

На правах рукописи



Хакимов Дмитрий Валерьевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СТРУКТУРЫ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСОВ
БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ,
ПОСТРОЕННЫХ НА ПРИНЦИПАХ
ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ульяновск – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»,
Киселев Сергей Константинович

Официальные оппоненты: **Смагин Алексей Аркадьевич**,
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Телекоммуникационные технологии и сети» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

Камалов Леонид Евгеньевич,
кандидат технических наук, специалист по комплексным ИТ-решениям ООО «Региональный центр АСКОН-Волга»

Ведущая организация: **АО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения»**

Защита состоится «14» марта 2018 г. в «12» час. «00» мин. на заседании диссертационного совета Д212.277.01 при ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, главный корпус).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет».

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ваши отзывы и замечания по автореферату (в двух экземплярах), заверенные печатью, просим направлять в адрес университета: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, ученому секретарю диссертационного совета Д212.277.01.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д212.277.01
доктор технических наук, профессор



Смирнов В. И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современной и самой перспективной архитектурой построения авионики на сегодняшний день является интегральная модульная авионика (ИМА). Еще в 1990-х годах 20-го века были сформированы базовые принципы построения авионики такого типа. Однако практическое применение этой технологии требует сильного изменения всех принципов проектирования комплексов бортового оборудования (КБО). В результате этого первые экземпляры систем, основанных на принципах ИМА, появились на мировом рынке только в 2000-х годах 21-го века, причем эти системы не являлись полноценными представителями ИМА, а были гибридом федеративной и интегральной модульной архитектур. При этом черт характерных для федеративной архитектуры было больше, чем ИМА, т.к. реализовывалась только часть основных принципов построения архитектуры ИМА.

В 2004 году ФГУП «ГосНИИАС» впервые сформировал предложение провести комплекс НИОКР в которых должны быть определены основные принципы проектирования авионики по технологии ИМА.

Для модернизации, существующей и разработки перспективной авионики действует ряд государственных программ:

- Государственная программа Российской Федерации «Развитие авиационной промышленности на 2013-2025 годы», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 303;
- Государственная программа Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 декабря 2012 г. № 2396-р;
- Федеральная целевая программа «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011-2020 годы», утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.05.2011 № 912-рс.

Для успешной конкуренции на мировом рынке авионики был внедрен ряд отраслевых стандартов, которые представляют собой аналоги зарубежных нормативных документов межгосударственного уровня. В первую очередь это:

- Руководство Р-297 по вопросам разработки и квалификации интегрированной модульной авионики;
- Руководство Р-4761 по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации;
- Руководство Р-4754 по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации.

Данные руководства предприятия обязаны использовать при разработке КБО ИМА и это вносит значительные изменения в процесс проектирования систем нового поколения.

Выполнение требований и процедур нормативной документации позволяет придать разрабатываемой авионике такие свойства, благодаря которым она не только пройдет сертификацию, но и будет конкурентоспособной.

К новым задачам, которые возникли при переходе к разработке на принципах ИМА, относится задача построения структуры функций КБО. В результате того, что архитектура ИМА позволяет реализовать принцип независимости программной платформы комплекса от аппаратной появилась необходимость построения и оптимизации структуры функций комплекса. Целью построения структуры функций является не только обеспечение требуемого уровня функциональности, но и достижение высоких эксплуатационных характеристик КБО.

В федеративном КБО все функции имеют жесткую аппаратную привязку. В связи с этим как такового процесса проектирования структуры функций нет, т.к. процесс проектирования аппаратной части комплекса естественным образом приводит к формированию структуры функций.

Перед разработчиками КБО ИМА возникла трудоемкая задача, которая носит сложный комплексный характер. Процесс проектирования структуры функций КБО не автоматизирован и выполняется на сегодняшний день практически вручную.

Таким образом, исследование принципов построения и критериев оптимизации структуры функций КБО и методов ее формирования является актуальной задачей.

Цель диссертационной работы состоит в развитии:

1. Методов повышения эффективности разработки КБО строящихся на основе архитектуры ИМА на ранних стадиях процесса проектирования;
2. Методов построения и оптимизации структуры функций КБО ИМА;
3. Систем автоматизированного проектирования для построения и оптимизации структуры функций КБО ИМА.

В соответствии с обозначенными целями в работе поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Проведен анализ и выявлены основные принципы развития структур КБО, показаны отличительные особенности комплексов, проектируемых на основе интегральной модульной авионики;
2. Установлены изменения, которые необходимо внести в процесс проектирования, для получения более оптимальных решений структур КБО на основе интегральной модульной авионики – выделение и обособление процедуры проектирования структуры функций КБО;
3. На основе анализа определенных нормативными документами процессов проектирования и оценки безопасности авионики определено место процедуры проектирования структуры функций в общем процессе проектирования КБО, определены исходные данные, требования и ограничения для реализации данной процедуры;
4. Построена модель процесса проектирования КБО ИМА, включающая процедуру проектирования структуры функций;
5. Предложена модель структуры функций КБО, с использованием которой данная структура оптимизируется для достижения требуемых технических характеристик КБО ИМА, разработаны критерии оценки оптимальности и сравнения различных вариантов конфигурации структур функций комплекса;

6. Разработан общий алгоритм построения структуры функций КБО для автоматизации данной процедуры при проектировании КБО в формате ИМА;

7. Проведено исследование алгоритма автоматизации проектирования структуры функций КБО на примере типового КБО. Показана эффективность использования полученных решений для поиска оптимальных структур функций КБО;

8. Предложены варианты реализации систем автоматизации проектирования (САПР) для автоматизации построения структуры функций КБО.

Объектом исследования в диссертационной работе является процесс проектирования КБО. **Предметом исследования** является структура КБО, степень ее эффективности, методы проектирования.

Методы исследования, примененные при написании диссертационной работы, базируются на принципах композиционного проектирования, теории алгоритмов, теории и методах САПР, теории надежности.

Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:

1. Модель процесса проектирования КБО ИМА, в которой задача построения структуры функций КБО выделена в отдельную проектную процедуру, что позволяет формализовать и типизировать ее, предложить математическое описание и алгоритм решения.

2. Графовая модель структуры функций КБО, которая связывает множество входных и выходных параметров функций и их групп, необходимые для их реализации вычислительные мощности, нагрузку на сеть передачи данных и позволяет определять основные параметры аппаратного обеспечения (АО) и программного обеспечения (ПО) КБО, реализующих данную структуру функций.

3. Формулировка задачи достижения заданных функциональных характеристик КБО ИМА через оптимизацию структуры функций, критерии оценки оптимальности и сравнения различных вариантов конфигурации структур функций комплекса.

4. Общий алгоритм построения структуры функций КБО, который позволяет автоматизировать данный процесс при проектировании КБО ИМА и решить задачу поиска оптимальной по заданным характеристикам структуры функций и частные алгоритмы минимизации количества функций и формирования групп функций (ГФ) в структуре.

5. Результаты вычислительного исследования алгоритма оптимизационного построения структуры функций типового КБО, подтверждающие возможность получения локально-оптимальных решений, обладающих при определенных сочетаниях параметров структуры на 10-20% лучшими характеристиками, чем следует из общей тенденции изменения исследуемых характеристик.

Новизна научных положений состоит в следующем:

1. Модель процесса проектирования КБО ИМА, в которой задача построения структуры функций КБО выделена в отдельную проектную процедуру позволила формализовать и типизировать ее, предложить математическое описание и алгоритм решения.

2. Впервые предложена и обоснована постановка задачи достижения заданных функциональных характеристик КБО ИМА через оптимизацию структуры функций, впервые предложены критерии оценки оптимальности и сравнения различных вариантов конфигурации структур функций комплекса.

3. Алгоритм построения структуры функций, позволяет автоматизировать данный процесс при проектировании любого сложного аппаратно-программного комплекса.

4. Определено существование локально-оптимальных по функциональным характеристикам технических решений КБО ИМА, обладающих при определенных сочетаниях параметров структуры функций на 10-20% лучшими характеристиками, чем следует из общей тенденции их изменения.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в возможности применения ее результатов для создания средств САПР КБО ИМА на этапе проектирования структуры функций.

Применение алгоритма построения и оптимизации структуры функций КБО позволяет эффективно провести работы по формированию структуры комплекса на ранних стадиях процесса проектирования, что в итоге приводит к:

- снижению количества ошибок на ранних стадиях проектирования;
- снижению трудозатрат на устранение ошибок, совершенных на ранних стадиях проектирования;
- снижению временных затрат на устранение ошибок, совершенных на ранних стадиях проектирования;
- повышению эффективности выполнения работ в рамках эскизного этапа проектирования;
- сокращению общего времени проектирования КБО;
- снижению стоимости процесса проектирования.

Процесс построения и оптимизации структуры функций КБО позволяет произвести первичную оценку уровня отказобезопасности в соответствии с «Руководством Р-4761 по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации» и «Руководством Р-4754 по сертификации сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации» до завершения процессов эскизного проектирования. Это позволяет сформировать требования по применению методов повышения надежности и отказобезопасности выполнения функций на ранних стадиях проектирования и дальнейшую разработку КБО производить с учетом данных требований.

Достоверность результатов. Достоверность проведенных теоретических исследований обеспечивается математическим обоснованием и результатами вычислительных экспериментов по разработанным моделям и алгоритмам.

Реализация и внедрение результатов работы. Научные и практические результаты использованы при разработке аэродромного радиолокационного комплекса «Валдай» на Научно-производственном предприятии «Цифровые радиотехнические системы» г. Санкт-Петербург.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической

конференции «Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы», 2013 г.; VI Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника», 2014 г.; 13-й Международной конференции «Авиация и космонавтика», 2014 г.; VI Всероссийском школе-семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых «ИМАП-2014»; V Всероссийском конгрессе молодых ученых «ВКМУ», 2016 г.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и показана необходимость обособленного выполнения процесса проектирования структуры функций КБО ИМА. А также необходимость разработки методов и алгоритмов автоматизации данного процесса.

В первой главе проведен анализ развития структур КБО, показано как проблемы независимой и федеративной архитектур привели к созданию и развитию концепции ИМА. Работы по проектированию КБО на основе принципов ИМА ведутся уже более 20 лет, в настоящее время структура АО всех КБО ИМА в достаточной степени типизирована и представляет собой резервированный крейт с набором модулей. Однако, существующие КБО ИМА не обладают рядом желаемых свойств: применением только унифицированных модулей, поддерживающих многозадачный режим эксплуатации; открытой архитектурой АО и ПО; независимостью ПО и АО.

Причиной этого является отсутствие процесса и отлаженных методов проектирования, учитывающих в полной мере особенности построения КБО ИМА. Для процесса проектирования КБО на принципах независимой и федеративной архитектур характерно масштабное применение принципа наследования технических решений, что позволяет гарантировать качество создаваемого изделия, его отказобезопасность и сохранять достаточно высокий уровень оптимизации структуры комплекса в целом.

Использование принципов организации КБО предыдущих типов при разработке комплекса, создаваемого на принципах ИМА (их наследование), в значительной степени нивелирует преимущества архитектуры ИМА, уровень оптимизации структуры КБО ИМА оказывается низким.

Для достижения максимальных преимуществ структуры ИМА требуется минимизировать использование принципов организации предыдущих типов архитектур, для чего необходимо разработать метод проектирования, который позволит оптимизировать структуру КБО ИМА и гарантировать его соответствие требованиям качества и отказобезопасности.

Для решения поставленной задачи предложено использовать концепцию иерархического превосходства структуры функций над структурами ПО и АО. Для этого введено понятие архитектуры функций комплекса и поставлена задача разработки метода автоматизированного оптимизационного проектирования структуры функций КБО.

Во второй главе на основе анализа нормативной документации регламентирующей типовую процесс проектирования КБО ИМА; типового процесса проектирования комплексов, выполняемого с учетом требований Руководства Р-

4754 и Руководства Р-4761 и процесса оценки безопасности комплекса, выполняемого согласно руководству Р-4761, а также типового ТЗ на ОКР по разработке КБО ЛА показано, что:

- исходными данными для проектирования структуры функций КБО являются перечень обобщенных функций верхнего уровня и первичные данные об их структуре, которые могут быть получены из раздела "Тактико-технические требования» ТЗ, также в данном разделе ТЗ определен перечень серийных систем, обязательных к использованию в составе комплекса;

- при проектировании структуры функций КБО должны учитываться данные об уровнях гарантии проектирования (УГП) функций, а также требования по применению дополнительных мер повышения отказобезопасности, представленные в документах «Оценка функциональных опасностей (ФНА)», «Предварительная оценка безопасности (PSSA)» и «Анализ общих причин отказов (ССА);

- проектирование структуры функций комплекса ИМА в типовом процессе разработки должно проводится между процессами анализа ТЗ и анализа безопасности и процессом схмотехнического проектирования.

Построена модель процесса проектирования КБО ИМА, включающая процедуру проектирования структуры функций, рисунок 1.

Выделение и обособление проектирования структуры функций в отдельный процесс при разработке КБО позволяет оптимизировать данную структуру, формировать требования по применению методов повышения надежности и отказобезопасности выполнения функций на ранних стадиях проектирования и дальнейшую разработку КБО производить с их учетом.

В третьей главе, на основе анализа федеративной архитектуры КБО и существующей аппаратуры КБО ИМА предложено разделение АО комплекса на две группы:

- специализированное АО;
- универсальные вычислительные модули (ВМ).

По аналогии предложена соответствующая классификация функций комплекса:

- специализированные функции;
- вычислительные функции.

Основным элементом архитектуры функций готового комплекса является ГФ. А его структура функций представляет из себя некоторое количество ГФ взаимосвязанных между собой.

Для отображения структуры функций готового КБО предложена графовая модель – модель конечной структуры функций (S) комплекса в виде неориентированного взвешенного графа:

$$S = (G, D),$$

в котором каждой ГФ ставится в соответствие вершина $g \in G$, а связям – дуги $d \in D$, вес которых соответствует количеству передаваемых между группами параметров.

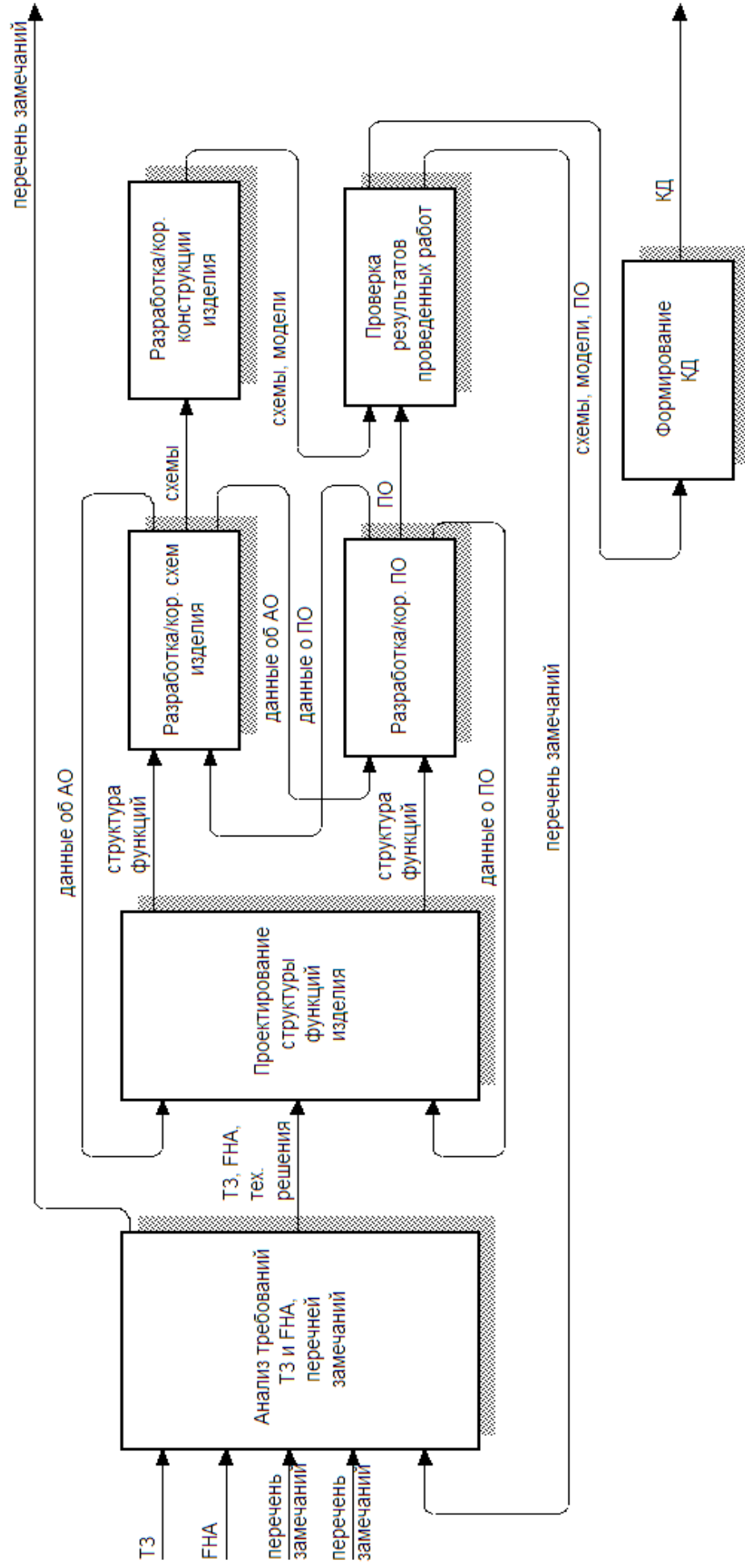


Рисунок 1 – Модель эскизного этапа процесса проектирования КБО ИМА, включающая процессы оценки безопасности и проектирования структуры функций

Конечную структуру функций характеризуют следующие параметры:

- Количество ГФ n ;
- Количество параметров, передаваемых между ГФ m ;
- Суммарно необходимое количество вычислительных ресурсов (КВР)

для реализации функций комплекса K_{AO} .

Для оптимизации структуры функций КБО предложено использовать метод декомпозиции ГФ. В результате декомпозиции ГФ комплекса по нисходящему принципу формируется множество функций, связанных иерархически. При этом каждая функция, за исключением головных, имеет одну связь с верхней по иерархии функцией.

Для отображения структуры функций КБО полученной после выполнения декомпозиции предложена графовая модель – модель первичной структуры функций (P) комплекса в виде ориентированного графа:

$$P = (F, L),$$

в котором каждой функции ставится в соответствие вершина $f \in F$, а связям – дуги $l \in L$.

Пример описания данного графа в табличном виде представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Таблица связей функций

$f \in F$	Связь $l \in L$	$f \in F$
f_1	l_1	f_6
f_2	l_2	f_6
f_3	l_3	f_6
f_4	l_4	f_6
f_5	l_5	f_6

Пример графа построенного на основании таблицы 1 представлен на рисунке 2.

На основе анализа построенных математических моделей была сформулирована оптимизационная задача достижения заданных функциональных характеристик КБО ИМА через оптимизацию структуры функций, которая заключается в построении итоговой структуры функций на основе первичной структуры функций КБО.

Свойства функций комплекса предложено описывать тремя характеризующими подмножествами: аргументов X_a , значений Y_a и специальных признаков S_a .

$$\forall f_a, \exists X_a \{x_1, \dots, x_i\}, \forall f_a, \exists Y_a \{y_1, \dots, y_j\}, \forall f_a, \exists S_a \{s_1, \dots, s_k\},$$

где f_a – это функция комплекса, a – количество функций, i – количество аргументов функции, j – количество значений функции, k – количество признаков.

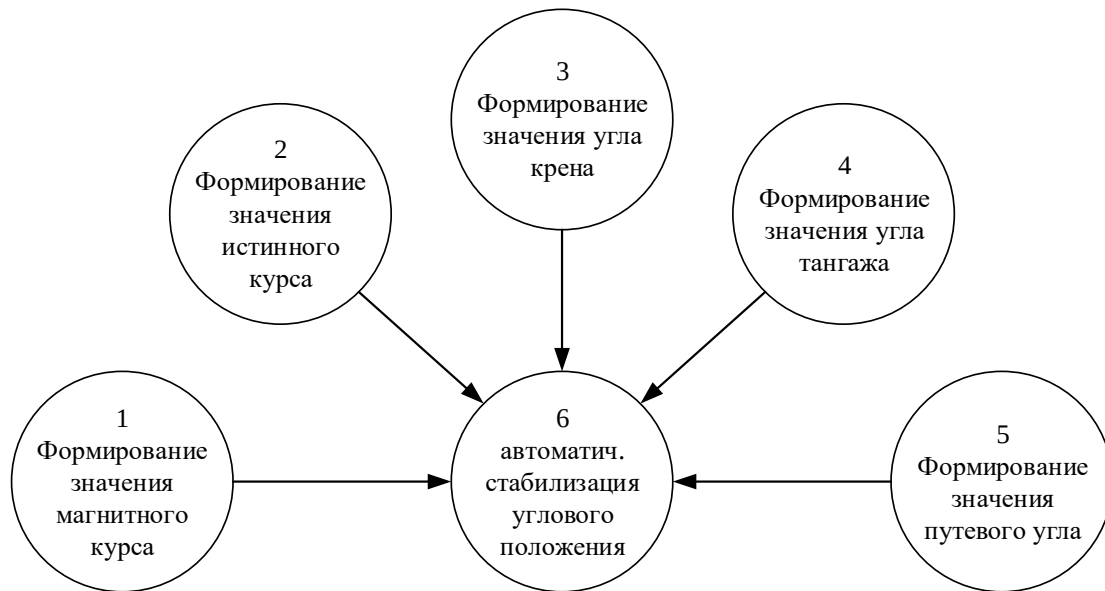


Рисунок 2 – Пример графа первичной структуры функций

С учетом того факта, что при проектировании сложных устройств существует необходимость дублирования функций, определен следующий состав множества специальных признаков S_a :

$$\begin{aligned}
 s_1 &= \begin{cases} 0, & \text{если функция } f_a \text{ специализированного типа} \\ 1, & \text{если функция } f_a \text{ вычислительного типа} \end{cases} \\
 s_2 &= \begin{cases} 1 - \text{«катастрофический» (A)} \\ 2 - \text{«аварийный» (B)} \\ 3 - \text{«сложный» (C)} \\ 4 - \text{«усложнение условий полета» (D)} \\ 5 - \text{«отсутствие влияния на безопасность» (E)} \end{cases} \\
 s_3 &= \text{значение требуемого для реализации функции КВР} \\
 s_4 &= \begin{cases} 0, & \text{если функция } f_a \text{ может быть заменена} \\ 1, & \text{если функция } f_a \text{ не может быть заменена} \end{cases}
 \end{aligned}$$

На основе анализа зависимостей параметров ГФ от свойств функций и первичной структуры функций было определено, что:

$$F: (n, k_{\text{ВМ}}, z) \rightarrow K_{\text{АО}}, F: (F1, k_{\text{ВМ}}, z) \rightarrow n, F: (n, L) \rightarrow m, \quad (1)$$

где $F1$ – это множество вычислительных функций комплекса; $k_{\text{ВМ}}$ – коэффициент вычислительных ресурсов ВМ; z – количество ГФ требующих резервирования.

С учетом зависимостей (1) сделан вывод о том, что оптимизация структуры функций состоит в минимизации каждого из параметров, ее характеризующих.

Для того чтобы произвести оценку конфигураций структур функций, сравнить их между собой и выбрать оптимальную построена целевая функция оптимизации (у):

$$y = a * \frac{\Delta max}{\Delta n} * n + b * \frac{\Delta max}{\Delta K_{AO}} * K_{AO} + c * \frac{\Delta max}{\Delta m} * m, \quad (2)$$

где Δmax = наибольшему значению среди $\Delta n, \Delta K_{AO}, \Delta m$; $\Delta n = n_{max} - n_{min}$; $\Delta K_{AO} = K_{AO_{max}} - K_{AO_{min}}$; $\Delta m = m_{max} - m_{min}$.

Значения весовых коэффициентов а, b, с определяются экспертным путем из диапазона от 0 до 1 и позволяют адаптировать процесс оптимизации под приоритетные задачи проектирования КБО. Оптимальная конфигурация структуры функций КБО соответствует минимальному значению целевой функции.

По сложности поставленная задача оптимизации относится к классу NP-полных. Анализ возможных решений поставленной оптимизационной задачи показал ее определенное сходство с классом задач об упаковке. Использование известных алгоритмов решения задач об упаковке позволяет успешно оптимизировать состав каждой из ГФ в отдельности, но не обеспечивает оптимальности структуры функций в целом. Сложность поставленной задачи обуславливается наличием связей между ГФ, которые также должны быть учтены в процессе оптимизации, поэтому для ее решения был разработан эвристический алгоритм.

Выполнение процесса оптимизации начинается с анализа и оптимизации первичной структуры функций как таковой. На основе выражений (1) и результатах анализа структур функций было предложено уменьшать количество функций путем поиска и исключения повторяющихся функций в составе первичной структуры функций.

Для выполнения процесса минимизации количества функций был разработан алгоритм представленный на рисунке 3.

Сначала производится выборка функций из множества $F(f_1, \dots, f_a)$ – множества всех функций КБО, которые могут быть заменены. По результатам выборки формируется множество:

$$F'(f_1, \dots, f_a), \text{ где } \forall f_a, s_4 = 0.$$

Процесс поиска идентичных функций в составе первичной структуры функций выполняется на основе сравнения множеств их характеризующих. Функции f_a и f_{a+1} считаются идентичными, если выполняются следующие условия:

$$X_a\{x_1, \dots x_i\} = X_{a+1}\{x_1, \dots x_i\}, Y_a\{y_1, \dots y_j\} = Y_{a+1}\{y_1, \dots y_j\}. \quad (3)$$

При формировании характеризующих множеств заменяющей функции множества X_a и Y_a идентичны соответствующим множествам заменяемых функций. Формирование множества S_a производится в соответствии со следующим правилом – значение параметра УГП заменяющей функции равно максимальному значению аналогичного параметра заменяемых функций. Сформированная заменяющая функция обеспечивает максимально высокие требования из тех, что были предъявлены к замененным функциям.

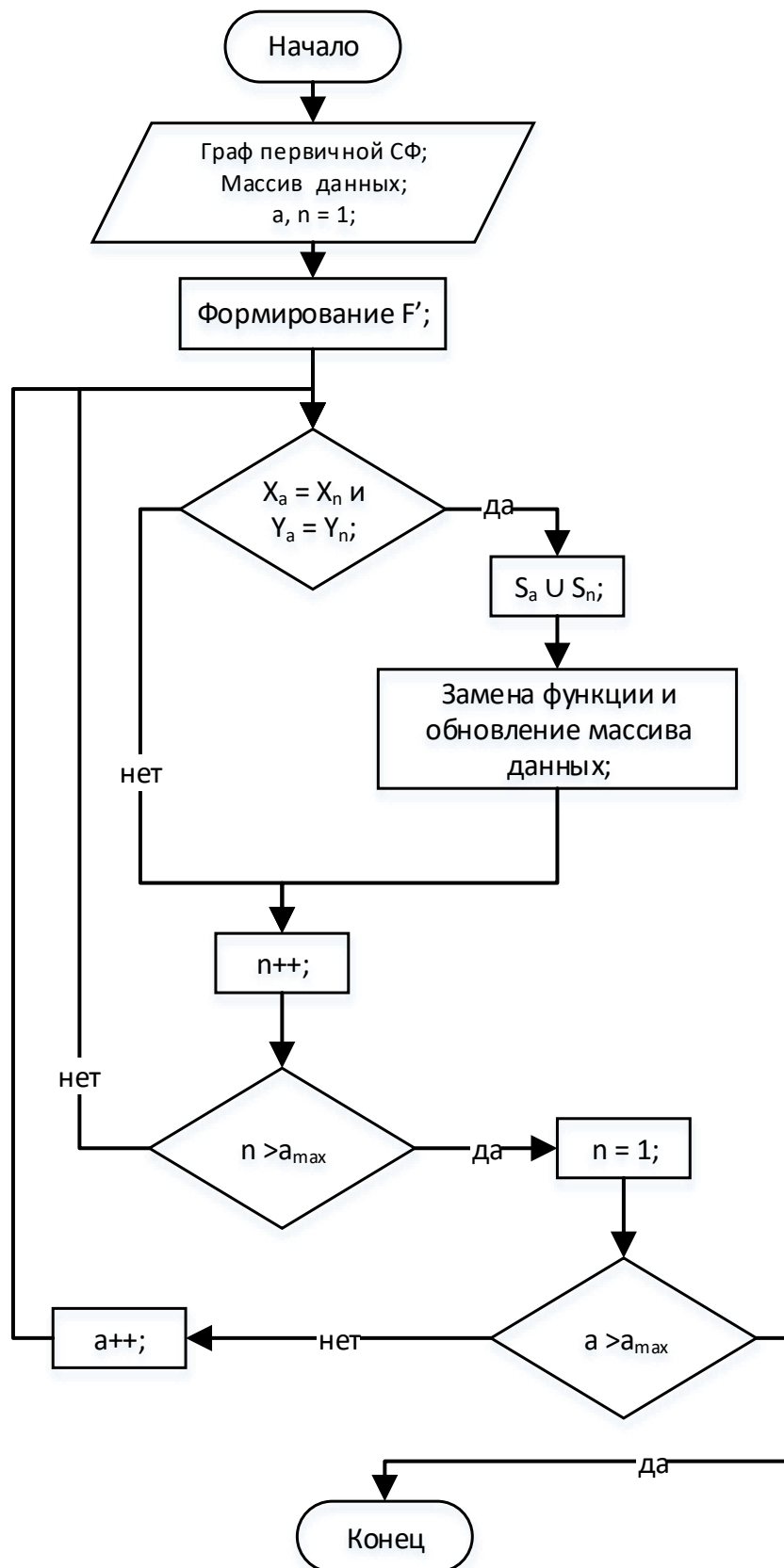


Рисунок 3 – Алгоритм минимизации первичной структуры функций

При формировании характеризующих множеств заменяющей функции множества X_a и Y_a идентичны соответствующим множествам заменяемых функций. Формирование множества S_a производится в соответствии со следующим правилом – значение параметра УГП заменяющей функции равно максимальному значению аналогичного параметра заменяемых функций. Сформированная заменяющая функция обеспечивает максимально высокие требования из тех, что были предъявлены к замененным функциям.

Процесс минимизации количества функций в составе первичной структуры функций – это первый этап процесса оптимизации структуры функций устройства.

Дальнейший процесс оптимизации состоит в поиске оптимального варианта распределения функций по группам. Для его выполнения был разработан алгоритм представленный на рисунке 4.

Первоначально задаются значения трех параметров оптимизации структуры функций:

- Значение коэффициента вычислительных ресурсов вычислительного модуля $k_{\text{ВМ}}$;
- Значение критического УГП $s_{2\text{кр}}$, которое указывает на то, функции с каким УГП должны быть в ходе процесса оптимизации учтены с высоким приоритетом;
- Коэффициент расширения R , который определяет максимально допустимое расширение множества аргументов ГФ одной функцией.

После определения параметров оптимизации выполняется процедура построения ГФ, состоящая из поиска базовой функции и последующего поиска остальных функций группы. В качестве базовой функции выбирается функция с наибольшим количеством аргументов из числа критических функций комплекса. Если среди критических функций таковая не найдена, то поиск продолжается среди не критических функций. После выбора базовой функции производится поиск очередной функции. Очередная функция ищется по условию минимального влияния на множество аргументов ГФ. Найденная функция проверяется на соответствие условию максимально допустимого расширения множества аргументов ГФ. Поиск очередной функции производится сначала среди критических функций КБО и если таковая не найдена, то продолжается среди не критических функций. После нахождения очередной функции кандидата, производится проверка условия не превышения максимального КВР модуля.

Описанный процесс выполняется циклически до тех пор, пока все функции КБО не будут распределены по группам.

На основе разработанных алгоритмов и сформированной последовательности действий была построена диаграмма процесса проектирования и оптимизации структуры функций КБО, которая представлена на рисунке 5.

Математическое описание структуры функций, алгоритмы ее построения и оптимизации являются основой для построения средств автоматизации проектирования КБО ИМА на этапе проектирования данной структуры.

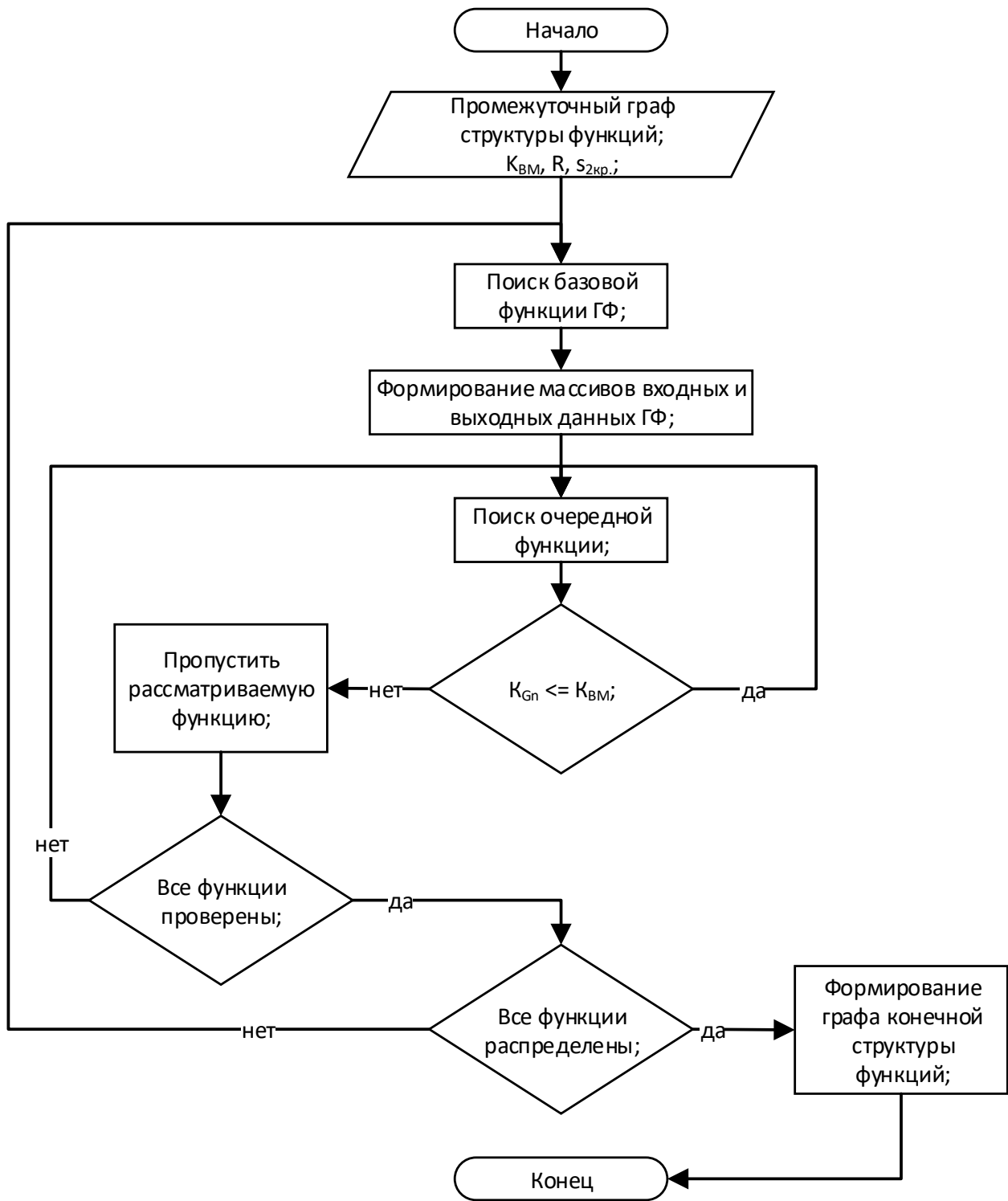


Рисунок 4 – Алгоритм формирования ГФ

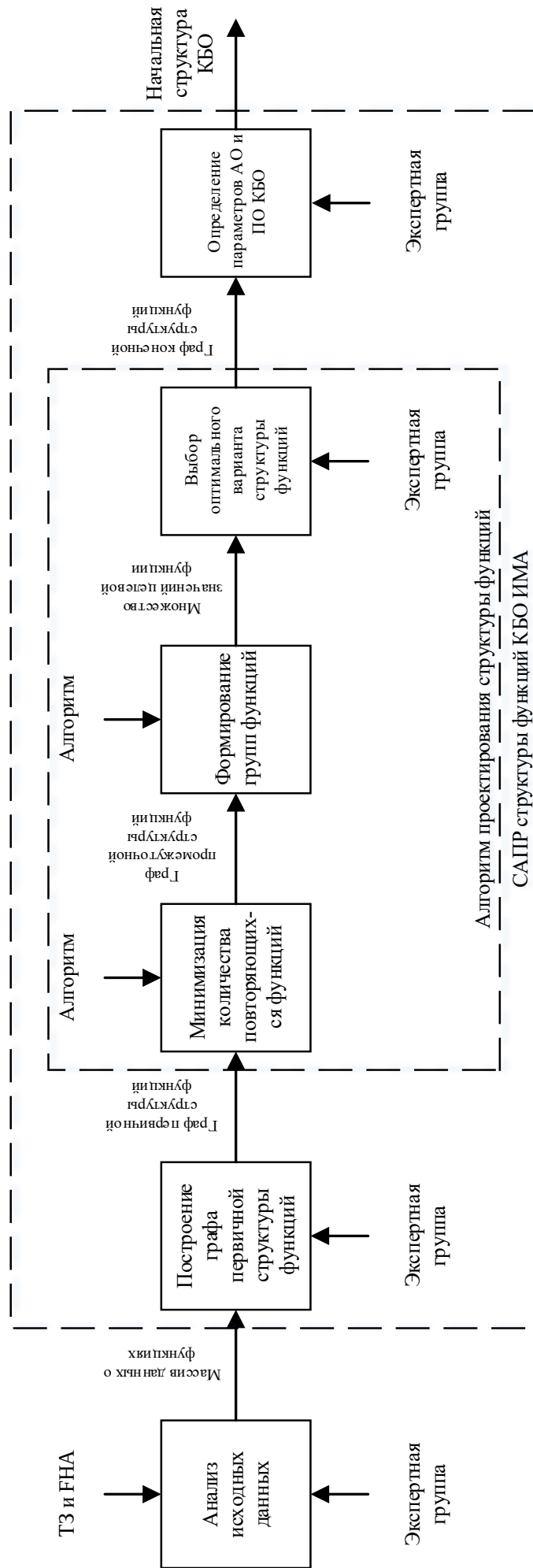


Рисунок 5 – Диаграмма процесса проектирования и оптимизации структуры функций КБО

В четвертой главе на примере набора типовых функций КБО выполнено исследование алгоритма автоматизации проектирования структуры функций. При исследовании реализованы следующие вычислительные эксперименты:

- определение КВР АО комплекса в зависимости от сформированной структуры функций;
- определение количества передаваемых в структуре параметров;
- определение количества формируемых в структуре ГФ;
- определение общей оптимальности структуры функций.

При заданных значениях весовых коэффициентов $a = b = c = 1$ (равный приоритет критериев) получена поверхность изменения значений целевой функции (2) в зависимости от значений параметров оптимизации ($k_{\text{ВМ}}$, R), которая представлена на рисунке 6.

Вычислительный эксперимент показал, что при одновременном варьировании двух и более параметров поверхность изменений исследуемой характеристики структуры носит сложный нелинейный характер при наличии некоторой общей выраженной тенденции изменения, но при этом позволяет выявить область оптимальных конфигураций структуры функций КБО. Так поверхность на рисунке 6 указывает на сильное влияние параметра $k_{\text{ВМ}}$ на значения целевой функции, а также на увеличение влияния параметра R с ростом значения $k_{\text{ВМ}}$.

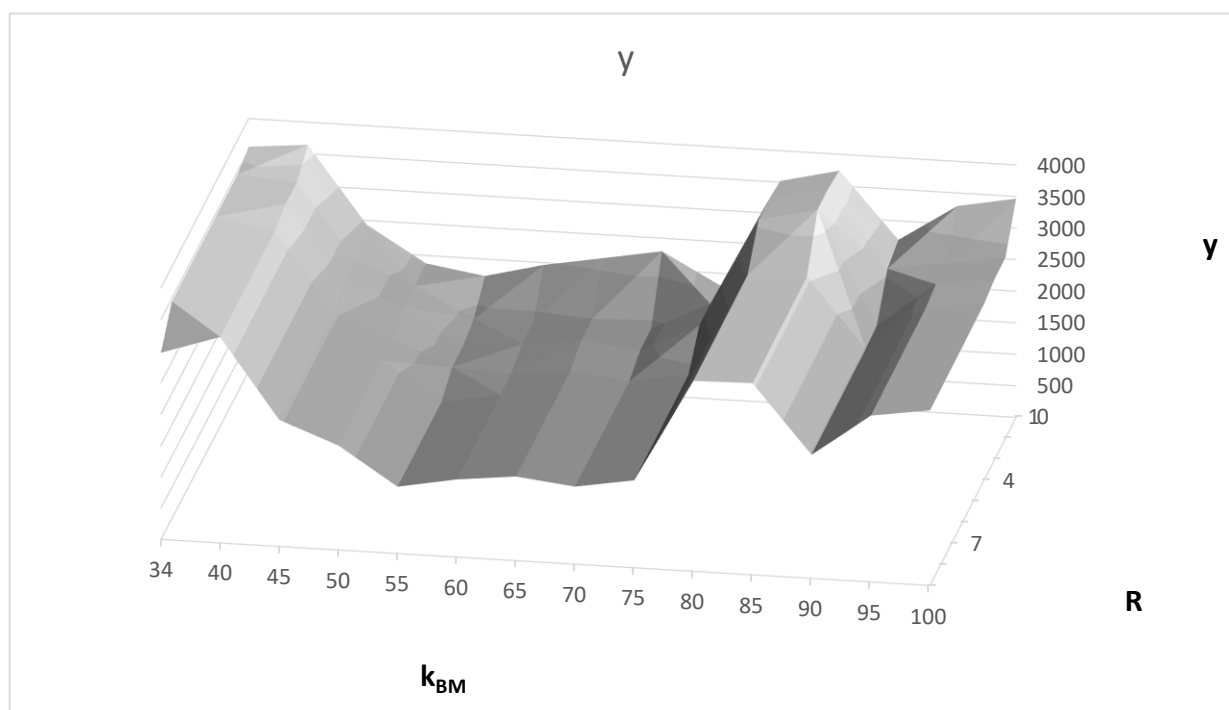


Рисунок 6 – Поверхность значений целевой функции

Результаты исследования вариантов построения структуры функций типового КБО, показали, что существуют сочетания значений двух и более параметров структуры функций, которые позволяют получить решение более оптимальное на 10-20%, чем следует из общей тенденции изменения параметра оптимальности. Это подтверждает эффективность использования предложенных моделей

и алгоритмов для поиска локально-оптимальной структуры функций КБО, отвечающей заданным требованиям и позволяющей установить основные характеристики АО и ПО КБО.

Полученные результаты эксперимента, принципы построения структуры функций и результаты проведенных в ходе диссертационного исследования анализов позволили также предложить ряд механизмов упрощенной реализации свойств архитектуры ИМА.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Анализ развития структур КБО ЛА показал с их развитием повышается уровень типизации АО и в значительной степени усложняется ПО комплексов. В настоящее время структура АО всех КБО ИМА в достаточной степени типизирована и представляет собой резервированный крейт с набором модулей. Использование (наследование) при разработке комплекса, создаваемого на принципах ИМА принципов организации КБО предыдущих типов оказывается неэффективным и в значительной степени нивелирует преимущества данной архитектуры.

2. Процесс проектирования КБО ЛА является сложным итерационным процессом последовательного характера, который тесно связан с процессом оценки безопасности поэтому при проектировании структуры функций КБО должны учитываться данные об уровнях гарантии проектирования функций, а также требования по применению дополнительных мер повышения отказобезопасности, представленные в документах «Оценка функциональных опасностей (ФНА)», «Предварительная оценка безопасности (PSSA)» и «Анализ общих причин отказов (ССА).

3. Для достижения максимальных преимуществ структуры ИМА разработан метод проектирования, который позволяет оптимизировать структуру КБО ИМА и гарантировать его соответствие требованиям качества и отказобезопасности.

Для решения данной задачи предложено использовать концепцию иерархического превосходства структуры функций над структурами ПО и АО, для чего введено понятие архитектуры функций комплекса и поставлена задача проектирование структуры функций КБО. Исходными данными для реализации процедуры проектирования структуры функций КБО является перечень обобщенных функций верхнего уровня и первичные данные об их структуре, представленные в разделе «Тактико-технические требования» ТЗ.

4. Построена модель процесса проектирования КБО ИМА, в которой процесс проектирования структуры функций выделен в отдельную процедуру, что позволяет формализовать и типизировать ее, предложить математическое описание и алгоритм реализации, сформировать требования по применению методов повышения надежности и отказобезопасности выполнения функций на ранних стадиях проектирования и дальнейшую разработку КБО производить с учетом данных требований.

5. Разработана графовая модель структуры функций КБО, которая связывает множество входных и выходных параметров функций и их групп, необходимые для их реализации вычислительные мощности, нагрузку на сеть передачи данных и позволяет определять:

для АО КБО:

- необходимое количество вычислительных модулей;
- УГП каждого модуля;
- количество передаваемых по сети передачи данных параметров;

для ПО КБО:

- перечень функций, которые требуется реализовать в рамках одного вычислительного модуля;
- УГП программного модуля.

На данной модели сформулирована оптимизационная задача достижения заданных функциональных характеристик КБО ИМА через оптимизацию структуры функций, предложены критерии оценки оптимальности и сравнения различных вариантов конфигурации структуры функций комплекса.

6. Разработан общий алгоритм построения структуры функций КБО, который позволяет реализовать данный процесс при проектировании КБО в формате ИМА и решить оптимизационную задачу. Разработаны частные алгоритмы минимизации количества функций в структуре и формирования ГФ. Полученные алгоритмы являются основой для разработки средств автоматизации выполнения процедуры проектирования и оптимизации структуры функций КБО ИМА.

7. Исследование разработанных моделей и алгоритмов построения структуры функций КБО позволило определить характер зависимости величины КВР АО комплекса от характеристик сформированной структуры функций; зависимость общей оптимальности структуры функций от количества передаваемых в структуре параметров и количества формируемых в структуре ГФ.

8. Показана эффективность предложенных моделей и алгоритмов для поиска локально-оптимальных структур функций КБО, отвечающих заданным требованиям и позволяющих установить основные характеристики АО и ПО КБО.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, утвержденных ВАК РФ для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук:

1. Хакимов, Д. В. Оптимизация структуры комплексов бортового оборудования летательных аппаратов на основе оптимизации функциональной структуры на ранних стадиях проектирования / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – №2. – С. 65-69.

2. Хакимов, Д. В. Оптимизация функциональной структуры комплексов бортового оборудования летательных аппаратов / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев // Автоматизация процессов управления. – 2016. – №2. – С. 87-92.

3. Хакимов, Д. В. Оптимизация архитектуры функций комплексов бортового оборудования на основе интегральной модульной авионики / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев, В. М. Кондаулов // Автоматизация процессов управления. – 2017. – №3. – С. 22-30.

Работы, опубликованные в сборниках статей и научных трудов всероссийских конференций:

4. Хакимов, Д. В. Оценка функциональной надежности комплексов авионики / Д. В. Хакимов // Авиационные приборы и измерительно-вычислительные комплексы : сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции ИВК-2013. – Ульяновск : УлГТУ, 2013. – 329 с.

5. Хакимов, Д. В. Критерии распределения функций между системами комплекса авионики / Д. В. Хакимов // 13-я Международная конференция «Авиация и космонавтика – 2014» (17-21 ноября 2014 года. Москва). Тезисы. – СПб. : Мастерская печати, 2014. – 712 с.

6. Хакимов, Д. В. Функциональная надежность как критерий распределения функций между системами комплекса авионики / Д. В. Хакимов // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов / под ред. А. Н. Афанасьева. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 228 с.

7. Хакимов, Д. В. Автоматизация процесса оценки надежности комплексов авионики летательных аппаратов / Д. В. Хакимов // Информатика и вычислительная техника : сборник научных трудов 6-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2014 / под общей ред. В. Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 502 с.

8. Хакимов, Д. В. Построение и оптимизация дерева функций комплекса бортового оборудования летательного аппарата / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/3190/postroenie_i_optimizaciya_dereva_funkciy_kompleksa_bortovogo_oborudovaniya_letatel'nogo_apparata.htm, свободный. Яз. рус.

9. Хакимов, Д. В. Историческое развитие и современное состояние комплексов бортового оборудования летательных аппаратов / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2017. – №2. – С. 54-59.

10. Хакимов, Д. В. Историческое развитие и современное состояние комплексов бортового оборудования летательных аппаратов / Д. В. Хакимов, С. К. Киселев // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2017. – №3. – С. 42-50.

Хакимов Дмитрий Валерьевич

Автоматизация проектирования структуры функций комплексов бортового оборудования,
построенных на принципах интегральной модульной авионики

Автореферат

Подписано в печать 10.01.2018. Формат 60х84 1/16.

Усл. печ. л. 1.39.

Тираж 100 экз. Заказ 2.

ИПК «Венец» УлГТУ. 432027, Ульяновск, ул. Северный Венец, 32.