

УДК 629.7:519.63:536.21

Д.А. ИОНОВ, Н.С. МЕЛЬНИКОВА

ФГУП ММПП «Салют», Россия

ВЛИЯНИЕ УХУДШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ ДВИГАТЕЛЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ СУММАРНОГО ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ФОРСАЖНОЙ КАМЕРЕ

Проблема регулирования современных двигателей сводится к вопросам, связанным с оптимальным управлением его многочисленными параметрами, обеспечивая при этом наилучшие летно-технические и экономические показатели самолета во всех эксплуатационных условиях полета. С помощью полной нелинейной динамической модели двигателя рассмотрено влияние ухудшения характеристик основных узлов двигателя в процессе эксплуатации на величину коэффициента суммарного избытка воздуха α_{Σ} . Показано, что если при управлении не учитывать ухудшения характеристик узлов, то в процессе работы тяга двигателя отклоняется от своего номинального значения. На основании полученных результатов представлен метод вычисления коэффициента суммарного избытка воздуха по регрессионной модели.

форсажная камера сгорания, штатно-измеряемые параметры, коэффициент суммарного избытка воздуха, закон управления, алгоритм вычисления, регрессионная модель

Введение

Вопросы оптимального управления режимами полета самолета и режимами работы силовой установки становятся все более актуальными. При этом регулирование многочисленных параметров необходимо осуществлять, обеспечивая наилучшие летно-технические и экономические показатели самолета во всех эксплуатационных условиях полета.

Известно, что реальные характеристики узлов двигателя отличаются от номинальных, выбранных при проектировании и экспериментальной проверке опытных экземпляров двигателя. Это связано с тем, что в процессе эксплуатации двигателя по мере выработки ресурса, его работы в неблагоприятных климатических условиях и экстремальных условиях, попадания на вход в двигатель пыли, осколков аэродромного покрытия, кусочков льда или других посторонних предметов, а также из-за отклонения конструкторских и технологических параметров в пределах допусков при серийном производстве или ремонте характеристики узлов и проточной части изменяются

В данной работе рассмотрены вопросы влияния ухудшений характеристик основных узлов двигате-

ля на коэффициент суммарного избытка воздуха в форсажной камере сгорания двигателя, а также тягово-экономические характеристики двигателя.

Форсажный режим выбран не случайно, его применение на двигателях обеспечивает улучшение взлетных, разгонных и маневренных характеристик самолета, повышает высотность и скорость полета.

Изложение материалов исследования

Для моделирования процессов управления форсажными режимами использовалась полная нелинейная динамическая модель двигателя, идентифицированная по результатам стендовых испытаний двигателя, прошедшего Государственные испытания.

Используемый в настоящее время закон управления $G_{\text{тф}}/P^*_{\text{к}} = f(\alpha_{\text{руд}}, T^*_{\text{вх}})$ не учитывает отклонения характеристик узлов, и поэтому в процессе эксплуатации при ухудшении характеристик двигателя, последний не может выйти на свои номинальные параметры.

В качестве ухудшений в модель двигателя вводились следующие параметры:

- $\Delta\eta_v$ - ухудшение КПД вентилятора;
- ΔG_v - ухудшение расхода воздуха в вентиляторе;
- $\Delta\eta_k$ - ухудшение КПД компрессора;
- ΔG_k - ухудшение расхода воздуха в компрессоре;
- $\Delta\eta_{тнд}$ - ухудшение КПД турбины низкого давления;
- $\Delta G_{тнд}$ - ухудшение расхода воздуха турбины низкого давления;
- $\eta_{фк}$ - ухудшение КПД в основной камере сгорания;

Каждая из вводимых величин имеет свой диапазон варьирования, который был выбран в результате анализа материалов экспериментальных исследований и эксплуатации различных ТРДДФ одного типа в процессе всего жизненного цикла.

Исследуемые параметры такие, как давление заторможенного потока воздуха за компрессором, давление заторможенного потока газа за турбиной, расход воздуха через компрессор, тяга и т.д. отличаются от параметров номинального двигателя. В результате возникает недорасход или перерасход топлива в форсажную камеру при работе двигателя на форсированных режимах, что влечет за собой потерю тяги.

На основании теории планирования эксперимента было выбрано 50 двигателей одной модификации, но отличающиеся друг от друга различными ухудшениями характеристик узлов.

На рис. 1 показан диапазон изменения α_Σ в процессе эксплуатации. На рис. 2 показано влияние ухудшений на величину тяги ($P_{отн} = P/P_{max}$). Исследование проводилось при моделировании двигателей, в которых была реализована программа управления форсажным контуром $G_{тф}/P_k^*$. Данные 6 из 50 двигателей здесь показаны. На рис. 3 показаны результаты стендовых испытаний двигателя снятого с эксплуатации, а также двигателя в процессе эквивалентно – циклических испытаний на форсированных

режимах работы. Определялось текущее значение коэффициента суммарного избытка воздуха в зависимости от режима работы двигателя.

Толстой линией показаны значения базового двигателя (номинального) которые проводились без учета ухудшений его основных узлов. Графический материал дает представление о том, что со временем и с учетом условий эксплуатации двигателя штатные программы управления не выводят его на расчетные величины по тяге и α_Σ .

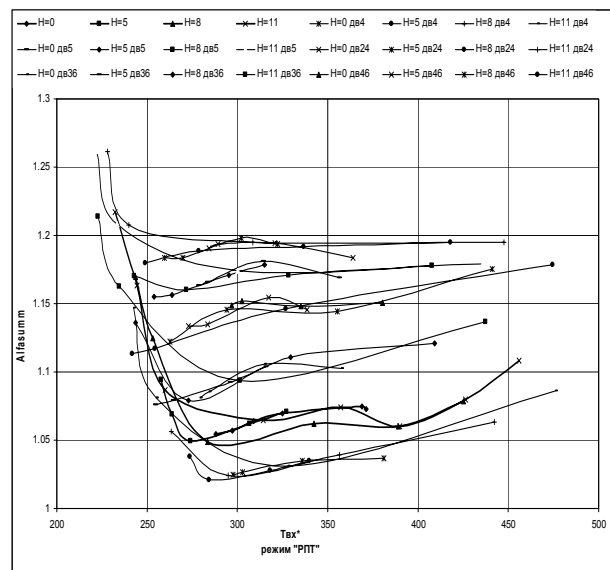


Рис. 1. Влияние ухудшения характеристик двигателя на коэффициент суммарного избытка воздуха в форсажной камере сгорания.

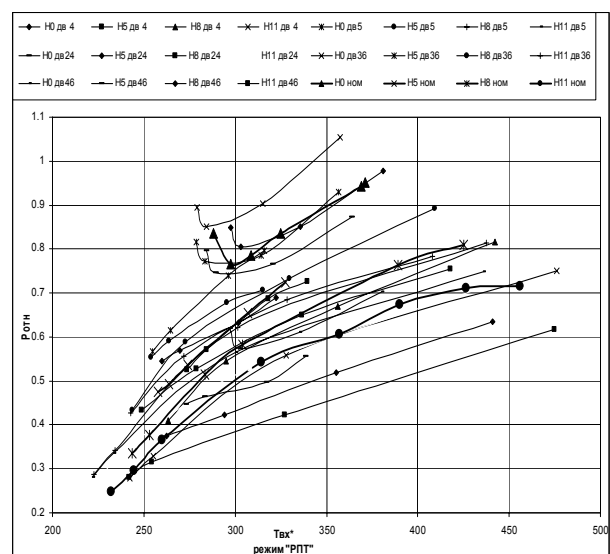


Рис. 2. Влияние ухудшения характеристик двигателя на величину относительной тяги.

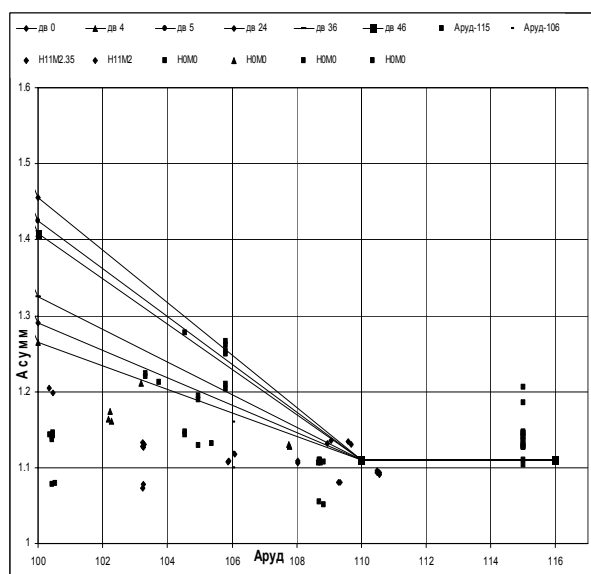


Рис. 3. Результаты стендовых испытаний двигателя снятого с эксплуатации, а также двигателя в процессе эквивалентно – циклических испытаний

Следовательно, для обеспечения наибольшего значения тяги на всех форсированных режимах (от минимального до полного) необходимо поддерживать определенную величину параметра α_Σ – реализация новых программ управления, в частности $\alpha_\Sigma = \text{const}$.

Это возможно реализовать, когда параметр α_Σ вычисляется в процессе полета по показаниям датчиков, сравнивается с заданным значением (в зависимости от режима работы двигателя) и система автоматического управления компенсирует полученную дельту ($\Delta\alpha_\Sigma$) в сторону достижения максимальной величины тяги.

Вычисление основано на аппроксимации расхода воздуха в двигатель $G_{в\Sigma}$ с последующим расчетом α_Σ по известному выражению:

$$\alpha_{\phi\kappa\Sigma} = \frac{3600 \cdot G_{\phi\Sigma}}{14,94 \cdot G_{m\Sigma}}, \quad (1)$$

где $G_{в\Sigma}$ – суммарный расход воздуха через двигатель в кг/сек; $G_{т\Sigma} = G_t + G_{тф}$ – суммарный расход топлива в основную и форсажные камеры сгорания в кг/час; 14,94 – коэффициент стехиометрии для топливовоздушной смеси: керосин – воздух.

Регрессионная модель вычисления коэффициента $G_{в\Sigma}$ в общем виде представлена как произведение штатно-измеряемых параметров, возведенных в соответствующие каждому из них степени:

$$\bar{G}_{\phi\Sigma} = e^{Co} \cdot \prod_{i=1}^m \bar{x}_i^{a_{ij}}. \quad (2)$$

Заключение

Ухудшения характеристик основных узлов двигателя на режиме полного форсажа в процессе эксплуатации могут привести к уменьшению тяги до 25% в зависимости от двигателя (50 вариантов).

Дозирование топлива в форсажную камеру будет проводиться из условия поддержания заданной величины α_Σ во всем эксплуатационном диапазоне работы двигателя. Тем самым мы будем оптимально управлять составом топливо – воздушной смеси в ФК. Новый способ вычисления необходимого нам параметра, плюс переход на цифровые системы управления двигателем позволяет использовать закон управления расходом топлива в форсажной камере сгорания $\alpha_\Sigma = \text{const}$, как следствие парировать ухудшение характеристик двигателя в процессе эксплуатации.

Литература

1. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. Т. I. – М.: Наука, 1970. – 456 с.
2. Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
3. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента: Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 381 с.

Поступила в редакцию 21.05.2008

Рецензент: д-р тех. наук Г.В. Добрянский, ФГУП ММП «Салют», Москва, Россия.