

Н. И. МОРЕНКОВ, М. И. РАЗУМИХИН, Н. И. СМЕТАНИН

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА, СПОСОБНОГО ВЫКЛЮЧИТЬ ТУРБОВИНТОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ САМОПРОИЗВОЛЬНЫМ ФЛЮГИРОВАНИЕМ ВИНТОВ

Система управления воздушными винтами турбовинтовых двигателей позволяет осуществить автоматический ввод лопастей винта во флюгерное положение при отказах двигателя, приводящих к потере мощности на всех режимах работы двигателей.

При эксплуатации самолетов с турбовинтовыми двигателями (ТВД) имеют место случаи самопроизвольного автоматического флюгирования воздушных винтов в полете.

Установлено, что во многих случаях причиной флюгирования винтов на самолетах, с большой протяженностью магистралей топливной системы, является попадание воздуха в магистрали топливной системы. Это приводит к образованию воздушных пузырей в топливе или к разрыву струи топлива.

Тогда помпы вместо жидкости подадут топливовоздушную эмульсию. Возникнут перебои в работе помпы, проявляющиеся в виде пульсации и постепенного снижения давления топлива. Произойдет потеря мощности, вызывающая самопроизвольное автоматическое флюгирование воздушных винтов и останов двигателей.

С целью определения минимального количества воздуха, способного выключить двигатель самопроизвольным флюгированием винтов разработана следующая методика, проиллюстрированная на примере конкретного двигателя.

Попадание воздуха на вход в топливную помпу высокого давления можно уподобить скачкообразному снижению производительности помпы; при этом величина этого снижения производительности зависит от величины расхода воздуха в единицу времени.

Поскольку помпа обладает избыточной производительностью, то для изменения режима работы двигателя, расход воздуха должен быть таким, который мог бы обеспечить снижение производительности помпы до уровня расхода топлива исследуемого режима. Следовательно, объемный расход воздуха $Q_{р.в.}$ при давлении на входе в помпу можно определить как разность между объемной производительностью помпы и объемным расходом топлива на исследуемом режиме по формуле:

$$Q_{р.в.} = q_{п.н} - \frac{G}{\gamma_T \cdot 60}, \text{ л/мин}, \quad (1)$$

где $Q_{р.в.}$ — объемный расход воздуха, л/мин;

$q_{п.н}$ — производительность основного насоса, л/мин;

G — установившийся расход топлива на двигателе, кг/час;

γ_T — удельный вес топлива, кг/см³.

Для определения потребного объема воздуха $Q_{п.р}$ необходимо также знание времени от момента начала снижения режима работы двигателя до момента срабатывания системы автофлюгера.

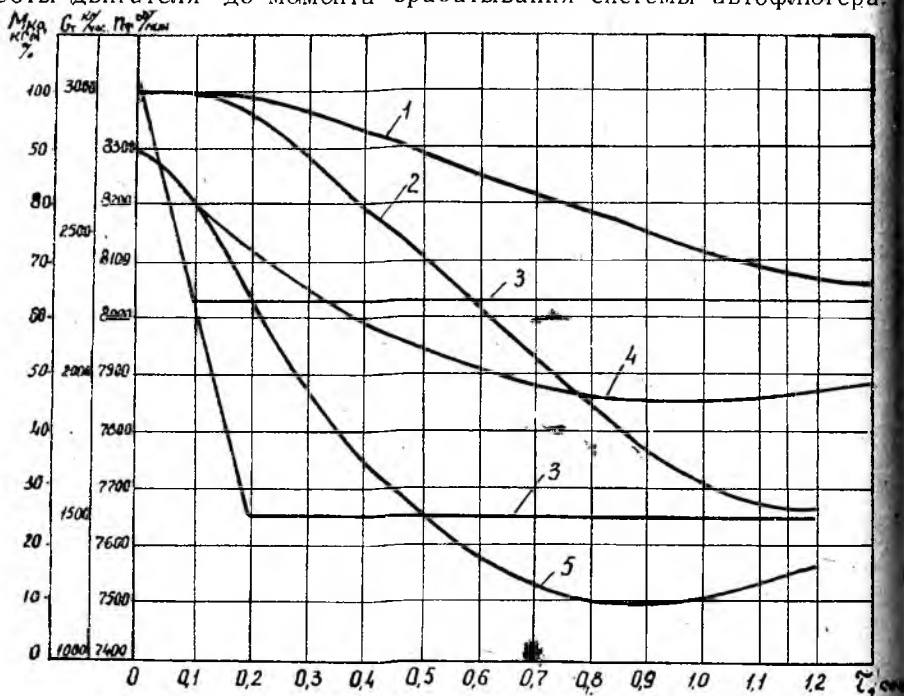


Рис. 1. Изменение оборотов турбины двигателя и крутящего момента винта в переходном процессе в зависимости от падения часовых расходов топлива ($T_0=291,4^\circ\text{K}$)

1 — крутящий момент винта при падении часового расхода топлива от $G=3050$ до $G=2260$ кг/час; 2 — крутящий момент винта при падении часового расхода топлива от $G=3050$ до 1500 кг/час; 3 и 3 — часовые расходы топлива; 4 — обороты турбины при падении часового расхода топлива от $G=3050$ до $G=2260$ кг/час; 5 — обороты турбины при падении часового расхода топлива от $G=3050$ до $G=1500$ кг/час

Тогда этот объем воздуха можно определить по формуле:

$$Q_{п.р} = \left(q_{п.н} - \frac{G}{\gamma_T \cdot 60} \right) \cdot \frac{\tau}{60} \text{ л,} \quad (2)$$

где τ — время от момента начала снижения режима работы двигателя до момента срабатывания системы автофлюгера, сек.

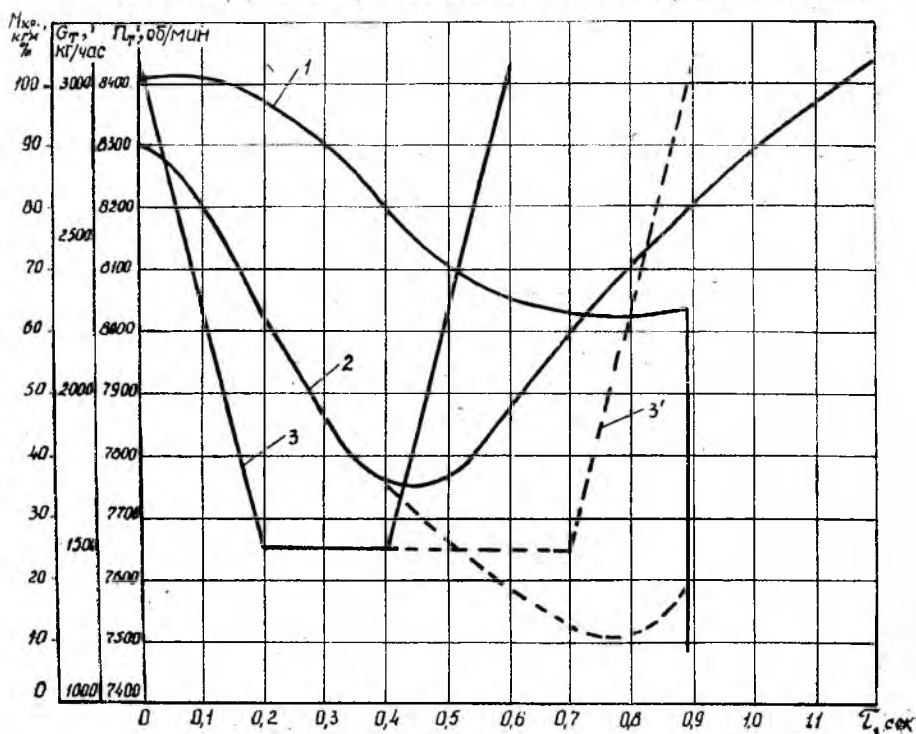


Рис. 2. Изменение оборотов турбины двигателя в переходном процессе при падении и возрастании часовых расходов топлива ($T_0 = 291,4^\circ\text{K}$)

1 — крутящий момент винта; 2 — обороты турбины; 3 и 3' — часовые расходы топлива

С целью определения времени от момента начала снижения режима работы двигателя до момента срабатывания системы автофлюгера необходим анализ переходных процессов. При анализе переходных процессов, связанных с квазискатчкообразным снижением расхода топлива и флюгированием винтов возможны две расчетные схемы:

— расход топлива падает до величины, соответствующей такому статическому режиму, при котором величина крутящего момента может быть несколько меньше величины настройки датчика автофлюгера (рис. 1);

— расход топлива при попадании воздуха падает до величины, при которой обороты двигателя снижаются ниже допустимых пределов (рис. 2).

Восстановление подачи топлива и заниженные обороты приведут к возникновению помпажа в компрессоре двигателя. Это вызывает достаточно крутое падение величины крутящего момента и срабатывание системы автофлюгера. Положим, что полное время зарядки узла ступенчатой приемистости командно-топливного агрегата двигателя в случае провала оборотов ниже $n_T = 7800$ об/мин. составляет 7—8 сек. при температуре масла $70 \div 75^\circ\text{C}$.

Сравнивая это время с полным временем переходного процесса (не более $1 \div 2$ сек), можно считать, что заметного снижения расхода топлива при восстановлении подачи не будет.

Очевидно, наиболее вероятным случаем самопроизвольного флюгирования является вторая схема, поскольку в этом случае потребное количество воздуха будет меньше.

Для расчета переходных процессов регулирования ТВД было использовано следующее уравнение:

$$\left(M_{т.к} - I_T \frac{d\omega_T}{dt} \right) \cdot k = M_B + I_B \frac{d\omega_B}{dt}, \quad (3)$$

где $M_{т.к}$ — крутящий момент на валу двигателя, кгм;

I_T — момент инерции турбокомпрессора, кгмсек²;

k — передаточное отношение от ротора двигателя к воздушному винту;

M_B — крутящий момент сопротивления винта, кгм;

I_B — момент инерции винтов, кгмсек²;

ω_T — угловая скорость турбины, $\frac{1}{\text{сек}}$;

ω_B — угловая скорость винта, $\frac{1}{\text{сек}}$.

Известно, что

$$\omega_T = k \cdot \omega_B, \quad (4)$$

$$\frac{d\omega_T}{dt} = k \frac{d\omega_B}{dt} \quad (5)$$

и учитывая, что

$$\omega_T = \frac{2\pi n_T}{60},$$

где n_T — обороты турбины двигателя, об/мин,

$$M_B = \frac{N_B \cdot 75 \cdot 60}{2\pi \cdot n_B}, \quad (6)$$

где N_B — мощность сопротивления винта, л. с;

$$N_B = \frac{1}{75} \rho \cdot \beta \cdot n_B^3 \cdot D_B^5 \quad (7)$$

где ρ — плотность воздуха на уровне моря, кгсек²/м⁴;

β — коэффициент мощности винтов;

n_B — обороты винта, об/сек;

D_B — диаметр винта, м.

Тогда, после некоторых преобразований, имеем:

$$\frac{dn_T}{dt} = \frac{30k}{\pi \left(I_u \frac{1}{k} + I_T \cdot k \right)} \cdot \frac{75 \cdot 60 N_T}{2\pi \cdot n_T} - \frac{30}{\pi \left(I_B \frac{1}{k} + I_T \cdot k \right)} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 60^2} \rho D_B^5 \cdot n_B^2 \cdot \beta \quad (8)$$

и, принимая значение $I_B = k \text{ гмсек}^2$, $I_T = 3,65 \text{ гмсек}^2$, $K = 11,33$, получим окончательный вид формулы скорости снижения оборотов винта во времени

$$\frac{dn_T}{dt} = 1541 \cdot \frac{N_T}{n_T} - 21,46 n_B^2 \cdot \beta, \quad (9)$$

где n_T — обороты турбины, *об/мин*;
 n_B — обороты винта, *об/сек*;
 N_T — мощность турбины, *л. с*;
 β — коэффициент мощности винтов.

Используя формулу (9) и принимая близкий к экспериментальному линейный закон падения часовых расходов топлива с 3050 *кг/час*, до 1500 *кг/час* за 0,2 *сек.* получим изменение оборотов турбины двигателя в переходном процессе при падении и возрастании часовых расходов топлива (рис. 2).

По имеющемуся графику граничных оборотов срыва потока на лопатках компрессора двигателя (рис. 3) для максимального режима работы двигателей — $\alpha_B = 108^\circ$ по УПРТ при стандартной заторможенной температуре наружного воздуха $T_0 = 291,4^\circ$ определяется число оборотов, при которых наступает срыв потока. Это число равно 7715 *об/мин*.

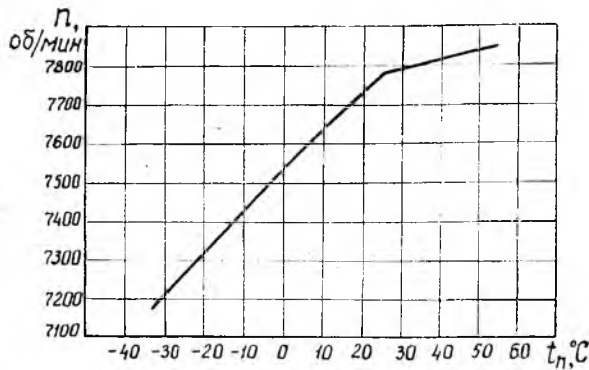


Рис. 3. Граничные обороты срыва потока на лопатках компрессора двигателя для максимального режима работы двигателей в условиях взлета

Полученные обороты обычно снижают на величину возрастания оборотов при восстановлении часового расхода топлива.

Эта величина составляет примерно 115—125 *об/мин*.

Точка, соответствующая провалу оборотов до уровня, равного 7600 *об/мин*, берется из графика рис. 2; этому уровню провала оборотов соответствует время, равное 0,8 *сек.*

Приняв производительность помпы равной 85 *л/мин*, установившийся часовой расход топлива $G = 1500 \text{ кг/час}$ и искомое время $\tau = 0,8 \text{ сек.}$, подставляем эти значения в формулу (2) и опреде-

ляем минимальный объем воздуха, способный выключить двигатель самопроизвольным флюгированием винтов.

В этом случае минимальный объем воздуха способный выключить двигатель будет равен 780 см^3 .

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная методика дает возможность определить, что попадание «чистого воздуха» на вход в основной насос двигателя в количестве $780 \div 800 \text{ см}^3$ вызывает помпаж двигателя и флюгирование винтов.

2. Методику определения минимального количества «чистого воздуха», способного зафлюгировать винты системой всережимного флюгирования, можно рекомендовать самолетным и двигательным ОКБ, а также эксплуатирующим организациям как метод объективной оценки причин самопроизвольного флюгирования винтов.
