

# АНЭРРОРИКА УПРАВЛЕНИЯ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ АВИАЛАЙНЕРА В ПОЛЁТЕ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ ТЯГОЙ

**Аделя Юрьевна Булова**, старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ФГБОУ ВО) "Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)" (МАИ)

Рассмотрены вопросы, связанные с анэррорикой управления двухдвигательной силовой установкой авиалайнера до и после повреждения и (или) частичной неисправности одного из его двигателей в полёте. Показана возможность такой анэррорики путём сравнительного анализа измеряемых и заданных значений параметров тяги его газотурбинных двигателей. Определены условия минимизации разнотяговости этих двигателей в полёте и компенсации асимметрии их тяги после повреждения и (или) частичной неисправности одного из них.

The issues related to the unerroric of controlling the two-engine powerplant of an airliner before and after damage and (or) partial failure of one of its engines in flight are considered. The possibility of such an unerroric is shown by a comparative analysis of the measured and set values of the thrust parameters of its gas turbine engines. The conditions for minimizing these engines thrust asymmetry in flight and compensating for their thrust asymmetry after damage and (or) partial failure of one of them are determined.

**Ключевые слова:** асимметрия тяги, газотурбинный двигатель, минимизация разнотяговости, силовая установка, частичная неисправность.

**Key words:** thrust asymmetry, gas turbine engine, minimization of misalignment, power plant, partial failure

Результаты анализа причин аварий самолётов МиГ-29 в ноябре 2019 г. и феврале 2020 г. в очередной раз подтвердили необходимость комплексной оценки влияния человеческого фактора и технического состояния авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) на безопасность полёта. Субъективность контроля нескольких параметров тяги этих двигателей в полёте актуализирует исследование дополнительных возможностей автоматического управления тягой двухдвигательных силовых установок (ДДСУ) авиалайнеров [1].

Цель исследования - формализация условий анэррорики управления тягой ДДСУ авиалайнера до и после повреждения и (или) частичной неисправности одного двигателя в полёте. При исследовании использовались методы программного моделирования алгоритмов контроля тяги ГТД ДДСУ.

Понятие "анэррорика" (от латинского "errare") означает совокупное применение способов и процедур снижения погрешности методов и алгоритмов обработки информации [2]. Под термином "анэррорика" применительно к управлению тягой ДДСУ авиалайнера понимается снижение погрешности контроля тяги его ГТД программно-аппаратными средствами системы автоматического управления (САУ) ДДСУ [3].

Эрозия и коррозия рабочих лопаток турбин обоих ГТД ДДСУ авиалайнера обуславливают неизбежность его полёта с несимметричной тягой и возможностью частичной неисправности одного из двух ГТД в полёте. Уменьшить или скомпенсировать их разнотяговость можно и должно только программными средствами САУ ДДСУ без применения дополнительных аппаратных средств

В качестве параметров тяги левого и правого ГТД ДДСУ предлагается рассматривать измеряемые значения частоты вращения вентиляторов левого ГТД  $n_L$  и правого ГТД  $n_R$ , которую можно использовать как управляемый параметр в САУ ДДСУ. Сравнительная оценка соотношений минимально допустимого  $n_S$ , максимально достижимого  $n_T$  и измеряемых  $n_L$  и  $n_R$  значений частоты вращения вентиляторов с учётом вычисляемых значений первых производных  $n_L' = dn_L/dt$  и  $n_R' = dn_R/dt$  при заданных значениях поправочных коэффициентов  $C_L$  и  $C_R$ , зависящих от динамических свойств вентиляторов обеспечивает снижение погрешности автоматического управления тягой ДДСУ авиалайнера за счёт автоматического контроля исправности его двигателей и симметрии их тяги в полёте одновременно. Результаты исследования показали и подтвердили возможность минимизации разнотяговости этих ГТД при соотношении параметров их тяги по формулам (1)-(2) и её компенсации при соотношении тех же параметров по формуле (3) или по формуле (4):

$$0 < n_S < n_L + C_L n_L' < n_R < n_T \quad (1)$$

$$0 < n_S < n_R + C_R n_R' < n_L < n_T \quad (2)$$

$$0 < n_L + C_L n_L' < n_S < n_R < n_T \quad (3)$$

$$0 < n_R + C_R n_R' < n_S < n_L < n_T \quad (4)$$

Такая формализация условий анэррорики управления тягой ДДСУ авиалайнера позволит обеспечить своевременное повышение тяги левого или правого ГТД при безотказной работе обоих двигателей в полёте с несимметричной тягой и своевременное повышение тяги одного двигателя при отказе другого двигателя.

Отличительной особенностью и новизной этой формализации является снижение погрешности автоматического контроля качества работы ДДСУ путём сравнительного анализа измеряемых и заданных значений частот вращения вентиляторов её двигателей до и после повреждения и (или) частичной неисправности одного из них в полёте [4]. Достоверность результатов исследования обеспечивается их соответствием известным результатам успешных научно-исследовательских работ. **П**

## Литература

1. Булова А.Ю. Турбореактивные двухконтурные двигатели: программа-прогноз ускоренного развития на среднесрочную перспективу // Молодежь и будущее авиации и космонавтики: аннотации работ конкурса научно-тех. работ и проектов национал. исследов. ун-та "Московский Авиационный Институт" (МАИ) 2013 г. - М.: Изд-во МАИ, 2013. - с. 86.
2. Burova A.Yu., Kabakov V.V. "Unerroric" of multistage discrete Fourier transform of digital signal without arithmetic operations of multiplication. Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. №25. pp. 429-437.
3. Burova A.Yu. (2019). Minimization of asymmetry of thrust of the dual-flow turbojet engines of the air-liner in accordance with the results of the system analysis of the thrust parameters. Asia Life Sciences Supplement. 21(2), 629-643.
4. Малышев В.В. Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления: Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. - 440 с.
5. Пат. 2306446 Российская Федерация, МПК F02C 9/42. Способ управления силовой установкой самолета / Иноземцев А.А., Семенов А.Н., Савенков Ю.С., Саженов А.Н., Трубников Ю.А., заявитель и патентообладатель ОАО "АВИАДВИГАТЕЛЬ". - №2005136774/06. Заявл. 25.11.2005, опубл. 20.09.2007, Бюл. №26. - 7 с.
6. Novichkov V.M., Burova A.Yu. Algorithm of Two Turbojets Thrust Asymmetry Minimization for Digital Control System of Twin-Engine Jet Airliner // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Date Added to IEEE Xplore: 19 December 2019, DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934285.

Связь с автором: frambe@mail.ru