УДК 681.2 : 629.13

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БОРТОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2016 В.А. Прилепский[1], И.В. Прилепский[2]

[1]Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва
[2]АО «Авиаагрегат», г. Самара

Статья поступила в редакцию 10.06.2016

Статья посвящена актуальной проблеме математического и технического обеспечения технических требований и допускового контроля процессов производства и эксплуатации аэрокосмической и других отраслей техники на основе новейших научных разработок и методики оценки параметров технического состояния распределенных кабельно-жгутовых бортовых сетей автономных объектов. Представлено техническое решение существующих проблем и задач.
*Ключевые слова:* гиперграф, множество, оптимизация, система, локальный коммутатор, контроль, диагностика, техническое состояние, бортовая кабельно-жгутовая сеть.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные автономные объекты (АО) такие как воздушные, надводные и подводные суда, объекты ракетно-космической техники и др., имеют в своем составе многофункциональные комплексы бортового радиоэлектронного и электрооборудования. Их взаимодействие обеспечивается бортовой кабельной сетью (БКС), представляющей собой множество увязанных проводников в виде отдельных сборочных технологических единиц, соединенных взаимно на борту промежуточными разъемами, а оконечными разъемами подключенных к блокам бортового оборудования. Особенностью таких сетей и комплекса оборудования является то, что вторым проводом цепей питания, а также управляющих и информационных сигналов является нулевой провод, соединенный с корпусом АО. При этом разъемы для подключения контрольно-измерительных средств (КИС) находятся на значительных расстояниях, распределяясь по борту на десятки и сотни метров, а количество электрических цепей исчисляется десятками тысяч.

В настоящее время при проектировании БКС применяются САПР ElectriCS PRO 7 «Авиация», усовершенствованное программное обеспечение Electronic Computer-Aided Design (ECAD) (RSD, Creo-Schematics) и др., с помощью которых достигается достаточно высокая автоматизация и оптимизация процессов проектирования и монтажа на борту, и в значительной мере удовлетворяются современные конструкторско-технологические требования к БКС [1]. При этом такие требования как эксплуатационная технологичность, надежность, контролепригодность и др. не рассматриваются в силу отсутствия методик и рекомендаций. В результате проектируется БКС, представляющая собой множество неориентированных взвешенных графов, объединенных в гиперграф в процессе конструктивно-технологической сборки на борту АО. В итоге получется «гиперсеть», не поддающаяся простому анализу для полного и технологичного контроля на борту АО.

Применение существующих в мире тестеров и контрольно-измерительных средств [2,3], использование которых для БКС таких АО, представляет значительные технологические сложности, так как все они являются интегрированными в приборные стойки или блоки и не предусматривают процесс контроля распределенных структур. Таким образом, процесс контроля и диагностики неисправностей БКС на борту АО, как в производстве, так и в эксплуатации является проблематичным, не имеющим методической, технической и технологической основы.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

При проектировании БКС авиационной техники должны учитываться требования технических заданий Генеральных разработчиков, предъявляемые к средствам и методам контроля, а также к эксплуатационной технологичности при техническом обслуживании, к контролю работоспособности, поиску и локализации неисправностей. Некоторые из них представлены ниже:

- работоспособность БКС в эксплуатации должна контролироваться с помощью автоматизированных и внутренних средств контроля систем и оборудования, в соответствии с методи-

*Прилепский Василий Андреевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент Самарского национального исследовательского университета имени С.П. Королева. E-mail: 79276064720@yandex.ru*
*Прилепский Илья Васильевич, кандидат технических наук, руководитель службы информационных технологий Самарского предприятия АО «Авиаагрегат». E-mail: uit@aviaagregat.net*

ками допускового контроля и оценки состояния БКС;

- конструкция БКС, средства и методы контроля должны обеспечивать возможность выполнения работ по техническому обслуживанию, контролю работоспособности, поиску и локализации отказов;

- в зонах предусматривающих места для технического обслуживания должны быть установлены технологические соединители, через которые будет осуществляться подключение к корпусу летательного аппарата (ЛА) и т.д., при этом показатели эксплуатационной технологичности и ремонтопригодности системы должны удовлетворять требованиям:

- удельная суммарная трудоемкость технического обслуживания, $K_T \leq 0{,}0001$ чел.-ч/ч налет;

- среднее время восстановления, tв $\leq$ 0,7 ч;

- время замены элемента БКС, влияющего на задержку вылета, tз $\leq$ 0,17 ч.

Анализ БКС на различных АО показывает, что решение проблемы высокотехнологичных и экономически эффективных процессов контроля и диагностики неисправностей БКС требуют аналитического подхода на основе современного математического, технического и технологического обеспечения с учетом требований, сформулированных выше. Таким образом, в общей формулировке задача может быть сформулирована и решена на основе структурного математического анализа БКС, формирования конструктивно-технологических требований к КИС и оптимизации на основе структурного анализа и результатов решений с учетом минимизации стоимостных показателей контроля и диагностики технического состояния БКС.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определим БКС как конечное множество $H$ неориентированных графов, т.е. задан гиперграф $H = (V,E)$, где $Vi \subset V = \{v_i \mid i = 1,2,\ldots,n\}$ – множество вершин объединены по функциональному назначению в конструктивную область $P_n$ разъемных соединителей, а $E_j \subset E = \{e_j \mid \subset V, j = 1,2,\ldots,m\}$ – множество ребер, каждое из которых представляют физическую электрическую цепь и связывает некоторое подмножество вершин.

В процессе проектирования БКС базовыми компонентами являются множество графов $Gi \in G$, вершины и дуги которых определены схемой соединений в системе или комплексе оборудования. Но при формировании трасс БКС и компоновки этажерок, блоков, модулей и пр. оборудования на борту, дуги приобретают свой вес, а вершины компонуются бессистемным образом по месту расположения блоков, изменяя свой вес. В результате каждая вершина $v \in V$, и каждое ребро $e \in E$ характеризуются своими весами (идентификаторами – вершины, параметрами электрических цепей – ребра и другими характеристиками). Требуется осуществить декомпозицию [4] гиперграфа $H$ на подгиперграфы и назовем их зонами Z. Пусть $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Zq\}$ – множество декомпозиций сети $H$ на подмножестве графов $Gi \in Z_i \subset H$. Тогда $Z = \{Z_1, Z_2, \ldots, Zq\}$ – множество декомпозиций сети $H$ на зоны $Z_1, Z_2, \ldots, Zq$, такие, что $Z_1 \cap Z_2 \cap \ldots \cap Zq = \emptyset$, и $\bigcup_{i=1}^{q} Zi = Z$. Пусть каждая декомпозиция $Zi$ включает подмножество графов $Zi = \{G_i^1, G_i^2, \ldots, G_i^n\}$, $n = |V|$.

Тогда задача разбиения сети $H$ на $q$ непересекающихся зон заключается в получении композиций приблизительно одинаковой мощности $Z_i \subset Z$, удовлетворяющих условиям [5]:

$$\left.\begin{array}{c} (\forall Z_i \in Z)(Z_i \neq \emptyset), \\ (\forall Z_i, Z_j \in Z)([Z_i \neq Z_j \rightarrow V_i \cap V_j = \emptyset] \wedge \\ \wedge[(E_i \cap E_j = E_{ij}) \vee (E_i \cap E_j = \emptyset)]), \\ \bigcup_{i=1}^{q} Z_i = Z, \bigcup_{i=1}^{m} E_i = E, \bigcup_{j=1}^{n} V_j = V, \ |E_{i,j}| = K_{i,j} \end{array}\right\} \quad (1)$$

Выполнение этих условий в реальной задаче возможно, но при этом еще необходимо выполнить ряд технических требований, сформулированных выше. Поэтому будем говорить о нахождении минимального сечения при разбиении.

Целевая функция для разбиения сети $H$ на композиции запишется так:

$$K = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} K_{i,j}\ , K \rightarrow optmum, \qquad (i \neq j). \quad (2)$$

Где $K$ – суммарное количество связей при декомпозиции на зоны; $q$ – количество зон в сети, его значение зависит от мощности гиперграфа $H$ и декомпозиционных ограничений, которые определим таким образом, чтобы вес каждого подгиперграфа при разбиении $w(V_i^q) = \sum_{v \in Vi} w(vq)$ находился в следующих значениях:

$$P_{i\,min} \leq w(V_i^q) \leq P_{i\,max},\ i = \overline{1,k}\ . \qquad (3)$$

$P_{i\,min}$, $P_{i\,max}$ – минимальные и максимальные вершинные веса подгиперграфов при разбиении гиперграфа на зоны, которые варьируются и определяются спецификой *БКС* и технологическими возможностями *КИС*. Решение задачи можно выполнить в два этапа:

- разбиение гиперграфа на непересекающиеся подмножества с минимальными сечениями;

- нахождение минимальных и максимальных значений вершинных весов подгиперграфов и формирование зон контроля, удовлетворяющие техническим и экономическим показателям процесса контроля.

1. Пусть для каждого ребра $e \in E$ определена весовая функция $w_e : E \to Z, w_e > 0$, а для каждой вершины гиперграфа $v \in V$ определена весовая функция $v_e : V \to R$. Тогда задача оптимизации разбиения гиперграфа на зоны, заключается в нахождении таких минимальных сечений и построению таких непересекающиеся декомпозиций $P_i \subset V, B \subset V, V = A \bigcup B, \bigcup_{i=1}^{q} P_i = Z$, что для ребер, принадлежащих разрезу $\psi = ((u,v) \in E: u \in P, v \in B)$ минимизируется целевая функция (2) как функция минимизации стоимости [6]

$$\mathrm{CutCost}(\psi) = \sum_{e \in \psi} w_e(e). \qquad (4)$$

при выполнении условий (1), балансовых ограничений [6] и технических требований с использованием алгоритмов многоуровневой иерархической декомпозиции гиперграфовых и графовых моделей. Решение таких задач требует значительных вычислительных затрат и зависит от мощности выделяемых зон и весовых значений подгиперграфов, которые в свою очередь определяют технические требования к КИС и технологичность процесса контроля, т. е. необходимо найти такие минимальные и максимальные веса подгиперграфов (3) при которых функция (4) принимает минимальные значения.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Известны варианты решения задачи разбиения множества вершин гиперграфа на совокупность непересекающихся подмножеств. В [7] рассмотрен один из вариантов её решения посредством алгоритма последовательного разрезания гиперграфа. Результатом работы этого алгоритма является множество вершин куска (зоны) гиперграфа или, для данной задачи, множество вершин выделяемой зоны $V_l \leftrightarrow Z_l$, где $Z_l$ – множество компонентов сформированной зоны.

Множество вершин $V_l \leftrightarrow Z_l$ может быть также получено, например алгоритмом выделения минимальных массивов гиперграфа [7]. При этом ограничением является условие (3). После окончания процесса декомпозиции необходимо проверить условия:

$$\bigcup_{l \in L} V_l = V, V_l \cap V_p = \emptyset, l, p \in L, l \neq p.$$

Оценку эффективности использования операций над упорядоченными множествами выполним на примере формирования множества $X_l$ последовательным алгоритмом. Это объясняется тем, что алгоритм выделения минимальных массивов гиперграфа сложен, а вычислительная сложность его реализации зависит от распределения связей между компонентами разбиения и может быть в пределе экспоненциальной.

После определения $V_l$ основными проектными процедурами, реализующими процесс декомпозиции, являются: выделение части схемы, удаление её из разрезаемой схемы и повторный запуск алгоритма. Включим в процесс также контрольную операцию:

$$\forall_i = 1(|V|_i - 1)(v_i \neq v_i + 1),$$

проверяющую возможность такого искажения информации, при которой один и тот же компонент системы будет указан неоднократно.

Таким образом, процесс декомпозиции структуры системы будет состоять из следующих процедур [8]:

1. Определение $V_l^к = V_l$ последовательным алгоритмом разрезания гиперграфа.

2. Проверка условия

$$\forall_i = 1(|V|_i - 1)(v_i \neq v_i + 1).$$

3. Формирование куска (зоны) гиперграфа.

4. Удаление куска $H_l^к(V_l^к, U^{lк})$ из модели системы (гиперграфа после первого применения алгоритма разрезания и куска гиперграфа в дальнейшем).

5. Проверка условия окончания процесса декомпозиции $|V_{ост}^к| > n_l$, где $V_{ост}^к$ – множество оставшихся вершин гиперграфа (ещё не скомпонованных элементов системы), $n_l$ – допустимое количество компонентов подсистемы. При выполнении условия – переход к п. 1, в противном случае – к п. 6. ($U_l^к$).

6. Проверка условий

$$\bigcup_{l \in L} V_l = V, V_l \cap V_p = \emptyset, l, p \in L, l \neq p.$$

процесса в функции от мощности множеств $V$, ($V_l^к$), $U$, ($U_l^к$), *Гv и Гu,* учитывая только операции сравнения.

Таким образом, применяя последовательный алгоритм разрезания гиперграфа [8] получаем множество зон, удовлетворяющих ограничениям (3).

Но предельные значения этих ограничений связаны с минимизацией стоимости не только процесса разбиения, но и, прежде всего, процесса контроля. Таким образом, предельные значения ограничений (3) и оптимизация зон контроля определяющим образом связана с процессом контроля и его техническим и технологическим обеспечением.

Определение максимальных и минимальных значений зон контроля связано с конструктивными, техническими, эксплуатационными и другими особенностями БКС АО. Решение этого вопроса на данный момент можно отнести к эвристическим методам. При этом для удовлетворения функции минимизации стоимости (4) их значения могут варьироваться в широких пределах. Исходя из выше изложенного, можно сделать выводы и сформулировать требования к техническим и технологическим средствам обеспечения

контроля и диагностики БКС в виде гибкости конфигурации контрольно-измерительных средств по числу контролируемых точек в соответствии с полученными аналитическими результатами для конкретного БКС АО, а следовательно:

- модульное исполнение, автономность, мобильность, наличие вычислительных ресурсов и контрольно-измерительных возможностей каждого модуля;
- технологичность подключения, простота эксплуатации и эксплуатационная надежность процесса.

В тоже время комплектация КИС должна быть такой, чтобы максимально удовлетворяла функции цели (4). Эта задача решается на основе теории образов и подобий, что выходит за рамки данной статьи по объему изложения.

## ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Техническим решением системного анализа и выводов, изложенных выше, предлагается схема автоматизированной системы контроля параметров бортовых кабельно-жгутовых сетей автономных объектов, основным функциональным модулем которой является бортовой тестер [9] в модифицированном варианте. Он включает в себя радиоканал обмена информацией, микроконтроллер, устройства, реализующие алгоритмы вычисления допустимых пределов параметров по каждой цепи, измерения и контроля заданных параметров, а также гибкое управление коммутаторами с переключением режимов их работы в различные состояния в соответствии с режимами контроля и алгоритмами управления.

В целом система максимально реализует технологические, эксплуатационные и технические требования допускового контроля БКС, включая требования контроля к металлизированным соединениям однопроводных цепей в сети автономных объектов.

Система представляет собой распределенную сеть локальных контрольно-измерительных коммутаторов, реконфигурируемую под выделенную оптимальную зону контроля для подключения

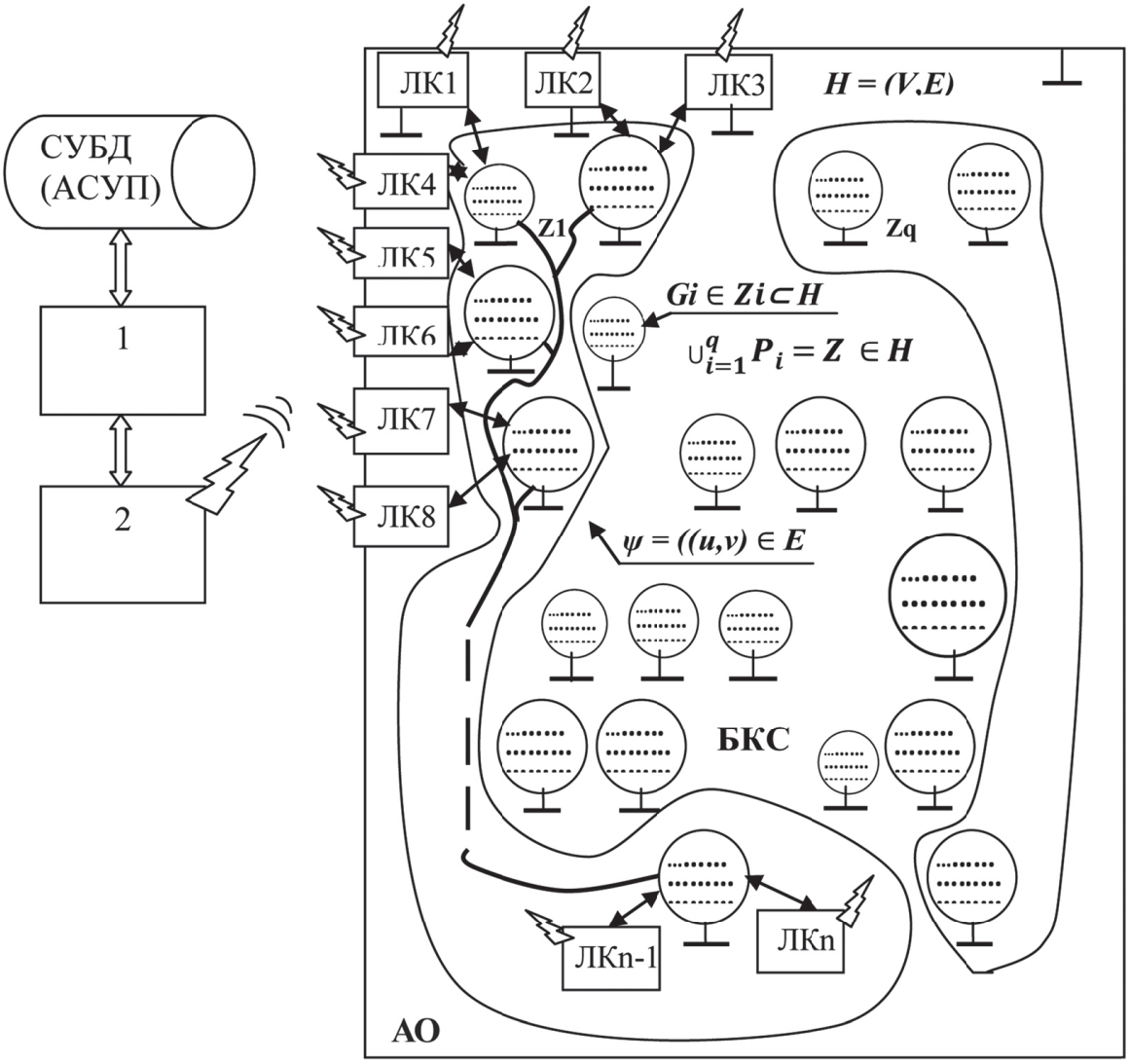


**Рис. 1.** Автоматизированная система контроля и диагностики на алгебраической структуре выделенной зоны БКС АО

контрольно-измерительных средств на борту АО и объединенную в единую вычислительную сеть радио каналом. Каждый локальный коммутатор подключается непосредственно к разъемам БКС или с применением коротких переходных кабелей по месту их расположения на борту АО.

С целью однозначности понятий будем понимать под модулями и блоками функциональные реализации различного исполнения - схемотехнического, конструктивного, программного и пр.

Система работает следующим образом. В блок 1 из базы данных (СУБД) вводится таблица соединений в адресах объекта контроля с информацией о сечении, длине и типе провода, на основании которой рассчитываются сопротивления электрических цепей. С учетом стыковочных карт таблица соединений преобразовывается в адреса подключаемых разъемов локальных контрольно-измерительных коммутаторов ЛК1 ... ЛКn. Причем цепи контроля сортируются так, чтобы последовательность коммутации контрольно-измерительных сигналов обеспечивалась в определенном порядке по локальным коммутаторам, и программа контроля с управляющей информацией посредством блока 2 сетевого обмена по радиоканалу передается в контроллер для управления и вычисления.

Блок 1 общего управления обеспечивает выполнение алгоритмов работы режимов системы, основными из которых являются:

- режим “КОНТРОЛЬ Ra” контроля правильности монтажа и сопротивления электрических цепей,
- режим “КОНТРОЛЬ Rиз“ контроля сопротивления изоляции проводников бортовых кабельно-жгутовых сетей,
- режим ”КОНТРОЛЬ Rк“ контроля металлизированного заземления на корпус,
- другие при необходимости режимы за счет увеличения коммутирующих элементов в коммутаторах выбора режимов.

Каждый локальный коммутатор является автономным контрольно-измерительным тестером взаимодействующими друг с другом по магистрали информационного обмена по выполнению общей задачи автоматического контроля бортовой кабельно-жгутовой сети. Каждый из контроллеров локальных коммутаторов обрабатывает свой массив информации и в процессе контроля для каждой контролируемой цепи, назначает предел допуска параметров и передает в соответствующий блок задатчика допустимых пределов параметров. Блоки контроля, измерения и сравнения, измеряя параметры своей контролируемой цепи, сравнивают их значения с заданными допусками и выдают в соответствующий свой блок управления и вычисления результаты допускового контроля по принципу «НОРМА»/«НЕ НОРМА». При этом выходные точки разъемов локальных коммутаторов по контролируемым точкам объединены корпусом посредством коммутирующих элементов коммутаторов входа/выхода, а контрольно-измерительные шины ЛК1 ... ЛКn могут подключаться к выходным точкам в пределах каждого своего коммутатора.

Процесс контроля происходит по кадрам, т.е. по отдельным электрическим цепям, имеющим любое сочетание входов – выходов на подключенные разъемы, при этом если один из адресов проверяемой цепи подключен, например, на первый локальный коммутатор ЛК1, то он назначается ведущим и подключает точку входа – выхода на контрольно-измерительную шину, на которую с блока контроля и измерения выдается сигнал от источника стабилизированного тока определенного значения, существенно превышающего значения помех в корпусе и длинных цепях. Далее блок ЛК1 производит поиск адресов перемычек параллельно-последовательной коммутацией на корпус всех точек входа выхода. При появлении тока фиксируется адрес и значение уровня напряжения на контролируемой цепи, вычисляется значение электрического сопротивления и сравнивается с заданным значением с учетом допустимых отклонений. Таким образом, реализуется метод допускового контроля, при этом заданное значение формируется исходя из расчетных значений по таблице соединения на каждую цепь из базы данных или по техническим требованиям на объект контроля в виде значения максимально/минимально допустимого порога. В этом случае корпус объекта контроля не используется, так как цепи находятся в одном разъеме. Если эта цепь замыкается на один или несколько контактов других разъемов ЛК, то, в соответствии с алгоритмом, ведущий ЛК1, взаимодействуя, например, с ЛК2, параллельно последовательным поиском находит адреса электрических цепей и ведущий блок. Аналогичным образом производится допусковый контроль параметров всех цепей данного кадра контроля. При этом контур контрольно-измерительной цепи образовывается от контрольно-измерительной шины ЛК1 через цепь объекта контроля, корпус ЛК2, корпус автономного объекта, корпус ЛК1 и измеряется, сравнивается и анализируется в блоке ЛК1 и т. д. В заключение этого режима от ведущих блоков ЛК1 ... ЛКn принимается отчет блоком общего управления 1 и формируется протокол проверки бортовой кабельной сети по режиму “КОНТРОЛЬ Ra”.

В режиме ”КОНТРОЛЬ Rк“ проверка переходных сопротивлений металлизированных соединений на корпус производится только для цепей, имеющих выходы на технологические разъемы, соединенные своими контактами и проводниками минимальной длины и номинальным

сечением, исключающими значимой погрешности на процесс измерения.

При работе в режиме "КОНТРОЛЬ Rиз" в исходном состоянии все ключи каждого ЛК1 … ЛКn замкнуты на корпус, а все адреса контролируемой цепи в каждом из этих блоков коммутируются на контрольно-измерительную шину. Таким образом, изолируется контролируемая цепь от корпуса и всех цепей объекта контроля и контролируется последовательно сопротивление изоляции всех цепей объекта контроля.

При контроле кабельно-жгутовых изделий вне борта автономного или другого любого объекта контроль параметров производится аналогично другим системам [3,4], при этом все функции управления процессами контроля и обработки информации обеспечивает блок 1 общего управления. В этом случае контрольно-измерительные операции может выполнять каждый из локальных контрольно-измерительных коммутаторов ЛК1 … ЛКn, на которые приходят адреса контролируемой цепи по алгоритму блока 1 общего управления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработчики тестеров и систем в основном решают задачи комплексного применения разработанных контрольно-измерительных средств для широкого круга задач в различных областях промышленности (авиация, железнодорожный транспорт, энергетика и др.), что влечет за собой увеличение массогабаритных характеристик и стоимости оборудования [1,7].

2. Не все из анализируемых тестеров и систем учитывают специфику контроля и диагностики авиационной техники, представляют собой контрольно-измерительные комплексы для научных исследований и не учитывают такие важные параметры как технологичность и эксплуатационная надежность КИС. Также в контур контрольно-измерительной цепи в процессе контроля не включается корпус АО как часть контролируемых эл. цепей и т. д. [1,2,3,7].

3. В настоящее время нет системного подхода к решению изложенных проблем по выполнению всех требований генеральных разработчиков АО к БКС, а также Методических руководящих материалов для предприятий изготовителей таких объектов.

4. Большинство систем имеет сложность описания программы контроля для контролируемых объектов и значительные временные затраты на технологическую подготовку и подключение объекта контроля.

## ВЫВОД

Представленные в статье решения существующих проблем и техническая реализация возникающих задач при удовлетворении современных требований к БКС в значительной мере оптимизируют процессы контроля и диагностики неисправностей на борту АО, повысят качество и эксплуатационную технологичность процесса контроля и диагностики как БКС, так и объекта, а в целом существенно снизят себестоимость этих процессов и эксплуатационные расходы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Биктулов С.В.*, *Чупахин Я.Н.* Разработка высокотехнологичных бортовых кабельных сетей самолётов // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 1(5). С. 1309 - 1315.
2. *Сидоров С.* Тесты тестеров. Тестеры проводного монтажа: новости архитектуры построения и сложности выбора // Технологии в электронной промышленности. М. 2015. Т. 4. № 80. С. 64 - 67.
3. *Зайченко С., Сидоров С.* Электрическое тестирование жгутов и кабелей. Подключающие устройства: коммутационные панели или переходные кабели // Технологии в электронной промышленности. М. 2015. Т. 6. № 82. С. 60 - 63.
4. *Тышкевич Р.И., Скумс П.В., Суздаль С.В.* Алгебраическая теория декомпозиции графов // Тр. Ин-та матем. 2010. Т. 18. № 1. С. 99 – 115.
5. *Курейчик В.В.* Алгоритмы разбиения графа на основе генетического поиска. Материалы VI Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные системы» // Известия ТРТУ. Темат. вып. 2007. С. 97 - 104.
6. *Русаков А.С., Шеблаев М.В.* Оптимизация алгоритма разбиения гиперграфа с произвольными весами вершин // Вычислительные методы и программирование. Научно-исследовательский вычислительный центр МГУ им. М.В. Ломоносова. М. 2014. Т. 15. Вып. 3. С. 400 - 410.
7. *Кириллов В. Ю.*, *Слипаченко А.А.* Проектирование бортовой кабельной сети современного летательного аппарата [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Труды МАИ». 2012. Вып. № 59. С. 1 – 7. URL: http://www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения 14.05.2016).
8. *Овчинников В.А., Иванова Г.С.* Оценка эффективности применения операций над упорядоченными множествами [Электронный ресурс]// Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». 2011. URL: http://www.technomag.edu.ru/doc/239406.html (дата обращения 14.05.2016).
9. Бортовой тестер для контроля качества электрических цепей распределенных сетевых структур / *В.А. Прилепский, С.И. Евклидов, И.В. Прилепский, А.А. Марков, А.А. Миненков* // Авиационная промышленность. М. 2009. № 4. С. 59 - 61.
10. *Топольский Н.Г., Трефилов Г.Б., Сатин А.П.* Алгоритмы многоуровневой иерархической декомпозиции гиперграфовых и графовых моделей причинно-следственных связей в АСУ безопасно-

стью критически важных объектов [Электронный ресурс] // Технологии техносферной безопасности. Интернет-журнал. Вып. № 5. 2009. URL: http://ipb.mos.ru/ttb (дата обращения 14.05.2016).

## SYSTEM ANALYSIS, OPTIMIZATION OF STRUCTURE AND TECHNOLOGIES OF CONTROL PROCESSES AND DIAGNOSTICS OF ONBOARD CABLE SYSTEMS OF AUTONOMOUS OBJECTS

© 2016 V.A. Prilepskiy[1], I.V. Prilepskiy[2]

[1] Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov
[2] JSC Aviaagregat, Samara

The article is devoted to current problem of mathematical and technical support of technical requirements and tolerancing of production processes and operation in aerospace industry and other branches based on recent scientific developments and estimation procedure of parameters of technical condition of distributed harness onboard systems of autonomous objects. Technical decision of existing problems and tasks is provided.
*Keywords:* hypergraph, multiplicity, optimization, system, local switch, monitoring, diagnostics, technical condition, onboard cable system.

*Prilepskiy Vasiliy, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov.*
*E-mail: 79276064720@yandex.ru*
*Prilepskiy Ilja, Candidate of Technical Sciences, Head of IT Department of Samara Enterprise JSC Aviaagregat.*
*E-mail: uit@aviaagregat.net*