

Традиционно в организации и работе аэрокосмической школы принимают участие ведущие предприятия – партнеры УГАТУ: УМПО, “Международный аэропорт Уфа”, Приборостроительный завод (г. Трёхгорный), АО “Комбинат Маяк” (г. Озёрск), Машиностроительный завод им. М.И. Калинина (г. Екатеринбург), Приборостроительный завод (г. Катав-Ивановск). На предприятиях прекрасно понимают – именно с таких школ начинается ранняя профориентация, идёт поиск молодежи, ориентированных в будущем на работу в предприятиях аэрокосмического комплекса.

За 6 лет существования школы в ней побывали и выступили с лекциями лётчики-космонавты СССР: Дважды Герои Советского Союза В.В. Ковалёнок и В.А. Ляхов, Герои Советского Союза А.Н. Баландин, А.П. Арцебарский, лётчики-космонавты РФ, Герои России С.Н. Ревин, А.А. Скворцов, Заслуженный лётчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза В.Н. Кондауров, Заслуженный лётчик - испытатель РФ, Герой России Ю.М. Ващук, Заслуженный военный лётчик, Герой России А.А. Сафронов, За-

служенный испытатель космической техники, кавалер ордена Ленина, генерал-майор, водитель “Лунохода” В.Г. Довгань.

В каждую смену организаторы школы совместно с Центром управления полётами устраивают сеанс связи с экипажами МКС, а в 2017 году дважды с видеообращением к участникам школы обращался командир экипажа МКС, Герой России, лётчик-космонавт РФ Федор Юрчихин.

Таким образом, установление обоюдных выгодных партнерских отношений между предприятиями и работодателями, являющимися стратегическими партнёрами УГАТУ позволяет совместно успешно решать задачи подготовки специалистов для предприятий-работодателей с учётом их потребностей, создавать современные базы для проведения производственных практик всех уровней, проводить совместные научные исследования и шире привлекать вузовских учёных к решению научных проблем предприятий, а ведущих специалистов предприятий – работодателей к участию в работе государственных аттестационных комиссий.

УДК 621.452.322.017-52

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЕНСАЦИИ УХУДШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ ТРДД ПРИ ИХ ИЗНОСЕ МЕТОДАМИ УПРАВЛЕНИЯ**

© 2018 О.С. Гуревич, Ф.Д. Гольберг, С.А. Сметанин, М.Е. Трифонов, М.А. Храмов

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

## **COMPENSATING FOR TURBOFAN COMPONENTS DEGRADATION THROUGH AN ENGINE LIFECYCLE BY CONTROL METHODS**

Gurevich O.S., Golberg F.D., Smetanin S.A., Trifonov M.E., Khramtsov M.E. (Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russian Federation)

*It describes an approach to improve performance of a deteriorated gas turbine engine, based on the use of thrust estimates in automatic control system algorithms.*

Управление современными газотурбинными двигателями осуществляется по частотам вращения роторов НД ( $n_B$ ) и ВД ( $n_K$ ), степени повышения давления за компрессором ( $\pi_K$ ), которые косвенно характеризуют его ключевые характеристики, требуемые для летательного аппарата (тягу, удельный расход топлива) ввиду отсутствия возможности прямого измерения этих параметров.

Однако связь между частотой вращения и тягой изменяется в процессе эксплуа-

тации из-за влияния внешних условий за пределами области сохранения условий подобия, при износе узлов и изменении их характеристик в процессе выработки ресурса. В результате двигатель может не обеспечивать требуемую для ЛА тягу, а её отклонение не контролируется в эксплуатации.

Возможность введения в состав программного обеспечения САУ достаточно точной математической модели двигателя (виртуальный двигатель), обеспечиваемая

характеристиками современных электронных регуляторов, позволяет осуществлять расчёт реальной величины реактивной тяги, развиваемой двигателем. Этому способствует и идентификация математической модели в процессе эксплуатации, позволяющая корректировать её с учётом изменения характеристик двигателя.

Управление режимом работы двигателя по величине тяги, требуемое значение которой задается из системы управления полётом, повысит эффективность использования двигателя на летательном аппарате. При этом традиционно применяемые параметры регулирования, физически измеряемые в САУ, используются для задания области работы основного регулятора по условиям сохранения ГДУ и прочности. Целью настоящей работы является исследование возможности построения системы такого типа и её эффективности.

Для проведения исследований выполнена модификация ранее разработанной в ЦИАМ комплексной математической модели «Двигатель – САУ» применительно к ТРДД с высокой степенью двухконтурности, при которой в эту модель введены бортовая математическая модель двигателя и контур управления тягой в составе модели САУ, а также возможность ухудшения характеристик узлов двигателя. При этом величина тяги рассчитывается в его бортовой математической модели.

При проведении расчётов износ компрессоров имитировался посредством смещения напорных характеристик и линий КПД влево и вниз с одинаковым снижением  $\pi_k$ ,  $G_k$  и  $\eta_k$  на 5% от исходной величины.

По результатам моделирования линия рабочих режимов КВД при такой имитации износа смещается вверх ближе к границе устойчивости. При этом падают значения приведенного расхода воздуха и степени повышения давления. На характеристике КПД рабочие точки уходят из своего оптимального положения, соответствующего локальному максимуму КПД, что приводит к дополнительному его снижению.

Проведённые расчёты влияния ухудшения характеристик узлов двигателя на параметры рабочего процесса показали, что

более заметное воздействие на тягу, при традиционном законе управления частотой вращения вентилятора  $n_B$ , оказывает износ вентилятора. При этом на пониженных режимах работы снижение тяги в первую очередь обуславливается падением давления за вентилятором, а на режимах близких к взлётному проявляется влияние снижения расхода воздуха через него. В случае ухудшения характеристик других узлов величина тяги сохраняется на прежнем уровне из-за увеличения расхода топлива системой управления для поддержания заданного значения  $n_B$ , что, в свою очередь, приводит к росту температуры газа в КС.

Расчёт дроссельных характеристик нового и изношенного двигателя (характеристики всех узлов ухудшены на 5%) при работе регулятора частоты  $n_B$  и нового синтезированного контура управления тягой двигателя  $R$  показал, что износ приводит к изменению зависимости тяги от приведенной частоты вращения вентилятора, в результате чего, при традиционном управлении по параметру  $n_B$  на взлётном режиме недобор тяги составляет порядка 13%. При работе нового контура регулирования тяги дроссельная характеристика практически совпадает с характеристикой нового двигателя, исходная тяга сохраняется, но при этом дополнительно расходуется запас по температуре газа в КС (рост  $T_G^*$  составляет ~100К).

Расчёты, проведённые для крейсерских условий полёта ( $H = 11\text{км}$ ,  $M = 0,8$ ) и при различных отклонениях температуры воздуха от МСА ( $T_H = -40^\circ\text{C}$ ,  $T_H = +40^\circ\text{C}$ ), дают аналогичные результаты и подтверждают возможность поддержания требуемой тяги регулятором параметра  $R$  перед его традиционным аналогом.

Таким образом, применение в САУ двигателя его математической модели и контура регулирования тяги с использованием её значения, рассчитываемого в бортовой математической модели, позволит обеспечить сохранение необходимой величины тяги в процессе эксплуатации двигателя и выработки им своего ресурса и тем самым повысить эффективность использования силовой установки на летательном аппарате в течение всего её жизненного цикла.