



КОНТРОЛЬ РАЗНОТЯГОВОСТИ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВУХКОНТУРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО САМОЛЁТА ПРИ ПОЯВЛЕНИИ РАЗНИЦЫ ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ ИХ РОТОРОВ

Продолжение темы.
Начало в №5 за 2018

Московский Авиационный Институт (Национальный исследовательский университет)
Аделия Юрьевна Бурова, старший преподаватель
Юрий Михайлович Кочетков, д.т.н.

Рассмотрены вопросы, связанные с контролем разнотяговости турбореактивных двухконтурных двигателей силовой установки двухдвигательного самолёта. Приведены результаты конкретизации математической модели их разнотяговости.

The issues related to the automatic control of the thrust asymmetry of turbojet two-circuit engines of the power plant of a twin-engine aircraft are considered. The results of concretization of mathematical model of traction asymmetry are presented.

Ключевые слова: турбореактивный двухконтурный двигатель, тяга, разнотяговость, частота вращения ротора низкого давления, частота вращения ротора высокого давления.

Keyword: turbojet engine, thrust, thrust asymmetry, low pressure rotor speed, high pressure rotor speed.

Постоянный автоматический контроль взаимного соответствия качества работы турбореактивных двухконтурных двигателей (ТРДД) силовой установки двухдвигательного самолёта сразу по двум параметрам их тяги в полёте можно и должно считать одним из путей повышением безопасности полётов среднемагистральных и дальнемагистральных самолётов с такими силовыми установками согласно требованиям обновлённого Воздушного кодекса Российской Федерации и её Федеральным авиационным правилам в свете непрерывного совершенствования отечественной системы технического регулирования [1,2,3]. Многомерная постановка задачи контроля и компенсации разнотяговости однотипных ТРДД сразу по двум параметрам их тяги позволяет формализовать зависимость разнотяговости этих двигателей от частот вращения их роторов низкого давления (РНД) и роторов компрессоров высокого давления (КВД), используя эти измеряемые рабочие параметры ТРДД в качестве параметров его тяги [3,4].

Однако сложность эксплуатации ТРДД силовой установки двухдвигательного самолёта в полёте требует конкретизации параметров математической модели разнотяговости его двигателей от частот вращения их роторов [5]. Такая конкретизация необходима для оценки взаимного соответствия качества работы ТРДД силовой установки двухдвигательного самолёта в полёте, поскольку изменение разнотяговости его двигателей вследствие изменений частот вращения их роторов при взлёте и наборе высоты свидетельствует о частичной неисправности или повреждениях одного из этих двигателей [6].

Целью исследования является поиск решения задачи контроля разнотяговости ТРДД, возникающей от разницы частот вращения их роторов.

Материал и методы исследования

Материалом исследования является силовая установка двухдвигательного самолёта с ТРДД. Методами исследования являются методы математического моделирования и минимизация разнотяговости и асимметрии тяги однотипных ТРДД в многомерной постановке задачи контроля и компенсации их разнотяговости и асимметрии тяги по двум параметрам ТРДД.

Результаты исследования и их обсуждение

Зависимость разнотяговости ΔR_{TRDD} ТРДД с тягой R_{TRDD} , частотой вращения РНД n_1 , частотой вращения ротора КВД n_2 и ТРДД с тягой R_{TRDD}^* , частотой вращения РНД n_1^* , частотой вращения ротора КВД n_2^* от частот вращения роторов этих двигателей можно и должно формализовать в виде разностного уравнения с коэффициентами J_1, J_2 [3]:

$$\Delta R_{TRDD} = |R_{TRDD} - R_{TRDD}^*| = |J_1 [(n_1)^2 - (n_1^*)^2] + J_2 [(n_2)^2 - (n_2^*)^2]. \quad (1)$$

Тогда разнотяговость ΔR_{TEST} двигателя с максимальной тягой $R_{TESTmax}$ и двигателя с минимальной тягой $R_{TESTmin}$ по результатам их испытаний на заводских горячих стендах в режиме "ВЗЛЁТ" в условиях серийного производства на заводе-изготовителе:

$$\Delta R_{TEST} = R_{TESTmax} - R_{TESTmin} \quad (2)$$

$$R_{TESTmax} = J_1 (n_{1max})^2, \quad (3)$$

$$R_{TESTmin} = J_1 (n_{1min})^2, \quad (4)$$

$$R_{TESTmid} = J_1 (n_{1mid})^2, \quad (5)$$

$$R_{TESTmax} = J_2 (n_{2max})^2, \quad (6)$$

$$R_{TESTmin} = J_2 (n_{2min})^2, \quad (7)$$

$$R_{TESTmid} = J_2 (n_{2mid})^2, \quad (8)$$

$$R_{TESTmin} \leq R_{TESTmid} \leq R_{TESTmax} \quad (9)$$

$$n_{1mid} = (n_{1max} + n_{1min}) / 2, \quad (9)$$

$$n_{2mid} = (n_{2max} + n_{2min}) / 2, \quad (10)$$

если $n_{1min} \leq n_{1test} \leq n_{1max}$

$$R_{TEST} = J_1 (n_{1test})^2, \quad (11)$$

$$R_{TEST} = J_2 (n_{2test})^2. \quad (12)$$

Исходную разнотяговость ТРДД двухдвигательного самолёта, возникающую от разницы частот вращения их роторов можно и должно контролировать при глубоком тестировании технического состояния этих двигателей сразу по двум параметрам их тяги (частотам вращения роторов) после их испытаний на заводских горячих стендах в условиях серийного производства на заводе-изготовителе [4]. При этом уровень тяги R_{TRDD} глубоко протестированного ТРДД по результатам глубокого тестирования его технического состояния:

$$R_{TRDD} = J_1 (n_{1test})^2 = J_1 (C_1 \cdot n_{1test})^2, \quad (13)$$

$$R_{TRDD} = J_2 (n_{2test})^2 = J_2 (C_2 \cdot n_{2test})^2. \quad (14)$$

Требуется, чтобы

$$R_{TRDD} = R_{TRDDmid} \quad (15)$$

$$R_{TRDDmid} = R_{TESTmid} = J_1 (C_{1mid} \cdot n_{1mid})^2, \quad C_{1mid} = 1,$$

$$J_1 (C_1 \cdot n_{1test})^2 = J_1 (C_{1mid} \cdot n_{1mid})^2,$$

$$C_1 \cdot n_{1test} = n_{1mid}$$

$$C_1 = n_{1mid} / n_{1test} = (n_{1max} + n_{1min}) / (2 \cdot n_{1test}),$$

$$C_1 = (n_{1max} + n_{1min}) / (2 \cdot n_{1test}), \quad (15)$$

$$R_{TRDDmid} = R_{TESTmid} = J_2 (C_{2mid} \cdot n_{2mid})^2, \quad C_{2mid} = 2,$$

$$J_2 (C_2 \cdot n_{2test})^2 = J_2 (C_{2mid} \cdot n_{2mid})^2,$$

$$C_2 \cdot n_{2test} = n_{2mid}$$

$$C_2 = n_{2mid} / n_{2test} = (n_{2max} + n_{2min}) / (2 \cdot n_{2test}),$$

$$C_2 = (n_{2max} + n_{2min}) / (2 \cdot n_{2test}). \quad (16)$$

Весовые коэффициенты C_1 и C_2 для одного ТРДД с параметрами тяги n_1, n_2 и весовые коэффициенты C_1^* и C_2^* для другого ТРДД с параметрами тяги n_1^*, n_2^* при соотношении измеренных на заводе значений (тестовых значений) $n_{1test}, n_{2test}, n_{1test}^*, n_{2test}^*$ этих параметров тяги $n_{1min} < n_{1test} < n_{1max}, n_{2min} < n_{2test} < n_{2max}, n_{1min} < n_{1test}^* < n_{1max}, n_{2min} < n_{2test}^* < n_{2max}$ необходимы для предотвращения ложных срабатываний системы автоматического управления силовой установкой из-за исходной "разнотяговости" двух ТРДД вследствие неравенства тестовых значений частот вращения их роторов n_{1test} и n_{1test}^* или n_{2test} и n_{2test}^* , если тестовые значения частот вращения этих роторов $n_{1min} < n_{1test} < n_{1max}$ или $n_{1min} \leq n_{1test}^* \leq n_{1max}$ и (или) $n_{2min} < n_{2test} < n_{2max}$ или $n_{2min} \leq n_{2test}^* \leq n_{2max}$, если n_{1min} и n_{2min} - минимальные значения частот вращения роторов ТРДД, успешно прошедших глубокое тестирование технического состояния, а n_{1max} и n_{2max} - максимальные значения частот вращения роторов таких ТРДД.

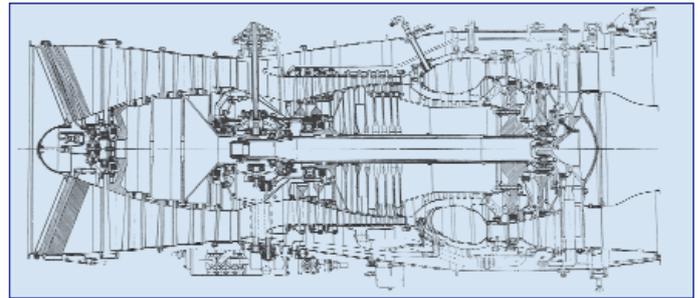
Предложенное решение задачи автоматического контроля разнотяговости ТРДД в зависимости от разницы частот их роторов может и должно повысить безопасность полёта этого самолёта за счёт оперативной оценки взаимного соответствия качества работы его двигателей сразу по двум параметрам их тяги при взлёте и наборе высоты. Объективность такой оценки обеспечивается конкретизацией параметров математической модели зависимости разнотяговости ТРДД силовой установки двухдвигательного самолёта от частот вращения их роторов, которые используются в качестве параметров тяги его двигателей в полёте. Эта конкретизация позволяет сузить диапазон изменения параметров тяги ТРДД силовой установки двухдвигательного самолёта при взлёте, что способствует сокращению времени принятия решений при частичной неисправности или повреждении одного из его двигателей. **П**

Литература

1. Воздушный кодекс и Федеральные авиационные правила 2017 - М.: ООО "Авиатека", 2017. - 1008 с.
2. Афанасьев В.А., Лебедев В.А., Монахова В.П., Мышелов Е.П., Ножницкий Ю.А. Техническое регулирование и управление качеством. - М.: Книжный дом "Либроком", 2013. - 256 с.
3. Бурова А.Ю., Кочетков Ю.М. Формализация зависимости разнотяговости турбореактивных двухконтурных двигателей двухдвигательного самолёта, возникающей от разницы частот вращения их роторов // Двигатель. - 2018. - № 5 (119). - С. 14-15.

4. Дворниченко В.В., Бурова А.Ю. Глубокое тестирование турбореактивных двигателей методами математической статистики для повышения их соответствия нормативам ICAO // Вестник Московского авиационного института. - 2011. - Т. 18, № 3. - С. 116-127.
5. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах. Раздел IV. Расчёт и конструирование машин. Т. IV-21. Самолёты и вертолёт-ы. Кн. 3. Авиационные двигатели / В.А. Скибин, В.И. Солонин, Ю.М. Темис, В.А. Сосунов и др. Под ред. В.А. Скибина, Ю.М. Темиса и В.А. Сосунова. Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. - М.: Машиностроение, 2010. - 720 с.
6. Скрипниченко В.Г. Применение математического моделирования и теоретических методов при анализе особых случаев взлёта и посадки воздушных судов: дисс. . докт. техн. наук. - М., 2005. - 438 с.

Связь с авторами: frambe@mail.ru



О СОВМЕСТНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОТРУДНИКОВ ЦИАМ И КАФЕДРЫ Э-3 В СФЕРЕ СОЗДАНИЯ УСТАНОВОК ПО УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

Валерий Игнатьевич Гуров, д.т.н., начальник сектора ГНЦ РФ ЦИАМ

В 1996 году началось очередное плодотворное сотрудничество специалистов ЦИАМ и кафедры Э-3 МГТУ им. Н.Э. Баумана в составе Временного творческого коллектива (ВТК) по выполнению задания ЦБ РФ по утилизации спецмакулатуры. В состав этого ВТК от ЦИАМ входили В.И. Гуров, К.Н. Шестаков, А. Худяков и Ю. Марков, от кафедры Э-3 МГТУ - В.Е. Михальцев, Р.З. Тумашев, В.Д. Моляков и Ю.Л. Маслов. Гинцвемет представлял П. Коган. По результатам проделанного выпущено технико-экономическое обоснование объемом 95 страниц "Установка для высокоэкологической термообработки макулатуры бумажной специальной с получением теплоэнергетического эффекта".

В дальнейшем на основании достигнутых результатов проведены обширные исследования газотурбинных установок для работы на продукт-газе и биогазе коллективом в составе В.И. Гурова, В.Л. Иванова, И.Г. Суровцева и К.Н. Шестакова. Получено несколько патентов на изобретения и полезные модели, один из которых (патент РФ №2520214 на изобретение, 2014) награжден дипломом в номинации "Сто лучших изобретений России в 2014 году". Интересно отметить, что это тот самый патент, который был первой пробой пера И.Г. Суровцева в области создания объектов интеллектуальной собственности. Самое начало работы - и такой ошеломляющий результат!

На юбилее факультета "Энергетическое машиностроение" собрались специалисты, которые участвовали в упомянутых работах и занимаются развитием этой темы в настоящее время. На фото - выпускники кафедры Э-3 разных лет (в скобках год выпус-



ка). На фото слева направо И. Гуров (1994), В. Гуров (1964), В. Венедиктов (1956), И. Суровцев (1965), Ю. Елисеев (1976), В. Дячук (1995), В. Насонов (1987), С. Бурцев (1999). **П**

