элемента исследуемой матрицы ТС с одним из элементов эталонных матриц ТС, соответствующего исследуемой. При этом под сравнением понимается операция сложения по модулю два информационных содержаний сравниваемых элементов матриц.

На шаге 13 при совпадении значений в элементах сравниваемых матриц происходит суммирование числа совпадений.

На шаге 14-18 осуществляется сравнение элементов матриц снизу вверх и слева направо.

На шаге 19 осуществляют отображение количества совпадений элементов исследуемой матрицы с набором элементов эталонных матриц, $i = N$, $j = N$ (шаги 15, 18), после того, как будет оценен последний элемент сравниваемых матриц.

На шаге 20 определяется матрица по наибольшему числу совпадений исследуемой матрицы g_n с одной из эталонных матриц технического состояния g_n^*; при условии, что совпало 97 ± 2 % от общего количества элементов матриц ТС.

На шаге 21 определяют уровень предаварийного состояния контролируемого элемента РЭО, идентифицируемый скоростью выхода контролируемого параметра за пределы диапазона достоверности (см. рис. 6).

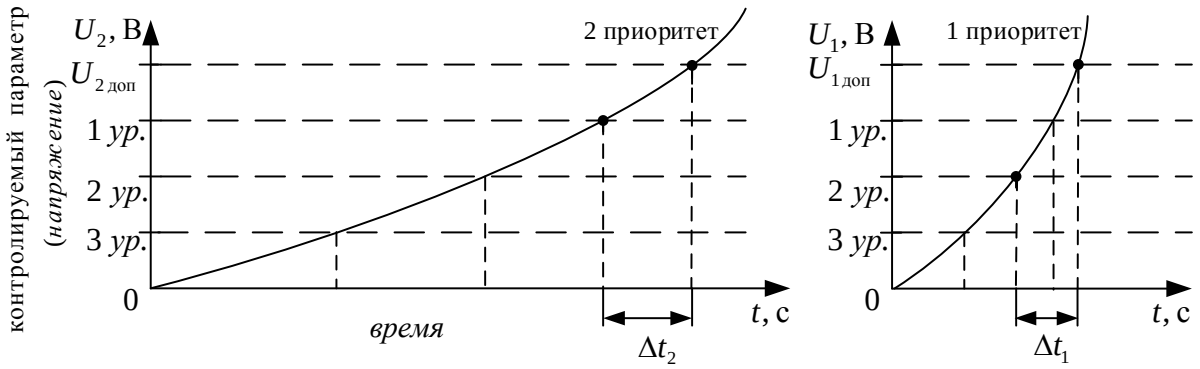

Рис. 6. Графики, поясняющие зависимость установки значений допусков от динамики выхода контролируемого параметра за допустимые пределы

На шаге 22 принимают решение о полученной измерительной информации, путем позначного весового мажоритарного сложения r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков, находящихся на k уровнях РЭО в МРТК [3].

На шаге 23 оценивают состояние системы в несколько этапов, причем на первом этапе, используют локальную информацию о состояниях каждого элемента k-го уровня РЭО, по которой обнаруживают путем сравнения с диапазоном достоверности нарушение заданного режима функционирования (нормаль-

ное или аварийное состояние. На последующих этапах оценки, определяют уровень предаварийного состояния контролируемого объекта, путем измерения всей доступной измерению информации на уровне блока (модуля).

Этапы осуществления оценки РЭО, представленные на рис. 7 в вероятностном графе состояния системы, отображают: $P_1 = 1 - P_2$ – априорная вероятность отсутствия аварийной ситуации; P_2 – априорная вероятность появления аварийной ситуации; α – ложный отказ (ошибка первого рода); β – необнаруженный отказ (ошибка второго рода); N – нормальная работа; A – авария (отказ); O – этап обнаружения отказа; P – этап распознавания отказа; k = 1, 2, ..., K – уровни РЭО МРТК. При этом классы технического состояния РЭО обозначены 1, 2, ..., 5_1, 6_1, где $1 = P_2\bar{\beta}_0\bar{\beta}_P...\bar{\beta}_k$; $2 = P_1\alpha_0\alpha_P...\alpha_k$; $3 = P_2\bar{\beta}_0\bar{\beta}_P...\beta_k$; $4 = P_1\alpha_0\alpha_P...\bar{\alpha}_k$; $5 = P_2\beta_0$; $6 = P_1\bar{\alpha}_0$; $5_1 = P_2\bar{\beta}_0\beta_P$; $6_1 = P_1\alpha_0\bar{\alpha}_P$. Далее идентифицируют место отказа элемента РЭО.

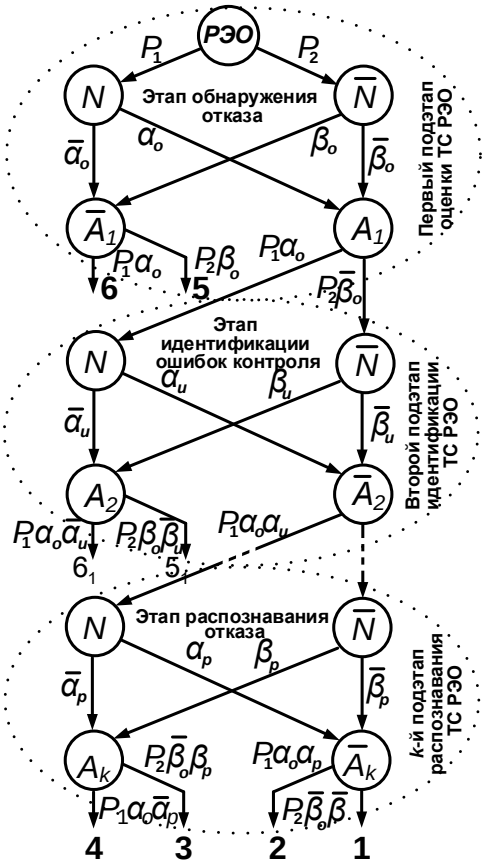

Рис. 7. Вероятностный граф распознавания технических состояний РЭО, реализующий поэтапный принцип принятия решения

На шаге 24 осуществляют распознавание классов ТС РЭО, согласно алгоритма распознавания классов ТС РЭО МРТК (см. рис. 8). Алгоритм имеет три этапа работы: обнаружения отказа РЭО, идентификации ошибок контроля (на каждом из k уровней РЭО) и распознавания класса ТС РЭО.

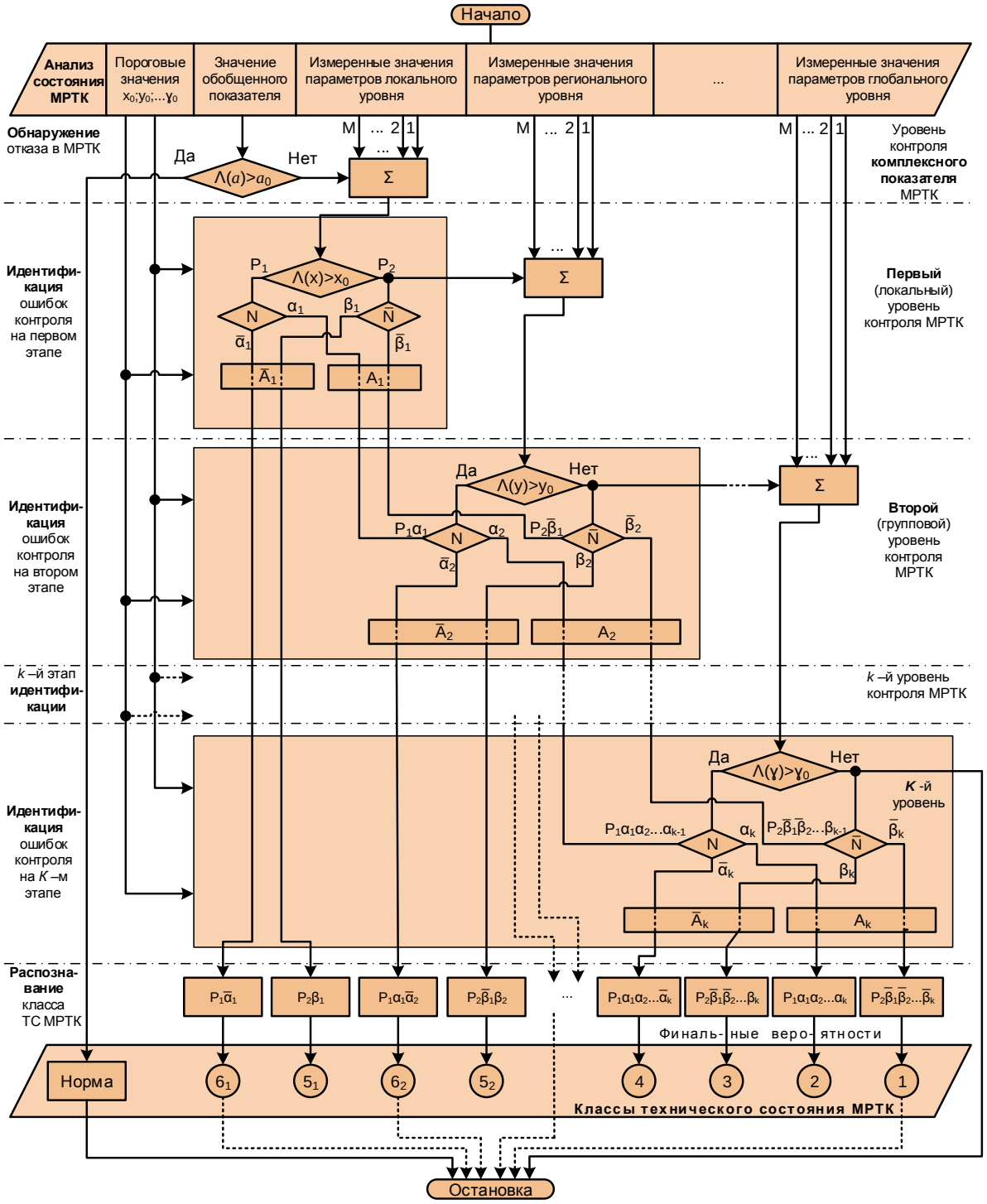

Рис. 8. Алгоритм распознавания классов технических состояний РЭО МРТК

В алгоритме распознавания классов ТС РЭО МРТК в качестве исходных данных используются:

1) пороговое значение обобщенного показателя ТС РЭО a_0;
2) пороговые значения (допуски) на параметры x_0^1, y_0^2, ..., γ_0^K элементов РЭО, используемых на различных (локальный, региональный, глобальный k-х, k = 1, 2, ..., K) уровнях её функционирования;
3) измеренные значения обобщенного показателя состояния РЭО;

4) измеренные значения параметров технических устройств на каждом k-м уровне разукрупнения РЭО (локальном (схема, элемент), региональном (блок), глобальном (модуль)).

На этапе обнаружения отказа осуществляется контроль комплексного показателя РЭО $\Lambda(a)$ по заданному в исходных данных пороговому значению параметра a_0. При выполнении заданного условия (например, $\Lambda(a)>a_0$) формируется сигнал о нормальном функционировании РЭО МРТК.

При невыполнении заданного условия (выходе значения обобщенного (комплексного) показателя за пределы допуска) осуществляется измерение j значений показателей технического состояния (параметров), где $j = 1, 2, ..., J$, на локальном уровне РЭО, которые на следующем этапе сравнивают с пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$ для идентификации места отказа.

По результатам сравнения определяется нормальное состояние РЭО (N) с вероятностью $P_1 = P(N)$ либо его аномальное состояние ($\overline{N}$) с вероятностью $P_2 = 1 - P_1 = P(\overline{N})$. Причем идентификацию места отказа на первом (локальном) уровне РЭО осуществляют с учетом ошибок первого (α_1) и второго (β_1) рода, которые соответствуют вероятности «ложной тревоги» и «пропуску нарушения». В литературе данные вероятности называют соответственно риском заказчика и риском потребителя [14].

Физический смысл ошибок первого и второго рода заключается в том, что вероятность «ложной тревоги» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала нормальное (N) ТС РЭО (с вероятностью P_1), однако ошибочно классифицировано состояние аварии (A), и, в свою очередь, вероятность «пропуску нарушения» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала аномальное ТС ($\overline{N}$) РЭО (с вероятностью P_2), но при этом в результате идентификации отказа классифицировано отсутствие аварии – ($\overline{A}$).

Аналогично происходит выявление нарушения работоспособности системы (ее аварийного состояния – A) и на последующих $k = 1, 2, ..., K$ контурах контроля и управления системой (на втором (региональном) уровне – A_2, вплоть до глобального – A_K). Переход на следующий уровень идентификации отказа осуществляется при выполнении условия что на предыдущем уровне было обнаружено аварийное состояние (A) и измеренные значения параметров данного уровня вышли за пределы установленных (заданных) допусков.

Так при обнаружении аномального состояния РЭО $\overline{N}$ на локальном уровне осуществляется измерение значения параметров регионального уровня и сравнение их с заданными пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$. При этом ошибки первого и второго рода имеют место быть на каждом уровне многоуровневой РЭО: α_2 и β_2; α_3 и β_3; ... ; α_K и β_K.

На последнем, завершающем, этапе алгоритма выведены финальные вероятности состояния РЭО МРТК, по которым определяются классы его ТС, означающие:

«1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан;

«2» – система работоспособна, ложное обнаружение и распознание;
«3» – система заблокирована, отказ обнаружен, но не распознан;
«4» – система работоспособна, ложное обнаружение не распознано;
«5» – система заблокирована, отказ не обнаружен;
«6» – система работоспособна, признана работоспособной.

Причем, на рис. 7 и 8 классы ТС «1», «2», «3», «4» многоуровневого оборудования МРТК относятся к завершающему этапу контроля, а классы «5_1», «6_1», «5_2», «6_2», … – присутствуют на каждом из *K* уровней.

Наиболее предпочтительным является класс «6», когда система работоспособна и признана работоспособной. Следующим по предпочтению идет класс технического состояния «1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан. Математически вариационный ряд предпочтений классов технического состояния радиоэлектронного оборудования МРТК можно записать в виде:

«6» > «1» > «4» > «2» > «3» > «5».

Реализация устройства многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Для практической реализации метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК предлагается использовать устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК, показанное на рис. 9, которое состоит из источника тока 1, блока датчиков 2, РЭО 3, блока обработки сигналов 4, блока принятия решения 5, блока управления 6 и блока вывода информации 7.

Источник тока 1 предназначен для обеспечения электропитания РЭО постоянным током.

Блок датчиков 2 предназначен для измерения различными способами (индуктивным и тепловизионным способами, электрически и др.) уровня сигнала, пропорционального изменяющимся во времени соответствующим параметрам, характеризующим РЭО 3 в рабочем режиме. Вариант построения датчика напряженности магнитного поля известен и описан в патенте RU № 2378656. Варианты построения датчиков напряжения, влажности воздуха и тепловизора известны и описаны в [40].

РЭО 3 предназначено для передачи и приема информации на расстоянии по радиоканалу при помощи электромагнитных сигналов. Оно является объектом контроля технического состояния.

Блок обработки сигналов 4 предназначен для обработки и преобразования поступающего с блока датчиков 2 сигналов в вектора цифровых последовательностей, из которых формируют матрицу технического состояния g.

Блок принятия решения 5 (приведен ниже в статье) предназначен для двухэтапной оценки технического состояния РЭО 3 и определению места отказа по информационным сигналам, поступающим с блока обработки сигналов 4.

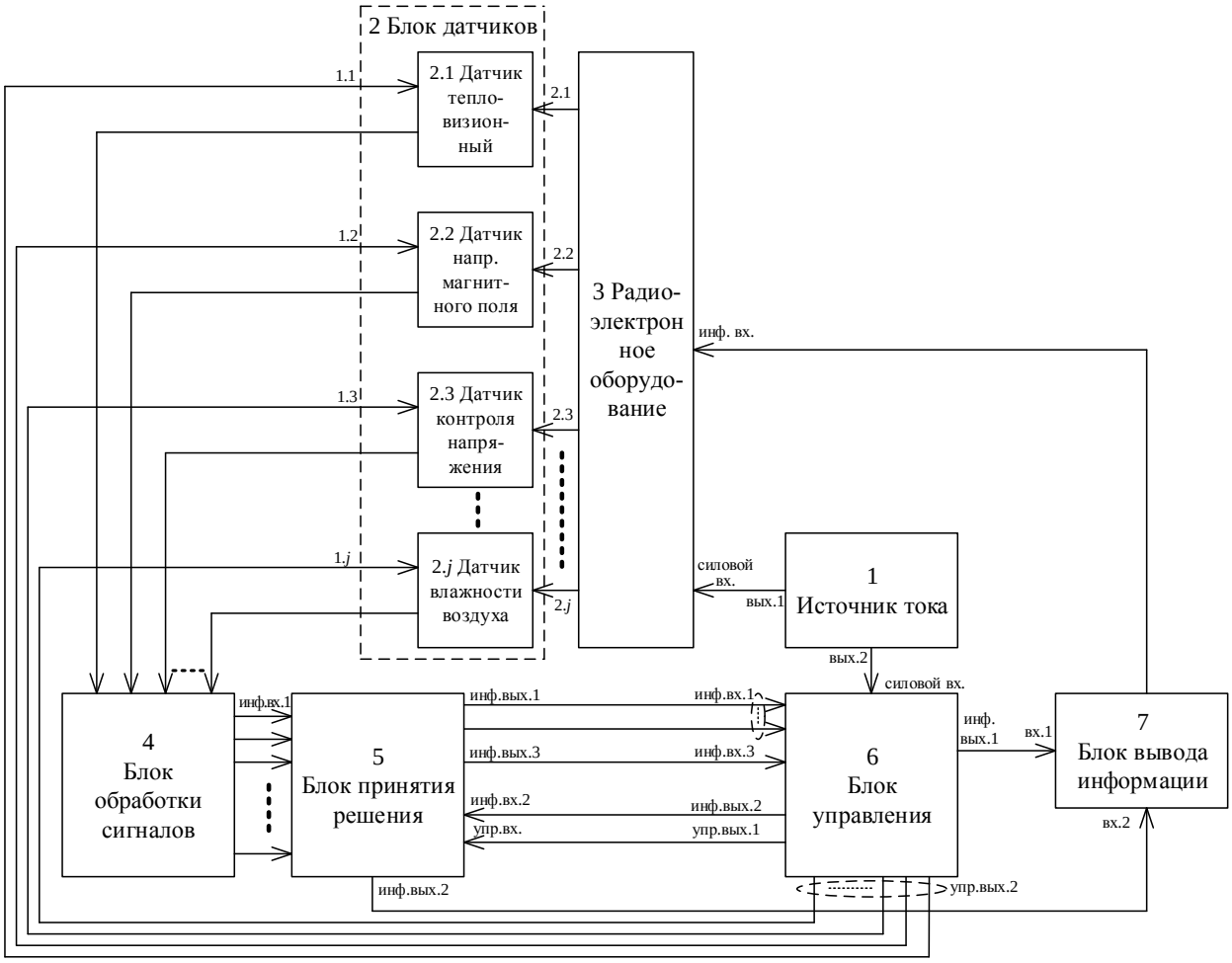

Рис. 9. Функциональная схема устройства комплексного контроля ТС РЭО

Блок управления 6 предназначен для управления работой и подачи управляющих импульсов в основные блоки устройства многоуровневого комплексного контроля ТС РЭО. Он может быть реализован различным способом, например, показанным на рис. 10.

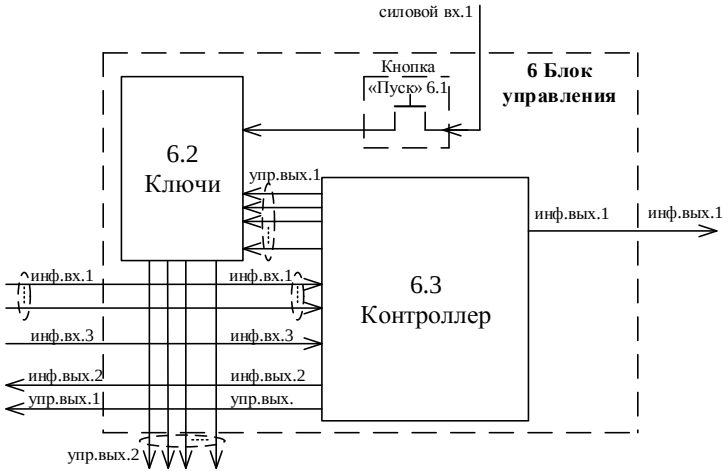

Рис. 10. Принципиальная схема блока управления

Блок управления 6 состоит из кнопки «Пуск» 6.1, ключей 6.2 и контроллера 6.3.

Кнопка «Пуск» 6.1 предназначена для подачи напряжения на ключи 6.2 для запуска блока датчиков 2.

Ключи 6.2 предназначены для включения (отключения) датчиков, блока датчиков 2, по управляющему сигналу контроллера 6.3.

Контроллер 6.3 предназначен для формирования управляющего сигнала, подаваемого на ключи 6.2 для включения (отключения) «избыточных» датчиков, а также формирования итоговых данных, выводимых на блок вывода информации 7, по аварийному или предаварийному состоянию контролируемого РЭО 3. Вариант построения контроллера 6.3 известен и описан в [41-43].

Блок вывода информации 7 предназначен для отображения информации идентифицированного технического состояния и места отказа в РЭО 3.

Реализация блока принятия решения

Блок принятия решения 5 состоит: из модуля регистров записи 5.1, в который входят *j* регистров записи знаков (5.1.1, 5.1.2, …, 5.1.*j*); модуля установки весовых коэффициентов 5.2, в который входят *j* схем установки весовых коэффициентов (5.2.1, 5.2.2, …, 5.2.*j*); модуля весовых множителей, в который входят *j* схем весовых множителей (5.3.1, 5.3.2, …, 5.3.*j*); модуля идентификации технического состояния 5.4 и модуля весового мажоритарного сложения знаков 5.5. Функциональная схема предложенного блока принятия решения показана на рис. 11.

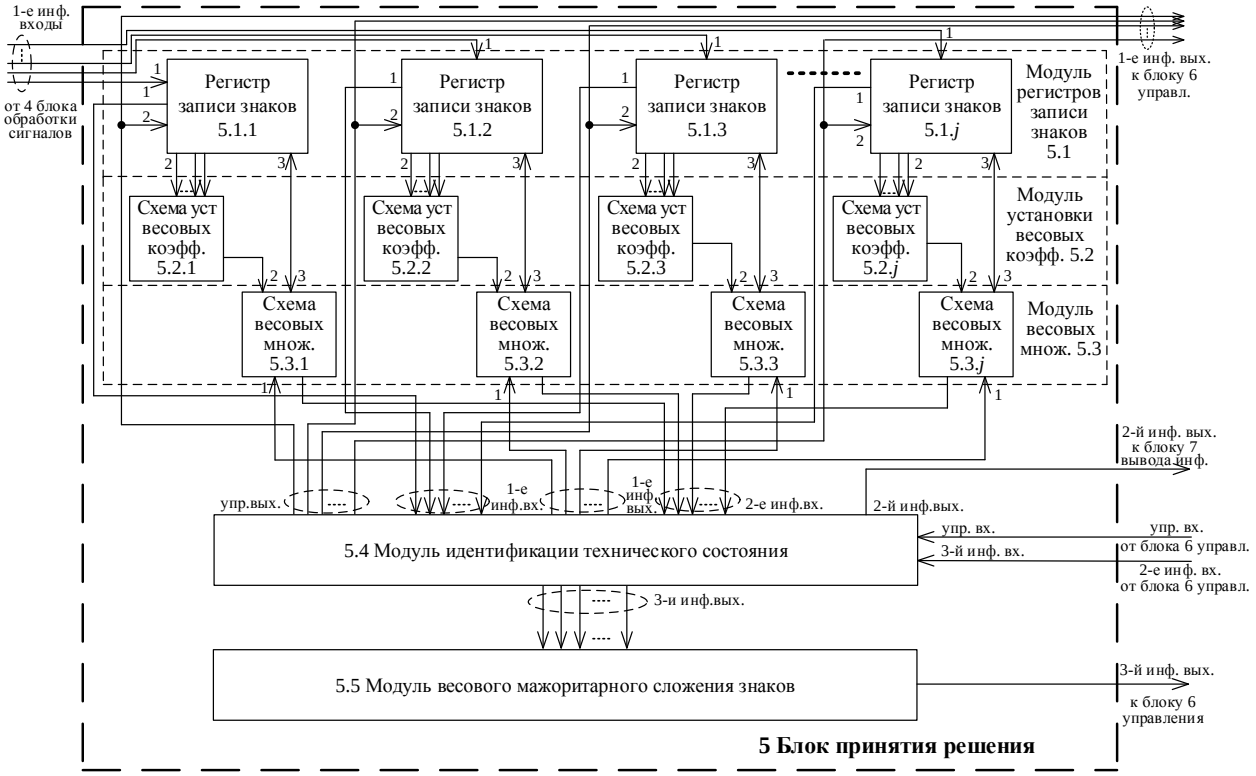

Рис. 11. Функциональная схема блока принятия решения

Регистры записи знаков 5.1.1 – 5.1.*j* предназначены для записи векторов цифровых последовательностей, формируемых из сигналов, поступающих с блока обработки сигналов 4.

Схемы установки весовых коэффициентов 5.2.1 – 5.2.*j* предназначены для хранения критических значений параметров, контролируемого РЭО 3.

Схемы весовых множителей 5.3.1 – 5.3.*j* предназначены для сравнения векторов цифровых последовательностей, поступающих с регистров записи знаков 5.1.1 – 5.1.*j*, и критических значений измеряемых параметров РЭО.

Модуль идентификации технического состояния 5.4 предназначен для поэлементного сравнения исследуемой матрицы ТС g, с эталонными матрицами ТС g_m, где $m = 1, 2, ..., M$, а M – число возможных ТС РЭО 3, хранящихся в элементе памяти эталонных параметров 5.4.4 блока, анализа числа совпадений сравниваемых матриц g_m, идентификации технического состояния РЭО 3 по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц. Модуль идентификации технического состояния 5.4 может быть реализован различным способом, например, показанным на рис. 12.

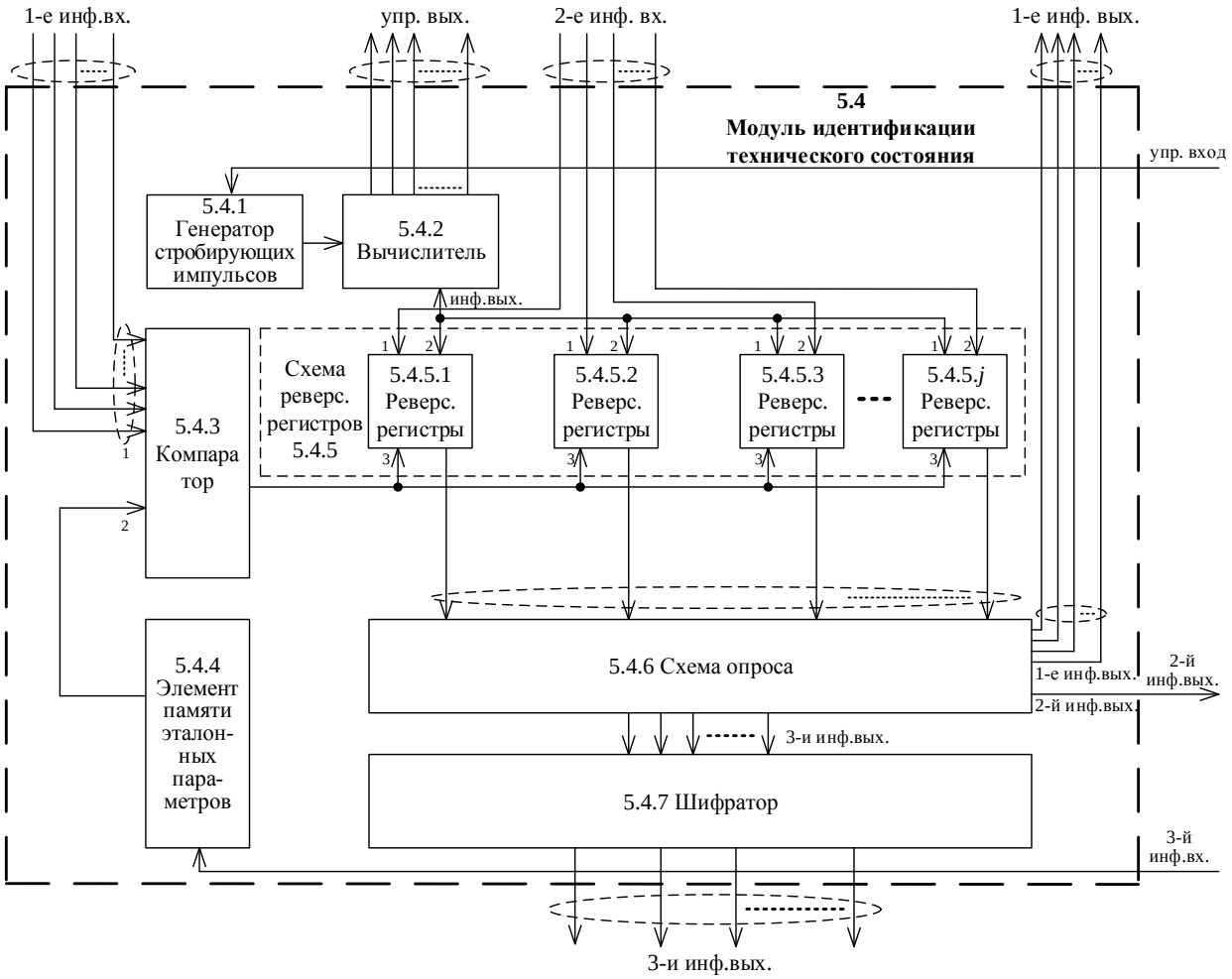

Рис. 12. Функциональная схема модуля идентификации технического состояния

Модуль идентификации технического состояния 5.4 состоит из генератора стробирующих импульсов 5.4.1, вычислителя 5.4.2, схемы 1, 2, …, *j* ре-

версивных регистров 5.4.5.1, 5.4.5.2, …,5.4.5.*j*, компаратора 5.4.3, элемента памяти эталонных параметров 5.4.4, схемы опроса 5.4.6 и шифратора 5.4.7.

Генератор стробирующих импульсов 5.4.1 предназначен для формирования управляющих импульсов в процессе выполнения идентификации технического состояния контролируемого радиоэлектронного оборудования.

Вычислитель 5.4.2 предназначен для формирования управляющих воздействий на контроллер 6.3, на втором этапе поиска, для формирования решения по отключению (подключению) «избыточных» датчиков.

Компаратор 5.4.3 предназначен для сравнения пороговых значений с измеряемыми параметрами. Вариант построения компаратора известен и описан в [42].

Схема памяти эталонных параметров 5.4.4 предназначена для записи «рабочего профиля» контролируемого РЭО 3.

Реверсивные регистры 5.4.5.1 – 5.4.5.*j* предназначены для записи информации о динамике выхода контролируемых параметров за пределы диапазона допусков.

Схема опроса 5.4.6 предназначена для регистрации сигналов, поступающих с выходов реверсивных регистров 5.4.5.1 – 5.4.5.*j*.

Шифратор 5.4.7 предназначен для преобразования сигналов, поступивших с блока опроса 5.4.7 в двоичную кодовую комбинацию, содержащую информацию о номере (типе) оптимального датчика, блока датчиков 2, из числа пересмотренных.

Модуль весового мажоритарного сложения знаков 5.5 предназначен для сложения x сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от j типов датчиков на k уровнях РЭО, заключающееся в вычислении значения сумм по формуле (3), результирующих сигналов о неисправности объекта контроля. Вариант построения модуля весового мажоритарного сложения знаков известен и описан в [44].

Осуществление метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК

Специфика построения устройства комплексного контроля ТС РЭО МРТК такова, что блок, обозначенный в схеме рис. 4, как распределенная группа объектов контроля, может представлять собой отдельную подсистему в виде k-уровней (отсек МРТК, модуль, блок, консоль, ..., плата), соответствующих глобальному (МРТК управляется от берега), региональному (групповое использование МРТК) и локальному уровням (уровень МРТК), при этом в данном случае организуется система контроля ТС на каждом уровне. Объединяющим элементом являются обозначенные в схеме (рис. 9) распределенные блоки датчиков, позволяющие осуществлять съем измерительной информации с объектов контроля, установленных на k уровнях РЭО. Это необходимо для формирования результирующего решения о работоспособности объектов контроля, формируемого в блоках обработки сигналов 4 и принятия решения 5. Управление процессом распределенного контроля осуществляется в блоке управле-

ния 6. С учетом этого, название метода и устройства, реализующего его, подчеркивает распределенность контроля РЭО МРТК.

Метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния РЭО МРТК включает этапы анализа и идентификации.

На этапе анализа в схему памяти эталонных параметров 5.4.6 записан «рабочий профиль» технического состояния РЭО 3 в виде матриц ТС, представляющих собой вектора цифровых последовательностей.

При подаче сигнала на силовой вход, нажатием кнопки «Пуск» 6.1 блока управления 6 (рис. 10) питающее напряжение источника тока 1, через ключи 6.2, подается на первые входы датчиков блока датчиков 2 (рис. 9), включая их.

Исследуемые сигналы с блока датчиков, регистрирующих изменения температуры, напряженности магнитного поля, напряжения и цветового диапазона на элементах РЭО 3, подается на блок обработки сигналов 4, где преобразуются в цифровую форму, а от него – на первые информационные входы регистров записи знаков 5.1.*j* блока принятия решения 5 (рис. 11).

Сигналы с первого выхода регистра записи 5.3.*j* поступают на первые входы компаратора 5.4.3 модуля идентификации технического состояния 5.4 (рис. 12), в котором происходит их сравнение с эталонными значениями параметров «рабочего профиля» элемента РЭО, поступающими из схемы памяти эталонных параметров 5.4.4. «Рабочий профиль» представляет собой эталонные матрицы рабочего состояния контролируемых элементов РЭО.

Матрица рабочего состояния контролируемых элементов РЭО состоит из *ab* ячеек памяти, соответствующих *a*-м и *b*-м уровням измеряемого сигнала, где *a* – критический уровень контролируемого параметра, *b* – критическая скорость изменения контролируемого параметра (соответственно, *a*-я строка и *b*-й столбец условной матрицы).

В случае, если сигналы с первого входа компаратора, характеризующие текущее ТС элемента РЭО, превышают *a*-й или *a*-й и *b*-й уровни сигнала рабочего профиля – то данный сигнал распознается как аварийный, если только *b*-й – то предаварийный.

Результат сравнения через реверсивные регистры 5.4.5.*j* поступает на схему опроса 5.4.6, в которой осуществляется поочередный опрос сигналов результата анализа.

Сигналы со статусом «авария» через второй информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 поступают для немедленного отображения на блоке вывода информации 7.

Сигналы со статусом «предаварии» отправляют через первый информационный выход модуля идентификации технического состояния 5.4 на первые входы схемы весовых множителей 5.3.*j*. По информации сигналов «предаварии» со второго выхода схемы опроса осуществляют построение карты Хотеллинга – статистического диапазона выходов контролируемых параметров за пределы доверительных интервалов, как результат мониторинга изменения среднего уровня многопараметрического процесса.

После поступления информационных сообщений (сигналов) от каждого из датчиков блока датчиков 2 в цифровой форме на соответствующие регистры за-

писи знаков 5.1.*j*, данные сигналы синхронизируются через синхронизирующие выходы с весовыми коэффициентами эталонных сигналов схем установки весовых коэффициентов 5.2.*j*, формируя в схемах весовых множителей 5.3.*j* совместно с сигналами «предаварии», поступающими на первые входы регистров, матрицы $g_1 ... g_m$ технического состояния размерностью $H \times H$ диапазона достоверности и, своевременно корректируя его границы.

После каждого отсчета измеряемого сигнала результат в виде логической «единицы» записывается в (*ab*)-ю ячейку памяти регистра записи знаков 5.1.*j*, которая соответствует *a*-му и *b*-му уровням сигнала на выходе блока обработки сигнала 4 (*a*-я строка и *b*-й столбец условной матрицы).

На этапе идентификации сигналы с выходов схемы весовых множителей 5.3.*j* поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.*j* и информационный вход вычислителя 5.4.2 модуля идентификации технического состояния 5.4.

Если со всех схем весовых множителей 5.3.*j* поступают сигналы, характеризующие нормальную работу элементов радиоэлектронной системы, то с целью уменьшения избыточности измерительной информации модуля идентификации технического состояния 5.4 с выхода вычислителя 5.4.2, через первые информационные выходы блока принятия решения 5, сигнал поступает на первые информационные входы контроллера 6.3 блока управления 6, который через первые управляющие выходы отключает датчики блока датчиков 2, осуществляющие подачу «избыточной» информации.

Для обратного подключения необходимых датчиков блока датчиков 2 с управляющего выхода контроллера 6.3 блока управления 6, поступает сигнал на управляющий вход генератора стробирующих импульсов 5.4.1 блока принятия решения 5, который подает сигнал на вычислитель 5.4.2, о принятии необходимого решения по подключению датчиков.

Для поэлементного сравнения полученной на этапе анализа матрицы технического состояния с «рабочим профилем» и последующей идентификации ТС элементов РЭО по наибольшему числу совпадений элементов сравниваемых матриц сигналы с выходов схем весовых множителей 5.3.*j* поступают на вторые информационные входы реверсивных регистров 5.4.5.*j*.

Сигналы проходят через реверсивные регистры 5.4.5.*j* на схему опроса 5.4.6 в тот момент, когда на третьи входы реверсивных регистров будет подан сигнал с компаратора 5.4.3 «авария» или «норма».

С третьего информационного выхода модуля идентификации технического состояния 5.4 сигнал поступает на модуль весового мажоритарного сложения знаков 5.5.

В модуле весового мажоритарного сложения знаков 5.5, с целью сокращения вычислительных операций для принятия решения о полученной измерительной информации, используют позначное весовое мажоритарное сложение r_n сигналов измерительной информации, поступивших с весовыми коэффициентами от *j* типов датчиков, заключающееся в вычислении значения сумм по формуле (3). При этом результирующие сигналы аварии (о неисправности объекта контроля) по численным значениям принятых сигналов аварии $r_1, r_2, \ldots, r_n$

принадлежат алфавиту из Θ разрешенных знаков (в пределах допусков). Тогда, значение r_x, соответствующее первой сумме вариационного ряда, т. е.

$$\sum_{j=1}^{q(r_x)} K_j(r_x) = \max\left\{ \sum_{j=1}^{q(r_1)} K_j(r_1), \sum_{j=1}^{q(r_n)} K_j(r_n) \right\} \quad (5)$$

является оптимальным решением о поступившем сигнале неисправности при использовании критерия максимального правдоподобия.

Выводы

Представленный в статье метод позволяет осуществлять многоуровневый комплексный контроль технического состояния РЭО МРТК с учетом предаварийных состояний РЭО и определением классов технических состояний объектов контроля.

Достоверность результатов контроля (оценки и идентификации) технического состояния элементов РЭО МРТК D_1 в предложенных технических решениях значительно выше, чем при осуществлении аналогичного контроля объекта в прототипах [12, 14, 21].

С учетом получения измерительной информации от нескольких датчиков, где число источников не меньше 2-х, можно сделать вывод, что достоверность получения информации о техническом состоянии объекта контроля предложенных технических решений D_1 выше, чем у прототипа D_2, причем $D_1 >> D_2$.

Таким образом, предложенные метод многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования морского робототехнического комплекса, устройство многоуровневого комплексного контроля технического состояния радиоэлектронного оборудования и блок принятия решения обладают существенным положительным эффектом, заключающимся в повышении достоверности результатов идентификации технического состояния РЭО и расширении области применения технических средств контроля и диагностики.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-29-04326 офи_м

Литература

1. Николашин Ю. Л., Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого обмена данными с автономными необитаемыми подводными аппаратами // Морская радиоэлектроника. 2016. № 1 (55). С. 44-49.

2. Будко П. А., Жуков Г. А., Виноградeнко А. М, Гойденко В. К. Определение аварийного состояния морского робототехнического комплекса по многоэтапной процедуре контроля на основе использования вейвлет-преобразований // Морская радиоэлектроника. 2016. № 4 (58). С. 20-23.

3. Будко Н. П., Будко П. А., Виноградeнко А. М., Дорошенко Г. П., Рожнов А. В., Минеев В. В., Мухин А. В. Способ распределенного контроля и адаптивного управления многоуровневой системой и устройство для его

осуществления // Патент на изобретение RU 2450447 C1, опубл. 10.05.2012, бюл. № 13.

4. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем: математические модели и методы оптимизации. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.

5. Виноградeнко А. М., Ладонкин О. В., Юров А. С. Система мониторинга технического состояния подвижных объектов военного назначения с использованием беспроводных технологий // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 1. С. 51-55.

6. Будко П. А., Литвинов А. И. Кинетический метод контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управления. 2014. № 7. С. 42-47.

7. Будко П. А., Литвинов А. И. Бесконтактный контроль и идентификация технического состояния электрооборудования систем электроснабжения промышленных комплексов // Датчики и системы. 2014. № 8 (183). С. 5-10.

8. Виноградeнко А. М., Веселовский А. П., Бурьянов О. Н. Оперативный контроль технического состояния подвижных электротехнических объектов // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: тезисы докладов III Всероссийской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2016 г.). – Санкт-Петербург, 2016. – С. 178-184.

9. Будко П. А., Бурьянов О. Н., Виноградeнко А. М., Веселовский А. П. Модель автоматизированной системы контроля технического состояния наземных робототехнических комплексов // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях: тезисы докладов II Межвузовской научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 2017 г.). – Санкт-Петербург, 2017. – С. 145-149.

10. Виноградeнко А. М., Веселовский А. П., Бурьянов О. Н. Способ оперативного контроля технического состояния подвижных спецсредств // Надежность и долговечность машин и механизмов: тезисы докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции (Иваново, 2017 г.). – Иваново, 2017. – С. 34-36.

11 Fedorenko V., Fedorenko I., Sukmanov A., Samoylenko V., Shlaev D., Atanov I. Modeling of data acquisition systems using the queueing theory // AEU – International Journal of Electronics and Communications. 2017. Vol. 74. P. 83-87. DOI: 10.1016/j.aeue.2017.01.024.

12. Будко Н. П., Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И. Способ и устройство автоматизированного контроля технического состояния электрооборудования // Патент на изобретение RU 2548602 C1, опубл. 20.04.2015, бюл. № 11.

13. Будко Н. П., Будко П. А., Литвинов А. И., Виноградeнко А. М. Реализация кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управления. 2014. № 8. С. 37-44.

14. Будко П. А., Фомин Л. А., Линец Г. И., Рачков В. Е., Гайчук Д. В., Шлаев Д. В. Способ автоматического контроля и адаптивного управления

распределенной системой и устройство для его осуществления // Патент на изобретение RU 2312389 C1, опубл. 10.12.2007, бюл. № 34.

15. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И., Юров А. С. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов // Датчики и системы. 2014. № 9 (184). С. 8-14.

16. Виноградeнко А. М., Федоренко И. В., Семененко А. В. Система для контроля технического состояния радиоэлектронных объектов // Патент на полезную модель RU 90916 U1, опубл. 20.01.2010, бюл. № 2.

17. Виноградeнко А. М., Федоренко И. В. Система для контроля параметров технологических объектов // Патент на полезную модель RU 96676 U1, опубл. 10.08.2010, бюл. № 22.

18. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Литвинов А. И. Экспериментальные исследования кинетического метода контроля и диагностики технических средств // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 9. С. 53-58.

19. Фомин Л. А., Будко П. А. Эффективность и качество инфокоммуникационных систем. Методы оптимизации. – М.: Физматлит, 2008. – 400 с.

20. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Нейрокомпьютерный подход к решению задачи оптимизации приема информации в канале с переменными параметрами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2016. № 1. С. 49-58.

21. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Жуков Г. А., Литвинов А. И. Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 1. № 1. С. 18-41.

22. Жердев Н. К., Креденцер Б. П., Белоконь Р. Н. Контроль устройств на интегральных схемах. – Киев.: Техника, 1986. – 96 с.

23. Марков А. А., Бершадская Т. Н., Белоусов Н. А. Способ неразрушающего контроля изделий // Патент на изобретение RU 2184373 C1, опубл. 27.06.2002, бюл. № 18.

24. Сукиязов А. Г., Просянников Б. Н., Вербов М. В., Просянников Г. Б. Устройство бесконтактного определения технического состояния тиристоров источника питания // Патент на изобретение RU 2185632 C1, опубл. 20.07.2002, бюл. № 20.

25. Сукиязов А. Г., Просянников Б. Н., Вербов М. В., Просянников Г. Б., Вербов В. Ф. Устройство бесконтактного мониторинга полупроводниковых элементов однофазных и трёхфазных мостовых выпрямителей // Патент на полезную модель RU 66820 U1, опубл. 27.09.2007, бюл. № 27.

26. Будко П. А. Метод контроля состояния сети связи на основе двухэтапной процедуры принятия решения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2003. Т. 6. № 1. С. 64-68.

27. Будко Н. П., Виноградeнко А. М., Мельников Н. М., Мухин А. В., Федоренко И. В. Устройство автоматического поиска каналов радиосвязи // Патент на изобретение RU 2450447 C1, опубл. 10.05.2012, бюл. № 13.

28. Федоренко В. В., Виноградeнко А. М. Устройство для измерения сигналов // Патент на изобретение RU 2354055 C1, опубл. 27.04.2009, бюл. № 12.

29. Федоренко В. В., Виноградeнко А. М., Федоренко И. В. Устройство для контроля радиоэлектронных объектов // Патент на изобретение RU 2413977 C1, опубл. 10.03.2011, бюл. № 7.

30. Будко П. А., Федоренко В. В., Дорошев А. В., Краснокутский А. В. Устройство измерения качества каналов передачи цифровой информации // Патент на изобретение RU 2230437 C1, опубл. 10.06.2004, бюл. № 16.

31. Будко П. А., Федоренко В. В., Федоренко И. В., Шлаев Д. В. Модель сигнализации отклонений параметра при допусковом контроле // Патент на полезную модель RU 68736 U1, опубл. 27.11.2007, бюл. № 33.

32. Будко П. А., Виноградeнко А. М., Федоренко В. В. Кварцевый генератор // Патент на полезную модель RU 119187 U1, опубл. 10.08.2012, бюл. № 22.

33. Будко П. А., Веселовский А. П., Виноградeнко А. М., Жуков Г. А., Педан А. В., Фатюхин И. Н., Федоренко В. В. Устройство для сигнализации отклонений параметров при допусковом контроле // Патент на изобретение RU 2617982 C1, опубл. 28.04.2017, бюл. № 13.

34. Федоренко В. В., Будко П. А. Расчет эксплуатационных допусков на параметры каналообразующей аппаратуры // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2000. Т. 43. № 4 (454). С. 55-60.

35. Katzel J. Managing Alarms // Control Engineering. 2007. Vol. 54 (2). P. 50-54.

36. Takayama K., Kariya S. Autonomous Measuring by Sensing Node in Telemetry System // Measurement Science Review. 2003. Vol. 3. № 3. P. 29-32.

37. IRIG Standard 106-13. Telemetry Standards. New Mexico, Secretariat, Range Commanders Council, White Sands Missile Range Publ., 2013. 8 p.

38. Fedorenko V., Slyusarev V., Fedorenko I. Optimization of the alarm signaling system structure with limited time for information processing // Proc. 2nd Int. Conf. «International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)». Moscow. 2015. P. 7-9. DOI: 10.1109/EnT.2015.17.

39. Клячкин В. Н., Карпунина И. Н., Федорова М. К. Оценка стабильности температурного режима компьютера // Автоматизация процессов управления. 2016. № 3 (45). С. 58-64.

40. Джексон Р. Г. Новейшие датчики. – М.: Техносфера, 2007. – 384 с.

41. Однокристальные микроЭВМ. Справочник. – М.: МИКАП, 1994. – 400 с.

42. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Т. I, Т. II. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832 с.

43. Шило В. Л. Популярные микросхемы КМОП: Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 112 с.

44. Жуков Г. А. Методы весовой мажоритарной обработки дискретной информации при приеме по параллельным каналам // Техника средств связи. 1983. № 8. С. 74-84.

References

1. Nikolashin U. L., Mirishnikov V. I., Budko P. A., Zhukov G. A. Ensuring steady data exchange with autonomous underwater vehicles. *Sea radio electronics*, 2016, vol. 55, no. 55, pp. 44-49 (in Russian).

2. Budko P. A., Zhukov G. A., Vinogradenko A. M, Goydenko V. K. Determination of critical condition of a sea robotic complex according to the multi-stage procedure of control on the basis of use of veyvlet-transformations. *Sea radio electronics*, 2016, vol. 58, no. 4, pp. 20-23 (in Russian).

3. Budko N. P., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Doroshenko G. P., Rozhnov A. V., Mineev V. V., Muhin A. V. *Sposob raspredelennogo kontrolya i adaptivnogo upravleniya mnogourovnevoy sistemoy dlya ego osushestvleniya* [Way of the distributed control and adaptive management of multilevel system and the device for his implementation]. Patent Russia, no. 2450447, 2012 (in Russian).

4. Budko P. A., Risman O. V. *Mnogourovneviy sintez informatsionno-telecommunicatsionnih system: matematicheskie modeli I metody optimizatsii* [Multilevel synthesis of information and telecommunication systems: mathematical models and methods of optimization]. St. Petersburg, Military academy of communication of a name of the marshal of the Soviet Union S.M. Budenny, 2011. 476 p. (in Russian).

5. Vinogradenko A. M., Ladonkin O. V., Yurov A. S. The system of monitoring of technical condition of military mobile objects with use of wireless technologies. *T-Comm*: *Telecommunications and transport*, 2015, no. 1, pp. 51-55 (in Russian).

6. Budko P. A., Litvinov A. I. Kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 7, pp. 42-47 (in Russian).

7. Budko P. A., Litvinov A. I. Non-contact control and identification of technical condition of electric equipment of systems of power supply of industrial complexes. *Sensors & systems*, 2014, vol. 183, no. 8, pp. 5-10 (in Russian).

8. Vinogradenko A. M., Veselovsky A. P., Buryanov O. N. Operating control of technical condition of mobile electrotechnical objects. *Sovremennie problemy sozdaniya i ekspluatatsii vooruzeniya, voennoy i spetsialnoy tehniki. Tesisy dokladov III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern problems of creation and operation of arms, military and special equipment. Theses of reports of the III All-Russian scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2016, pp. 178-184 (in Russian).

9. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Buryanov O. N., Veselovsky A. P. Model of the automated control system of technical condition of land robotic complexes. *Problemy tehnicheskogo obespecheniya voysk v sovremennyh usloviyah. Tesisy dokladov II Mezhvuzovskoy nauchno-pakticheskoy konferentsii* [Problems of technical providing troops in modern conditions. Theses of reports of the II Interuniversity scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2017, pp. 145-149 (in Russian).

10. Vinogradenko A. M., Buryanov O. N., Veselovsky A. P. Way of operating control of technical condition of mobile specifics. *Nadezhnost i dolgovechnost*

mashin i mehanizmov. Tesisy dokladov VIII Vserossiyskoy nauchno-pakticheskoy konferentsii [Machines and mechanisms reliability and durability. Theses of reports of the VIII All-Russian scientific and practical conference]. Ivanovo, 2017, pp. 34-36 (in Russian).

11. Fedorenko V., Fedorenko I., Sukmanov A., Samoylenko V., Shlaev D., Atanov I. Modeling of data acquisition systems using the queueing theory. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 2017, vol. 74, pp. 83-87. DOI: 10.1016/j.aeue.2017.01.024.

12. Budko N. P., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I. *Sposob i ustroystvo avtomatizirovannogo kontrolya tehnicheskogo sostoyaniya elektrooborudovaniya* [Way and the device of the automated control of technical condition of electric equipment]. Patent Russia, no. 2548602, 2015 (in Russian).

13. Budko N. P., Budko P. A., Litvinov A. I., Vinogradenko A. M. Realization of a kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 8, pp. 37-44 (in Russian).

14. Budko P. A., Fomin L. A., Linets G. I., Rachkov V. E., Gaychuk D. V., Shlaev D. V. *Sposob avtomaticheskogo kontrolya I adaptivnogo upravleniya raspredelennoy sistemoy i ustroystvo dlya ego osushestvleniya* [Way of automatic control and adaptive management of the distributed system and the device for his implementation]. Patent Russia, no. 2312389, 2007 (in Russian).

15. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I., Yurov A. S. Way of monitoring of precritical condition of controlled objects. *Sensors & systems*, 2014, vol. 184, no. 9, pp. 8-14 (in Russian).

16. Vinogradenko A. M., Fedorenko I. V., Semenenko A. V. *Sistema dlya kontrolya tehnicheskogo sostoyaniya radioelektronnih ob'ektov* [System for control of technical condition of radio-electronic objects]. Patent Russia, no. 90916, 2010 (in Russian).

17. Vinogradenko A. M., Fidorenko I. V. *Sistema dlya kontrolya parametrov tehnologicheskih ob'ektov* [System for control of parameters of technological objects]. Patent Russia, no. 96676, 2010 (in Russian).

18. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I. Pilot studies of a kinetic control method and diagnostics of technical means. *Mechatronics, automation, control*, 2014, no. 9, pp. 53-58 (in Russian).

19. Fomin L. A., Budko P. A. Effectivnost' i kachestvo infokommunikatsionnih system. Metodi optimizatsii [Efficiency and quality of infocommunication systems. Optimization methods]. Moscow, Fizmathlit Publ, 2008. 400 p. (in Russian).

20. Nikolashin U. L., Budko P. A., Zhukov G. A. Brain-computer approach to the solution of the optimization problem of receiving information in the channel with variable parameters. *Neurocomputers*: *development*, *application*, 2016, no. 1, pp. 49-58 (in Russian).

21. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Zhukov G. A., Litvinov A. I. Integrated use of heterogeneous communication channels to control robotic systems on the basis of a unified system of radio monitoring. *H&ES Research*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 18-41 (in Russian).

22. Zherdev N. K., Kredentser B. P., Belokon' R. N. Kontrol' ustroystv na integral'nih shemah [Control of devices on integrated circuits]. Kiev, Technique, 1986. 96 p (in Russian).

23. Markov A. A., Bershadskaya T. N., Belousov N. A. Sposob nerazrushayushego kontrolya [Method of nondestructive control of products]. Patent Russia, no. 2184373, 2002 (in Russian).

24. Sukiyazov A. G., Prosyannikov B. N., Verbov M. V., Prosyannikov G. B. Ustroystvo beskontaktnogo opredeleniya tehnicheskogo sostoyaniya tiristorov istochnika pitaniya [The device for the contactless determination of the technical state of the thyristors of the power source]. Patent Russia, no. 2185632, 2002 (in Russian).

25. Sukiyazov A. G., Prosyannikov B. N., Verbov M. V., Prosyannikov G. B., Verbov V. F. Ustroystvo beskontaktnogo monitoring poluprovodnikovih elementov odofaznih I trehfaznih mostovih vipryamiteley [The device for the contactless monitoring of semiconductor elements single-phase and three-phase bridge rectifiers]. Patent Russia, no. 66820, 2007 (in Russian).

26. Budko P. A. Control method of a condition of a communication network on the basis of the two-stage procedure of decision-making. *Physics of wave processes and radio engineering systems*, 2003, vol. 6, no. 1, pp. 64-68 (in Russian).

27. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Melnikov N. M., Muhin A. V., Fedorenko I. V. *Ustroystvo avtomaticheskogo poiska kanalov radiosvyazi* [Device of automatic search of channels of a radio communication]. Patent Russia, no. 2450447, 2012 (in Russian).

28. Vinogradenko A. M., Fedorenko V. V. *Ustroystvo dlya izmereniya signalov* [The device for measurement of signals]. Patent Russia, no. 2354055, 2009 (in Russian).

29. Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Fedorenko I. V. *Ustroystvo dlya kontrolya radioelektronnih ob'ektov* [The device for control of radio-electronic objects]. Patent Russia, no. 2413977, 2011 (in Russian).

30. Budko P. A., Fedorenko V. V., Doroshev A. V., Krasnokutskiy A. V. *Ustroystvo izmereniya kachestva kanalov peredachy tsifrovoy informatsii* [Device of measurement of quality of channels of digital data transmission]. Patent Russia, no. 2230437, 2004 (in Russian).

31. Budko P. A., Fedorenko V. V., Fedorenko I. V., Shlaev D. V. *Model' signalizatsii otkloneniy parametra pri dopuskovom kontrole* [Model of the alarm system of deviations of parameter at dopuskovy control]. Patent Russia, no. 68736, 2007 (in Russian).

32. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Fedorenko V. V. *Kvartsevy generator* [Quartz resonator]. Patent Russia, no. 119187. 2012 (in Russian).

33. Budko P. A., Veselovskiy A. P., Vinogradenko A. M., Zhukov G. A., Pedan A. V., Fatyuhin I. N., Fedorenko V. V. *Ustroystvo dlya signalizatsii otkloneniy parametrov pri dopuskovom kontrole* [The device for the alarm system of deviations of parameters at dopuskovy control]. Patent Russia, no. 2617982, 2017 (in Russian).

34. Fedorenko V. V., Budko P. A. Calculation of operational admissions on parameters of the channel-forming equipment. *News of higher educational institutions. Radiotronics*, 2000, vol. 454, no. 4, pp. 55-60 (in Russian).

35. Katzel J. Managing Alarms. *Control Engineering*, 2007, vol. 54, no. 2, pp. 50-54.

36. Takayama K., Kariya S. Autonomous Measuring by Sensing Node in Telemetry System. *Measurement Science Review*, 2003, vol. 3, no. 3, pp. 29-32.

37. IRIG Standard 106-13. Telemetry Standards. New Mexico, Secretariat, Range Commanders Council, White Sands Missile Range Publ., 2013. 8 p.

38. Fedorenko V., Slyusarev V., Fedorenko I. Optimization of the alarm signaling system structure with limited time for information processing. *Proc. 2nd Int. Conf. «International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)»*. Moscow. 2015. P. 7-9. DOI: 10.1109/EnT.2015.17 (in Russian).

39. Klyachkin V. N., Karpunina I. N., Fyodorova M. K. To assess the stability of a temperature mode of the computer. *Automation of control processes*, 2016, vol. 45, no. 3, pp. 58-64 (in Russian).

40. Dzhekson R. G. *Noveyshie datchiki* [The latest sensors]. Moscow, Tehnosfera Publ., 2007. 384 p. (in Russian).

41. *Odnikristal'nie mikroEVM. Spravochnik* [Single chip microcomputers. Reference]. Moscow, MIKAP, 1994. 400 p. (in Russian).

42. Tietze U., Schenk Ch. *Poluprovodnikovaya shemotehnika* [Halbleiter-Schaltungstechnik]. Moscow, DMK Press, 2008. 832 p. (in Russian).

43. Shilo V. L. *Populyarnie mikroshemi KMOP. Spravochnik* [Popular chip CMOS. Reference]. Moscow, Hotline – Telecom, 2001. 112 p. (in Russian).

44. Zhukov G. A. Methods of weight the majority of processing of discrete information when receiving parallel channels. *Technique of communication*, 1983, no. 8, pp. 74-84 (in Russian).

Информация об авторах

Будко Павел Александрович – доктор технических наук, профессор. Ученый секретарь ПАО «Интелтех». Область научных интересов: управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. E-mail: budko62@mail.ru

Виноградeнко Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент. Докторант кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи. Область научных интересов: информационно-измерительные системы, сбор и обработка информации. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Кузнецов Сергей Владимирович. Главный конструктор «Информтехпроект». Область научных интересов: автоматизированные измерительные комплексы, сбор и обработка информации. E-mail: ksv@info-tp.ru

Гойденко Владимир Константинович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Адъюнкт кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи. Область научных интересов: информационно-измерительные системы, сбор и обработка информации. E-mail: lglvl@ya.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot

P. A. Budko, A. M. Vinogradenko, S. V. Kuznetsov, V. K. Goydenko

Problem definition: *during the operation of difficult multilevel systems, such as sea robotic complexes, their working capacity is always characterized by a large number of parameters which control is expedient to exercise in several stages. At the first stage on any generalized indicator carry out an inspection of system on working capacity and, in case of detection emergency, or a c at the subsequent stages as a result of more careful control with use of information of a local, regional or global contour of the organization of management judge her real state. Such procedure of control leads to considerable reduction of time of checks and volumes of the office information circulating in system.* ***The purpose of work*** *is elaboration of technical solutions on realization of a method of multilevel complex control of technical condition of the sea robotic complex allowing to perform diagnostics of pre-emergency and critical condition of the radio-electronic equipment of his subsystems in the on-line mode.* ***The used scientific and methodological framework.*** *The solution of a problem of control and diagnostics is based on carrying out monitoring of change of the average level of multiple parameter process by map development of Hotellinga. For combination of indications of various types sensors the method based on a grid of emissions and the Bayesian conclusion, modified for the creation of three-dimensional model of technical condition of the radio-electronic equipment of a robotic system on the basis of the surface of points is used.* ***Novelty.*** *Novelty aspects of the presented method of multilevel complex control are the fact that for making decision on the obtained measuring information carry out character-by-character weight majority addition of the signals which have arrived with weight coefficients from several types of sensors at the levels of a payment, the block and also module of the radio-electronic equipment. At the same time process of an integration of the measuring information arriving from the sensor of tension, the sensor of tension of magnetic field, the sensor of humidity of air and the thermal imager is carried out.* ***The method*** *of multilevel complex control of technical condition of a sea robotic complex working on the algorithm of the same name, the probabilistic count of recognition of technical conditions of the radio-electronic equipment and the circuit realization of the device which is carrying out the offered method and the block of decision-making in the form of structural, functional and basic schemes became result of the proposed technical solutions.* ***Practical importance:*** *offered method of multilevel complex control of technical condition of a sea robotic complex, the device of multilevel complex control of technical condition of the radio-electronic equipment and the block of decision-making allow to increase reliability of results of identification of technical condition of the radio-electronic equipment of subsystems of a robotic complex and to expand a scope of technical means of control and diagnostics.*

Key words: *robotic complex, radio-electronic equipment, multilevel control, diagnostics, identification, class of technical condition, integration of measuring information.*

Information about Authors

Pavel Aleksandrovich Budko – Dr. of Engineering, Full Professor. Scientific secretary PJC «Inteltech». Area of scientific interests: resource management of information and telecommunication systems. E-mail: budko62@mail.ru

Aleksey Mihaylovich Vinogradenko – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Associate Professor at the department of technical ensuring communication and automation. Military academy of communication. Area of scientific interests: information and measuring systems, data collection and processing. Tel. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Sergey Vladimirovich Kuznetsov – Chief designer «Informtekhproyekt». Area of scientific interests: the automated measuring complexes, data collection and processing. E-mail: ksv@info-tp.ru

Vladimir Konstantinovich Goydenko – Doctoral Student. The postgraduate student of the department of technical ensuring communication and automation. Military academy of communication. Area of scientific interests: information and measuring systems, data collection and processing. E-mail: lglvl@ya.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.