

УДК 681.51-192 (075.8)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СТРУКТУРНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ «НАДЕЖНОСТНЫХ» СХЕМ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОРЯДКОМ ОТКАЗНОСТИ УПРАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕ МЕНЕЕ ЧЕТЫРЕХ

© 2011 Н. А. Смурова

ОАО «Климов», г. Санкт-Петербург

В статье исследуются возможные варианты построения «надежностных» схем, учитывающих последовательное переключение режимов использования системы автоматического управления расходом топлива, рассматриваемой в качестве системы с элементами с тремя состояниями. Приводятся основные концепции формирования алгоритма, посредством которого осуществляется построение столбца матрицы несовместных состояний старшего порядка, определяемого приоритетностью компоненты вектора видов отказов системы управления, характеризующей нахождение сигнализатора заправки топлива в состоянии отказа вида «несрабатывание». Рассматривается возможность построения составных частей «надежностных» схем с использованием базы данных сетевой структуры. Исследуется возможность формализации задачи и построения «надежностных» схем с использованием средств вычислительной техники.

*«Надежностная» схема, система с элементами с тремя состояниями, матрица несовместных состояний старших порядков, структурированная блок-схема алгоритма, функционально – ориентированный метод структурного программирования, функция показателей безотказности, база данных двухуровневой сетевой структуры, критерий формирования функций безотказности.*

**В** целях создания математических моделей, определяющих формирование класса систем автоматического управления расходом топлива и необходимых для автоматизации процесса построения матриц несовместных состояний, учитывающих формализованный перебор возможных видов отказов элементов систем, осуществляется исследование закономерностей формирования «надежностных» схем конкретной системы топливопитания на различных этапах формализации решения поставленной задачи. Под «надежностной» схемой понимается алгоритм, посредством которого устанавливается зависимость между видами отказов системы и возможными видами отказов элементов её конкретного уровня. Зависимость выражается двуместными логическими операциями – конъюнкцией или дизъюнкцией нарушаемых выходных характеристик. При разработке алгоритма рассматриваются:

-система автоматического управления в качестве системы с элементами с тремя (четырьмя) состояниями;

-модель системы управления, характеризуемая перечнем возможных несовместных состояний, которая включает в себя кроме набора работоспособных и отказавших элементов с заданным распределением вероятностей на них и последовательность возникновения отказов в наборе;

-функциональные особенности системы, в соответствии с которыми осуществляется последовательное переключение режимов её использования;

-условия, определяющие выполнение системой заданных функций, а именно: обеспечение подачи топлива на вход любого из двигателей с параметрами, необходимыми для их устойчивой работы; поддержание фактической продольной центровки в заданных пределах, соответствующих конкретному режиму полета.

При разработке стохастической модели («надежностной» схемы) конкретного уровня системы, осуществляющей выработку топлива из баков топливной системы объекта конкретной конфигурации в соответствии с диаграммой расхода топлива, приведенной на рис. 1, регламентируются ограничения на группы видов отказов элементов, исследуемых для любого режима использования. **В** этом случае учитываются группы видов отказов элементов: предыдущего бака, приводящие к переключению режима использования на исследуемый бак; исследуемого бака, не приводящие к переключению режима использования на последующий бак магистрали одного двигателя.

Кроме того при разработке стохастической модели на любом уровне функционирования учитываются особенности системы, характеризующие выполнение заданных функций, а именно: наличие перекачки балансировочного топлива; отсутствие перекачки балансировочного топлива, рассматриваемые на любом режиме использования после анализа последствий любого вида отказа, характеризующего каждый элемент, принадлежащий её конкретному уровню.

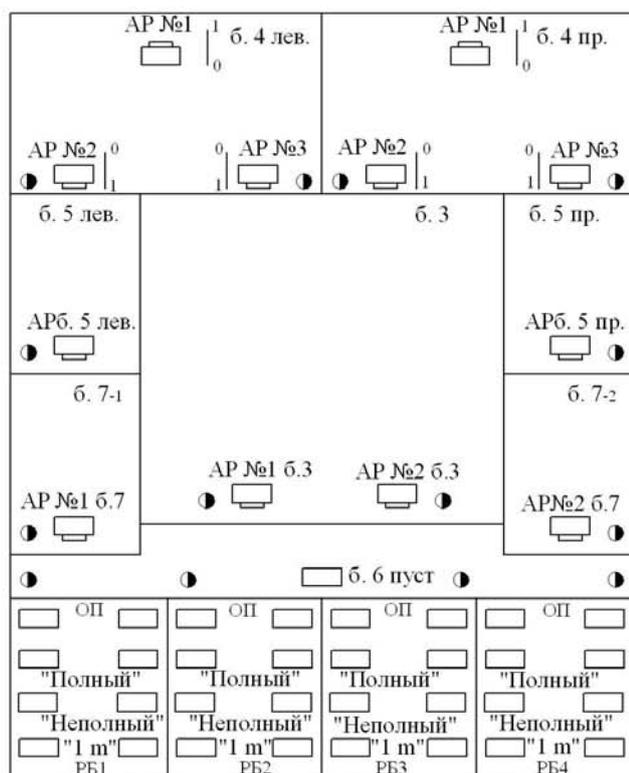


Рис. 1. Диаграмма расхода топлива объекта

В теле «вложенных» циклов разрабатываемого алгоритма осуществляется группировка видов отказов элементов каждого из существующих типов, приводящих к формированию в установленной последовательности следующих функций показателей безотказности:

- отключение автоматического расхода топлива по магистрали одного из двигателей борта классифицируемого объекта;
- кратковременное ограничение автоматической перекачки топлива в расходную секцию двигателя;
- существование возможности переполнения расходной секции двигателя и слива топлива в дренажную систему объекта;
- установление подмножеств возможных видов нарушений функционирования системы, соответствующих каждому из последовательно переключаемых режимов использования, определяющих выработку топлива по магистрали двигателя.

При разработке «надежностной» схемы с терминала вводятся код борта классифицируемого объекта, код магистрали рассматриваемого двигателя, коды функций исследуемых показателей безотказности и функции состояний сигнализаторов уровня. Приведенная процедура построения «надежностных» схем распространяется на системы управления, рассматриваемые в качестве

системы с элементами с тремя состояниями. При этом элементы систем могут находиться в любом из перечисленных состояний: срабатывание (норма), ложное срабатывание (отказ) и несрабатывание (отказ). На последующем этапе формализации задачи в диалоговом режиме исследуется возможность выполнения типовых запросов, связанных с установлением подмножеств функций анализируемых показателей безотказности, определяемых существующими видами отказов управляющих элементов. При построении алгоритмов, являющихся составными частями разрабатываемых «надежностных» схем, осуществляется выбор необходимых условий из возможных сочетаний логических условий, регламентирующих формирование рассматриваемых функций показателей безотказности. Определяются сочетания приоритетного и подприоритетного условий, характеризующих выбор формируемого типа запроса. Устанавливается превышение приоритетности признаков, влияющих на формирование подмножеств рассматриваемых функций показателей безотказности, совокупность которых принадлежит ключу выбранной задачи. Разработка структурированных блок-схем алгоритмов основывается на использовании основных концепций IPT технологии фирмы IBM, относящейся к функционально-ориентированным методам структурного программирования. В теле циклов формируемого запроса осуществляется выбор ключа рассматриваемой задачи, установление типа и принадлежности к баку топливной системы объекта сигнализаторов, участвующих в процессе формирования управляющих воздействий по магистралям двигателей одного борта, и анализ состояний управляющих элементов. Приоритетным признаком, являющимся ключом выбора типового запроса, реализуемого в соответствии с блок-схемой алгоритма модуля *FOTAR-PRO*, является признак, предусматривающий проведение анализа системы топливопитания при существовании перемежающегося отказа сигнализатора уровня топлива, управляющего сливом из бака топливной системы объекта, в котором организуется начало расхода топлива по борту летательного аппарата, в случае нахождения невозможности восстановления системы в состоянии ложного «постоянного» включения начала расхода топлива.



ля по схеме: «Бак 4 лев.<sub>1</sub>» → «Бак 5 лев.», а по магистрали второго двигателя переключение режимов использования осуществляется по схеме: «Бак 4 лев.<sub>2</sub>» → «Бак 3<sub>2</sub>». Запуск нового цикла расхода топлива из бака 4 лев. по магистрали соответствующего двигателя выполняется вследствие превышения приоритетности признака, характеризующего проведение анализа невозстанавливаемой системы топливопитания, находящейся в состоянии ложного «постоянного» включения начала расхода топлива, над доминирующим влиянием на определение последствий отказов приоритетности признака, допускающего возможность существования перемежающегося отказа любого сигнализатора уровня, регулирующего слив топлива из упомянутого бака. В диалоговой системе выводится сообщение о невозможности доминирования приоритетности признака, определяющего характер отказа сигнализатора уровня, управляющего сливом топлива из бака 4 лев., над приоритетностью признака, устанавливающего вид отказа системы топливопитания (блок 47 алгоритма). Невозможность доминирования признака, определяющего характер отказа сигнализатора, обуславливается существованием подприоритетного условия, учитываемого при формировании запроса и заключающегося в отсутствии перекачки балансировочного топлива. Существование отказа перемежающегося характера у одного из сигнализаторов уровня, регулирующих слив топлива из бака 4 лев., приводит к подаче топлива в предрасходную секцию двигателей летательного аппарата из одного из последующих топливных баков, относящихся к группе баков топливной системы объекта, предназначенных для обеспечения топливопитания двигателей одного борта. Рассмотренный вид отказа системы топливопитания, приводящий к отключению автоматического расхода топлива по магистралям двигателей одного борта, влечет за собой включение системы перекрестного питания объекта, обеспечивающей перераспределение выработки топлива из баков отказавших двигателей через исправные двигатели, чем определяется эффективность её разработки. Рассматривается возможность построения составных частей «надежных» схем с использованием базы данных двухуровневой сетевой структуры.

Становится очевидной невозможность оценки последствий любых видов отказов датчиков - сигнализаторов уровня, размещенных в баках топливной системы, принадлежащих магистралям различных двигателей одного борта классифицируемого объекта. Исключение составляют запросы, посредством которых осуществляется формирование подмножеств исследуемых функций показателей безотказности, характеризующих проявление управляющих воздействий, сформированных по магистралям различных двигателей одного борта, но обусловленных конкретными видами отказов сигнализаторов уровня, регулирующих слив и заправку топлива в баке топливной системы объекта, в котором организуется начало расхода топлива по борту летательного аппарата. Кроме того, последствия отказов не могут быть определены при формализованном переборе любых видов отказов датчиков - сигнализаторов уровня топлива в баках топливной системы объекта, принадлежащих магистрали одного двигателя, не учитывающем последовательное переключение режимов использования подсистемы топливопитания. В рамках разрабатываемого программного продукта выполняется типовой запрос, касающийся установления подмножества исследуемых функций показателей безотказности, характеризующих отключение автоматического расхода топлива по магистрали любого двигателя левого борта движущегося объекта, выполняемое в соответствии с блок-схемой алгоритма *OTARL*, приведенной на рис. 3. Функциональная структура алгоритма решения поставленной задачи приводится на рис. 4. Формы выходных и входных документов, посредством которых осуществляется реализация формируемого запроса, приводятся на рис. 6 и 9 соответственно. Ключом выбора типа формируемого запроса является условие 3 структурированной блок-схемы алгоритма. Условием предусматривается введение с терминала признака, устанавливающего «одновременность срабатывания сигнализаторов уровня, управляющих заправкой и сливом топлива из топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива». Одновременное срабатывание указанных сигнализаторов уровня влечет за собой формирование сигналов «Отказ 1» и «Отказ 2», направленных на отключение автоматиче-

ского расхода по магистралям соответствующих двигателей левого борта объекта. В диалоговой системе выводится сообщение 21 об ошибке в последовательности анализа состояний сигнализаторов уровня, управляющих заправкой и сливом топлива из бака 4 лев. и приводящих к отключению автоматического расхода топлива по магистрали любого из двигателей, принадлежащих одному борту летательного аппарата.

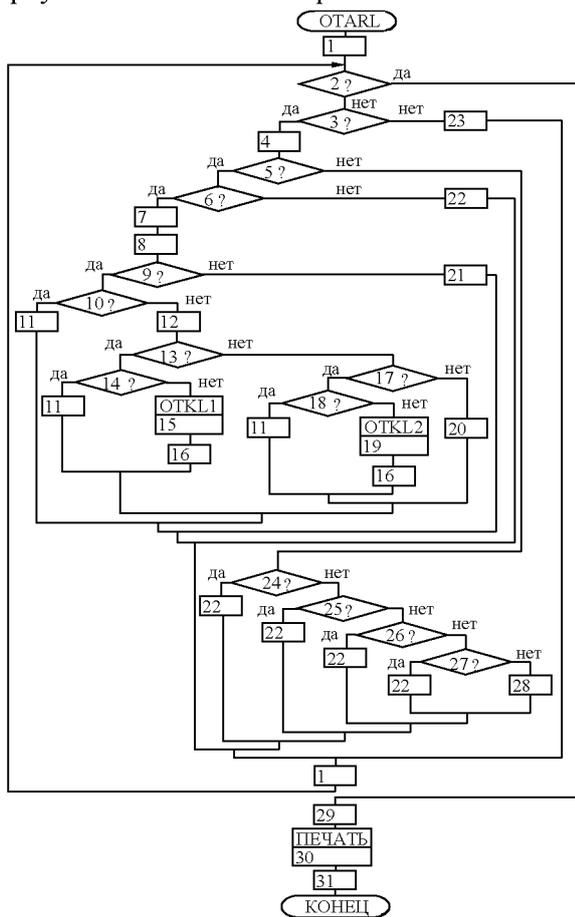


Рис. 3. Блок-схема алгоритма модуля OTARL

Установление последовательности действий при анализе состояний сигнализаторов уровня приобретает значение в случае наличия перекачки балансирующего топлива. Наложение перекачки балансирующего топлива на реализацию системой топливопитания функции «Расход топлива» приводит к переключению режимов использования системы, наблюдаемых до момента перекачки, на топливный бак 4 лев. Нахождение сигнализатора уровня в состояниях, приводящих к формированию управляющих воздействий, направленных на отключение автоматического расхода топлива по магистрали двигателя, должно рассматриваться как в промежуточном состоянии, так и при разнополяр-

ных состояниях подсистемы «Бак 4 лев». Принимая во внимание признак «одновременности срабатывания сигнализаторов», оказывающий доминирующее влияние на выбор типа сформулированного запроса, при реализации функции «Расхода топлива» целесообразно учитывать последовательность «срабатывания» либо «ложного срабатывания» указанных управляющих элементов при нахождении подсистемы «Бак 4 лев.» в любом из трех возможных состояний. При этом выполнение системой топливопитания функции «Расход топлива» рассматривается как при отсутствии перекачки, так и после перекачки балансирующего топлива, приводящей к переключению режимов использования. Этим объясняется отсутствие подприоритетного условия при выборе типа формируемого запроса. В диалоговой системе формирование функции отключения автоматического расхода топлива осуществляется по сочетанию состояний управляющих элементов, регулирующих заправку и слив топлива из бака 4 лев., исключающему нахождение каждого из них в состоянии отказа вида «несрабатывание». В рамках разрабатываемого программного продукта выбор базы данных, имеющей сетевую структуру со списковой организацией данных, определяется следующими обстоятельствами:

- во-первых, нарушение выходных характеристик подсистемы топливопитания определяется нахождением управляющих элементов, осуществляющих последовательное переключение режимов использования, в любом из трех возможных состояний;

- во-вторых, при рассмотрении сочетаний видов отказов управляющих элементов, относящихся к различным типам сигнализаторов уровня, оцениваемые последствия могут быть учтены в матрице несовместных состояний с максимальным порядком отказности не менее пяти. При этом должны учитываться состояния сигнализаторов, участвующих в реализации функций кратковременного ограничения автоматической перекачки топлива в расходную секцию двигателя и осуществляющих переключение режимов использования системы при выработке топлива из баков.

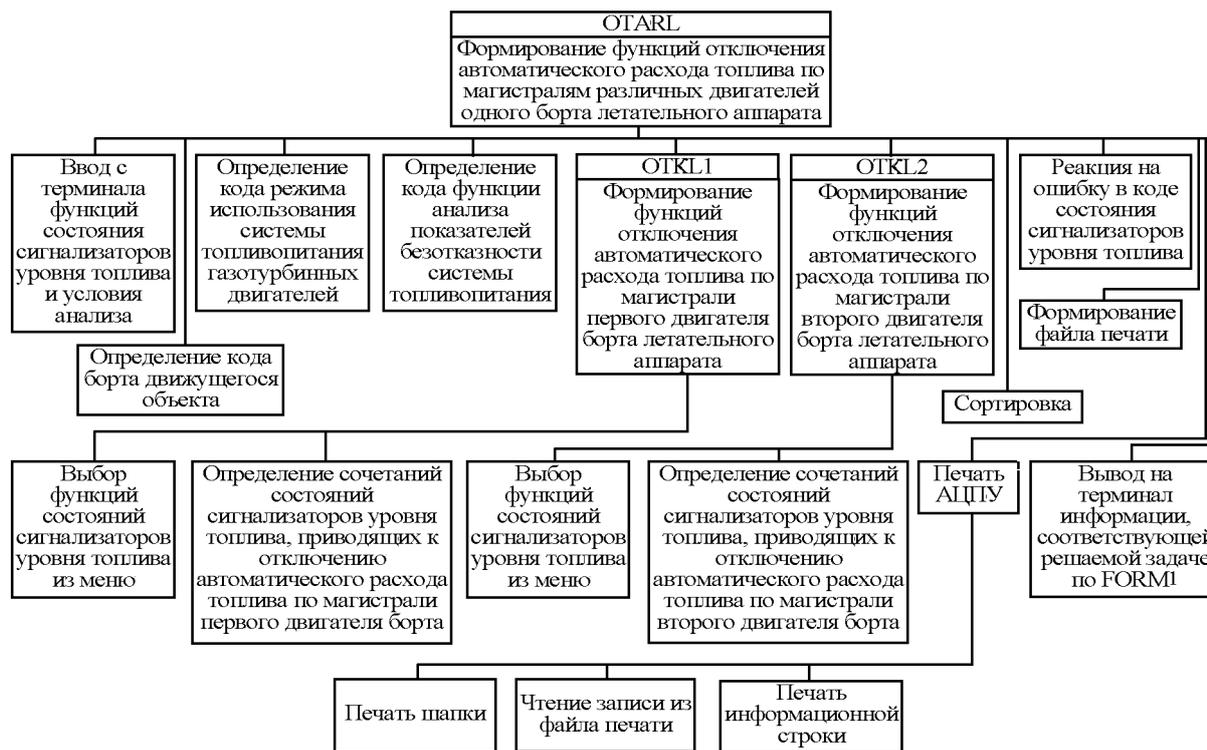


Рис. 4. Функциональная структура алгоритма для определения функций отключения автоматического расхода топлива по магистралям различных двигателей одного борта объекта



Рис. 5. Инфологическая модель базы данных для решения задачи «Отключение автоматического расхода топлива по магистралям двигателей левого борта объекта»

Код борта объекта	Код функции анализа показателей безотказности	Код режима использования системы топливпитания	Состояние сигнализатора уровня топлива, управляющего заправкой топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта	Состояние сигнализатора уровня топлива, управляющего сливом из конкретного бака	Признак одновременности срабатывания сигнализаторов уровня топлива, управляющих заправкой и сливом топлива из топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта	Форма выходного документа
						FORM1

Рис. 6. Форма выходного документа, формируемого при решении задачи для установления функций отключения автоматического расхода топлива по магистралям двигателей

PREDP Основной файл «Предпосылки»						OTKL Основной файл «Функции отключения автоматического расхода топлива по магистрали двигателя»					
0010	Указатель на пень синонимов	0100	0150	PREDP	.....OTKL	0500	Указатель на пень синонимов	0100	0120	P9	Отключение автоматического расхода топлива по магистрали первого двигателя
						0520	Указатель на пень синонимов	0130	0150	P10	Отключение автоматического расхода топлива по магистрали второго двигателя

Рис. 7. Форматы основных файлов разрабатываемой базы данных

0100	□	0110	□	0120	PREDP	P9	Л. сраб. АР №2 б.4 лев.....Сраб. АР №1 б.4 лев.
0110	0100	0120	□	□	PREDP	P9	Сраб. АР №2 б.4 лев.....Л. сраб. АР №1 б.4 лев.
0120	0110	0130	0100	□	PREDP	P9	Л. сраб. АР №2 б.4 лев.....Л. сраб. АР №1 б.4 лев.
0130	0120	0140	□	0150	PREDP	P10	Л. сраб. АР №3 б.4 лев.....Сраб. АР №1 б.4 лев.
0140	0130	0150	□	□	PREDP	P10	Сраб. АР №3 б.4 лев.....Л. сраб. АР №1 б.4 лев.
0150	0140	□	0130	□	PREDP	P10	Л. сраб. АР №3 б.4 лев.....Л. сраб. АР №1 б.4 лев.

Рис. 8. Стандартный формат связующего файла базы данных для разрабатываемой задачи

Процедура формирования подмножеств, включающих возможные виды нарушений выходных характеристик, состоит из комплекса задач, сформулированных в процессе реализации системой топливопитания различных функций. Поэтому определение нарушений выходных характеристик связано с необходимостью учета как сложных логических связей, существующих между возможными видами состояний управляющих элементов системы, так и существующих условий её анализа.

Состояние сигнализатора уровня топлива, управляющего заправкой топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта	Состояние сигнализатора уровня топлива, управляющего сливом из конкретного бака	Признак одновременности срабатывания сигнализаторов уровня топлива, управляющих заправкой и сливом из топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта
--	---	---

Рис. 9. Форма входного документа

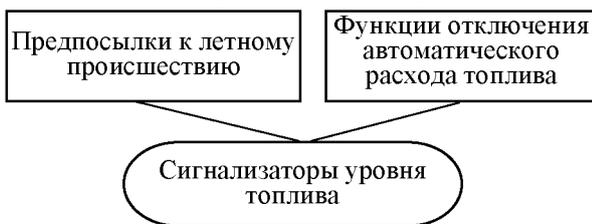


Рис. 10. Концептуальная модель базы данных

Следовательно, разработка базы данных должна проводиться по этапам, включающим построение инфологической модели по каждой задаче, интеграцию отдельных моделей в глобальную инфологическую модель с определением объемных характеристик информационных объектов и их атрибутов, построение концептуальной модели базы данных и уточнение постановки задачи.

Исходя из анализа состояний управляющих элементов, определяемых формой входного документа, построены инфологическая и концептуальная модели базы данных по одной из решаемых системой задач, реализующей процесс исследования последствий отказов при формировании функции отключения автоматического расхода топлива по магистрали любого двигателя левого борта, приведенные на рис. 5 и 10 соответственно. Разработаны форматы основных файлов и стандартный формат связующего файла базы данных рассматриваемой задачи, приведенные на рис. 7 и 8 соответственно. Наличие информационного объекта «Предпосылки» в приведенной инфологической

модели объясняется тем, что впоследствии возможно объединение построенной модели с инфологической моделью базы данных, разработанной для одной из решаемых задач, сформулированных в процессе реализации системой топливопитания различных функций. В этой задаче последствия отказов могут быть отнесены к одной из функций показателей безотказности, включенных в создаваемый основной файл. Построение «надежных» схем, устанавливающих зависимость между видами нарушений функционирования системы и возможными отказами старших порядков управляющих элементов, основывается на анализе последствий отказов в любом из существующих подмножеств состояний сигнализаторов уровня, приводящих к последовательному переключению выработки топлива из группы баков, принадлежащих магистрали одного двигателя. Это семейство баков предшествует баку топливной системы объекта, которым определяется режим использования системы. Кроме того, топливный бак, выработкой топлива из которого определяется конкретный режим использования, включается в сформированное подмножество баков топливной системы. Это объясняется тем, что сигнализатор уровня топлива, размещенный в топливном баке, должен находиться в состоянии, исключающем возможность переключения расхода топлива на последующий топливный бак магистрали рассматриваемого двигателя. Формирование алгоритмов сопровождается установлением соответствий состояниям управляющих элементов состояний системы топливопитания, определением порядка отказности управляющих элементов на каждом шаге построения схем и проверкой выполнения условий, регламентирующих синтез подмножеств исследуемых функций безотказности. Алгоритм построения «надежных» схем, учитывающих отказы старших порядков управляющих элементов системы, является алгоритмом формирования столбца матрицы несовместных состояний, определяемого приоритетностью компоненты вектора видов отказов, соответствующей отказу вида «несрабатывание» сигнализатора заправки топлива. Функциональная структура алгоритма построения «надежной» схемы, приведенная на рис. 11, включает функциональные отказы старших порядков управляющих элементов первого уровня и



включению начала расхода топлива из бака 7. Проведение отдельной оценки последствий в каждой группе видов отказов объясняется тем, что режим использования системы, определяемый совокупностью состояний управляющих элементов, сохраняется неизменным. При установлении последствий в существующих группах видов отказов управляющих элементов учитывается одновременность реализации двух функций, выполняемых системой: «Расход топлива» и «Перекачка балансирующего топлива». При отсутствии перекачки балансирующего топлива оценивается последствие отказа вида «ложное срабатывание» сигнализатора уровня, управляющего заправкой топливного бака, в котором организуется начало расхода топлива по борту летательного аппарата, приводящего к появлению вида отказа системы, заключающегося в нарушении частоты переключений. При наличии перекачки балансирующего топлива подлежит оценке последствие отказа вида «несрабатывание» управляющего элемента, регистрирующего момент заправки топливного бака 4 лев. Этот вид отказа приводит к появлению нового вида нарушений функционирования системы, заключающегося в зависании топлива в баке 4 лев. и оказывающего значительное влияние на изменение поперечной центровки объекта, являющегося объектом с малым запасом устойчивости. При построении «надежностной» схемы с отказностью старших порядков управляющих элементов система управления рассматривается в качестве системы с элементами с четырьмя состояниями. Принцип модульного проектирования состоит в разработке набора модулей, обеспечивающих реализацию взаимоподчиненных функций алгоритма. Применительно к разработанной «надежностной» схеме применение принципа модульного проектирования сводится к формированию взаимоподчиненных модулей, обеспечивающих выделение каждого вида отказа системы топливопитания, определяемого приоритетностью любого вида отказа управляющего элемента, принадлежащего сформированным группам состояний сигнализаторов уровня, соответствующих одному режиму использования системы. Разработка модулей, относящихся к иерархическим уровням алгоритма, на которых осуществляется проверка выполнения условий построения «надежностной» схемы, учитываемых на предыдущих уровнях формиро-

вания схемы, связывается с установлением конъюнкций видов отказов системы, определяемых приоритетностью видов отказов управляющих элементов. Подлежат оценке последствия отказов управляющих элементов, рассматриваемых на предшествующих уровнях формирования отдельных ветвей «надежностной» схемы и соответствующих одному режиму использования системы.

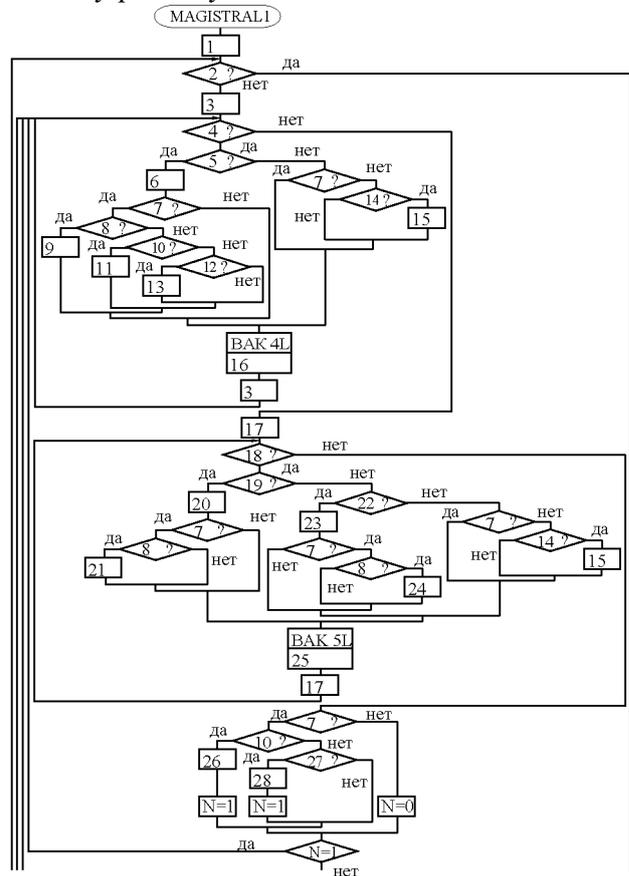


Рис. 12. Фрагмент структурированной блок-схемы модуля MAGISTRAL1, иллюстрирующей формирование с использованием средств СВТ видов нарушений функционирования подсистемы управления

В схеме, изображенной на рис. 12, приняты следующие обозначения: 1 – Ввод с терминала кода функций из меню режимов использования, определяющих выработку топлива по магистрали первого двигателя; 2 – Условие конца перебора режимов использования; 3 – Ввод с терминала кодов функций состояния сигнализаторов уровня, управляющих сливом и заправкой топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта (б. 4 лев.); 4 – Условие, предусматривающее установление режима использования системы управления, соответствующего «Расходу из бака 4 лев.»; 5 – Условие, регламентирующее рассмотрение сочетаний состояний сигнализаторов, определяющих уровень топлива в ба-

ке 4 лев. и не приводящих к переключению автоматического расхода топлива на последующий бак магистрали первого двигателя; 6 – Формирование подмножества нарушаемых выходных характеристик системы, характеризующих отсутствие автоматического расхода топлива из группы последующих баков магистрали первого двигателя; 7 – Условие, регламентирующее выполнение системой управления двух функций на момент проведения исследований, обуславливающих наложение перекачки балансировочного топлива на расход топлива; 8 – Условие, определяющее наличие функционального отказа сигнализатора уровня, управляющего заправкой топливного бака, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта.; 9 – Формирование подмножества нарушаемых выходных характеристик системы, соответствующих режиму её использования – «Расход топлива из б. 4 лев.». Подмножество содержит вид нарушения функционирования, характеризующий отсутствие автоматического расхода топлива в

группе последующих баков, из которых осуществляется подача топлива в расходную секцию первого двигателя. Он рассматривается в сочетании с «полузависанием» топлива в баке 4 лев., формирующимся по магистрали второго двигателя; *и так далее.*

При построении «надежностных» схем с использованием средств вычислительной техники (СВТ) осуществляется выбор тела цикла, соответствующего формируемым функциям показателей безотказности и определяемого условиями синтеза функций.

#### **Библиографический список**

1. Смурова, Н.А. Оптимизация алгоритмов управления в целях прогнозирования поведения системы [Текст] / Н.А. Смурова // сб. трудов 5 Межвузовской НТК «Военная радиоэлектроника: Опыт использования и проблемы», ВВМУРЭ им. А.С. Попова. - Петродворец, 1995.- ДСП, секц. 5.- Ч. 2.- - С. 331-338.

### **USE OF THE METHODS OF THE STRUCTURAL PROGRAMMING TO FORM THE «RELIABILITY» DIAGRAMS OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM OF THE GAS TURBINE ENGINES WITH THE CONTROL ELEMENTS FAILURE ORDER OF NO LESS THAN FOUR**

©2011 N. A. Smurova

Klimov JSC, Saint-Petersburg

The article studies possible options of development of the «reliability» diagrams which take into account the consecutive mode selection of the fuel flow automatic control system which is considered as a system with elements with three conditions. The article contains main concepts of development of an algorithm used to form a column of the high-order matrix of the incompatible conditions defined by the priority of the failure mode vector component of the control system which characterizes position of the fuelling switch at the failure mode condition as «failure». The article considers a possibility to form components of the «reliability» diagrams using the network structure database. A possibility to state a problem and develop the «reliability» diagrams using calculation equipment is studied.

*The «reliability» diagrams, system with elements with three conditions, the high-order matrix of the incompatible conditions, structured block diagram of the algorithm, functionally oriented method of the structural programming, function of the reliability factors, database of the two-level net structure, criterion of formation of the reliability functions, body of the «embedded» loops of the formed functions.*

#### **Информация об авторах**

**Смурова Нина Алексеевна**, инженер ОАО «Климов», г. Санкт-Петербург. Тел.: (812) 370-15-77. Область научных интересов: разработка математических моделей систем топливоснабжения газотурбинных двигателей, автоматизация процесса построения матриц несовместных состояний первого порядка.

**Smurova Nina Alekseevna**, The Ingener of Klimov JSC, Saint-Petersburg. Phone: (812) 370-15-77. Area of research: development of the mathematical models of the fuel supply systems of gas turbine engines, automatization of the process for creation of the matrix of incompatible conditions of the first order.