

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

Смурова Н.А.

г. Санкт – Петербург

**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**

*Smurova N. A. 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 «reliability» diagrams using calculation equipment is studied.*

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

-модель системы управления, характеризующаяся перечнем возможных несовмест-

ных 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, 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, а именно: наличие перекачки балансирующего топлива; отсутствие перекачки балансирующего топлива, после рассмотрения любого вида отказа любого элемента конкретного уровня при любом режиме использования. 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 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. 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 формиро-

вание 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 ИРТ 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. Рассматривается возможность построения составных частей «надежностных» схем с использованием базы данных двухуровневой сетевой структуры. Построение «надежностных» 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. Формирование алгоритмов сопровождается установлением соответствий состояниям управляющих элементов состояний системы топливоснабжения, определением порядка отказности управляющих элементов на каждом шаге построения схем и проверкой выполнения условий, регламентирующих синтез подмножеств исследуемых функций безотказности. Алгоритм построения «надежностных» 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. При построении указанных

схем с использованием средств СВТ осуществляется выбор тела цикла, соответствующего формируемым функциям показателей безотказности и определяемого условиями синтеза функций.

УДК 621.452.3

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ДОСТОВЕРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Герасимов А.Б., Сундуков М.Ю.

ОАО «Климов», г. Санкт-Петербург

### NUMERICAL STUDY OF THE POSSIBILITY OF RELIABLE DIAGNOSTICS OF GAS TURBINE ENGINE BY GASDYNAMIC PARAMETERS USING A LINEAR MATHEMATICAL MODEL

*Gerasimov A.B., Sundukov M.Y. Klimov JSC, St. Petersburg. Article offers a method for evaluating possible quantity of cases the identification of gas turbine engine to adequately describe test data with limited number of measured parameters. The dependence of the possible quantity of identifications on the number of identifiable and measured parameters is researched.*

На существующих газотурбинных двигателях существует проблема однозначной и достоверной диагностики их технического состояния по замеренным газодинамическим параметрам. Сложность диагностируемости ГТД состоит в том, что относительно узкому набору измеряемых экспериментально параметров может соответствовать множество комбинаций диагностируемых параметров.

В данной работе предлагается способ оценки возможного количества вариантов увязки экспериментальных и расчетных данных ГТД, исходя из количества измеряемых и диагностируемых параметров.

Для абсолютно точной оценки необходимо просчитать все возможные комбинации диагностируемых параметров по нелинейной математической модели. Диапазон варьирования каждого из параметров должен меняться в некоторых «разумных» пределах. После расчета всех возможных комбинаций оценивается их количество, соответствующее минимальному среднеквадратическому отклонению расчетных данных от экспериментальных. Однако данный метод не может

быть реализован, поскольку возможное количество комбинаций диагностируемых параметров бесконечно, а значит, расчет также займет бесконечное время.

Чтобы свести время расчета к конечной величине предлагается заменить нелинейную математическую модель ГТД линейной, а диагностируемые параметры варьировать в «разумном» диапазоне дискретно. Таким образом время расчета всех возможных комбинаций будет зависеть от их количества, которое определяется по формуле:

$$N = n^d,$$

где  $d$  – количество диагностируемых параметров,  $n$  – величина дискретности.

При помощи указанного способа в работе проводится исследование зависимости количества «удачных» вариантов увязки экспериментальных и расчетных данных от количества измеряемых и диагностируемых параметров. Также приводится сравнение наиболее «удачных» вариантов увязки, полученных данным методом.