

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПИТАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Смурова Н.А.

г. Санкт – Петербург

SUBSTANTIATION OF THE CRITERIA FOR EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE FUEL SUPPLY SYSTEM OF THE GAS TURBINE ENGINES

Smurova N.A. The article provides determinative and sub-priority criteria considered for solution of a multicriterion problem of the efficiency evaluation which characterizes implementation of a number of priority functions by the fuel flow automatic control system. These functions define switching of the automatic fuel flow in the fuel lines of the aircraft engines as well as possible fuel drain to the object drain system and its transverse centering. Presentation of the efficiency function as a function of two variables, which characterize the effect of the use of the control system regarding the determinative and one of the sub-priority indicators, permits to use a method of the stepwise evaluation of the efficiency.

Система топливопитания газотурбинных двигателей обеспечивает выполнение следующих задач:

-подачи топлива на вход любого из двигателей с параметрами, необходимыми для их устойчивой работы, осуществляемой в соответствии с жестко установленной программой выработки;

-поддержания фактической продольной центровки летательного аппарата в заданных пределах, соответствующих плану и профилю полета.

Выполнение системой управления перечисленных задач предусматривает наложение перекачки балансирующего топлива на его расход. Необходимо определить уровень эффективности и оптимизировать достижение этого уровня системой при выполнении функции расхода топлива в условиях повышенной ответственности отказов. Необходимо провести оценку эффективности выполнения системой следующих задач:

-обеспечения поперечной центровки летательного аппарата как объекта с ограниченным запасом устойчивости и высокой цены отказа;

-отключения автоматического расхода топлива по любому из двигателей, их возможных сочетаний, по борту летательного аппарата и в целом по объекту. Это требуется для определения эффективности системы перекрестного питания летательного аппарата, обеспечивающей перераспределение вы-

работки топлива из баков отказавшего двигателя, осуществляемое через исправные двигатели объекта;

-слива топлива в дренажную систему объекта в результате переполнения расходных секций любого двигателя.

При определении эффективности системы перекрестного питания следует рассматривать следующие характеристики системы управления расходом топлива:

$$S = f(A_m, B, C, D, L, F, N),$$

(1)

где A_m - вероятность отключения автоматического расхода топлива по магистрали любого двигателя объекта ($m = 4$); B, C, D, L - вероятности отключения автоматического расхода топлива по магистралям двух любых двигателей разных бортов объекта; F - вероятность отключения автоматического расхода топлива по магистралям двигателей одного борта; N - вероятность отключения автоматического расхода топлива в целом по объекту. Оптимизация в плоскости десяти параметров невозможна без использования определенной методики. Критерий эффективности целесообразно представлять в виде функций двух переменных, характеризующих эффект применения системы управления по определяющему и одному из подприоритетных показателей. Это позволяет использовать метод пошаговой оценки эффективности принимаемых технических решений. Базисные показатели $A_{m0}, B_0,$

C_0, D_0, L_0, F_0, N_0 определяются требованиями безопасности и регулярности выполнения полетов. Если формирование сигналов отключения автоматического расхода топлива осуществляется по состоянию сигнализаторов уровня в расходных секциях любого из двигателей и предрасходной секции, то приоритетным показателем системы управления является отключение автоматического расхода топлива в целом по объекту с определенной вероятностью. Для прочих модификаций систем управления определяющим показателем может быть вероятность отключения автоматического расхода топлива по борту объекта, приводящего к изменению плана и профиля полета. При решении задачи, определяющей эффективность обеспечения поперечной центровки летательного аппарата как объекта с ограниченным запасом устойчивости, выбор приоритетного и подприоритетного показателей определяется совмещением или разделением функций расхода и перекачки балансирующего топлива, выполняемых системой управления. Разработка математической модели системы управления с совмещением указанных функций предусматривает рассмотрение альтернативного качественного признака неработоспособного состояния вида «наличие перекачки балансирующего топлива». Рассмотрение признака необходимо при анализе влияния любого вида отказа функционального устройства, принадлежащего каждому уровню системы, при любом режиме её использования. Следовательно, приоритетным показателем является вероятность зависания топлива в крыльевом баке, из которого организуется начало расхода топлива по борту объекта. Под приоритетными показателями могут быть: вероятность полузависания либо зависания топлива в каждом крыльевом или фюзеляжном баке любого борта объекта; вероятность зависания топлива в группе баков, принадлежащих магистрали одного двигателя. При решении задачи для топливной системы объекта любой конфигурации приоритетным показателем становится вероятность зависания топлива в группе крыльевых и фюзеляжных баков. В качестве подприоритетных показателей могут быть выбраны: вероятность зависания либо полузависания топлива в баке топливной системы объекта, принадлежащем магистрали любого двигателя. При оценке эф-

фективности слива топлива в дренажную систему объекта за подприоритетный показатель выбирается вероятность переполнения расходной секции любого двигателя, определяемая по состоянию сигнализаторов ограничения автоматической перекачки топлива (вероятность кратковременного отключения автоматического расхода топлива из группы баков магистрали любого двигателя). Выбор приоритетного показателя определяется конструктивным исполнением функциональных узлов последующих уровней, преобразующих сигналы от сигнализаторов ограничения перекачки. Приоритетными показателями могут быть: вероятность переполнения расходных секций двигателей одного борта при наличии отказа группы каналов функционального узла; вероятность переполнения расходных секций обоих бортов при отказе всех каналов функционального узла. Вероятности событий, рассматриваемых при оценке эффективности реализуемых системой управления функций, определяются в соответствии с методикой расширенного табличного метода. Оптимум целевой функции определяется рекуррентным соотношением:

$$E = \max \left\{ E_r(C_{kr}, N_{kr}) + \left[E_{r-1} \left[\left(\sum_{i=1}^{r-1} C_{ki} - \tilde{C}_{kr} \right) \left(\sum_{i=1}^{r-1} N_{ki} - \tilde{N}_{kr} \right) \right] \right] \right\}, (2)$$

где r - число шагов, соответствующих числу функциональных устройств; C_{ki}, N_{ki} - заданные ресурсы; C_{kr}, N_{kr} - ресурсы, выделенные на каждый шаг; $\tilde{C}_{kr}, \tilde{N}_{kr}$ - ресурсы, обеспечивающие максимум эффективности на предшествующих шагах проектирования. Текущие значения $C_{тек}, N_{тек}$, соответствующие допустимым техническим решениям, определяются по формуле:

$$E_i = \left(1 - \frac{C_{ij}}{C_0} \right) \left(1 - \frac{N_{ij}}{N_0} \right) (3)$$

Дополнительный расход ресурсов, который может быть отнесен к $(i+1)$ шагу, обуславливается несовместимостью технических решений i -го и $(i+1)$ -го шага. На каждом из r шагов выбирается такое техническое решение, которое максимально увеличивает критерий эффективности системы управления.