

УДК 629.7.036.3.018:658.562

Н.В. ОСАДЧИЙ, А.А. СЕРГЕЕВ, В.Т. ШЕПЕЛЬ

ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К КОРПУСУ ВЕНТИЛЯТОРА ТРДД

В статье рассматривается вопрос обеспечения сертификационных требований, предъявляемых к корпусу вентилятора ТРДД, в процессе его проектирования. Основными сертификационными требованиями являются сопротивление статическим и динамическим нагрузкам, обеспечение пожарной безопасности, удержание лопатки вентилятора. Для реализации сертификационных требований, необходима разработка методик доводки совместимых с процессом проектирования двигателя. Корпус вентилятора должен быть протестирован на соответствие сертификационным требованиям до завершения процесса проектирования и начала сертификации. Это позволит получить более эффективную конструкцию и сократит сроки сертификации. Предложенный подход проиллюстрирован на примере реализации требований пожарной безопасности.

Ключевые слова: ТРДД, сертификация, корпус вентилятора, пожарная безопасность

Введение

Корпус вентилятора ТРДД является несущей конструкцией, обеспечивающей механическую взаимосвязь с воздухозаборником и разделительным корпусом. Совместно с акустическими панелями и панелями прирабатываемого покрытия он формирует аэродинамическую проточную часть. Толщина корпуса вентилятора по длине изменяется в зависимости от преобладающего конструктивного критерия. В процессе проектирования корпуса вентилятора ТРДД необходим учет сертификационных требований.

Сертификационные требования, предъявляемые к корпусу вентилятора, характеризуются функциями [1]:

1. Пожарной перегородки, не допускающей проникновения огня через корпус вентилятора в случае пожара в мотогондоле CS-E 130(d).

2. Удержания корпусом вентилятора лопатки вентилятора при ее обрыве CS-E 520(c)(1), CS-E 810(a).

3. Устойчивости по отношению к внешним воздействиям CS-E 540(a), CS-E 790(a)(1), CS-E 800(a).

4. Сопротивления статическим и динамическим нагрузкам CS-E 100(a), CS-E 520(b)(1)(2),(d), CS-E 640.

Обеспечение указанных требований в процессе проектирования представляет сложную задачу, не имеющую аналитического решения. В этом случае целесообразна экспериментальная отработка конструкции, совместимая с процессом проектирования. Корпус вентилятора должен быть протестирован на

соответствие указанным выше требованиям до завершения процесса проектирования. При этом указанные выше требования должны быть продемонстрированы в соответствии с их консервативной классификацией.

Методики доводки корпуса вентилятора на основе инженерных испытаний

Основой подтверждения соответствия корпуса вентилятора сертификационным требованиям на стадии проектирования должны быть инженерные испытания.

В качестве иллюстрации применения данного подхода в статье приводится пример проектирования корпуса вентилятора ТРДД с учетом сертификационных требований по пожарной безопасности. Корпус вентилятора является частью границы пожарной перегородки и при использовании алюминиевых сплавов не является огнестойким. Согласно нормам летной годности [1] конструктивный элемент двигателя, функционально выполняющий роль пожарной перегородки должен быть огнестойким. Поэтому огнестойкость корпуса вентилятора на этапе опытно-конструкторских работ должна быть продемонстрирована проведением инженерных огневых испытаний.

Сокращение объема огневых испытаний возможно путем испытаний ограниченного количества представительных образцов, характеризующих наиболее уязвимые к пожару зоны корпуса вентилятора. Положительные результаты испытаний образцов, моделирующих критические к пожару зоны, распространяются на весь корпус вентилятора.

Для проведения анализа по выявлению наиболее уязвимых к пожару зон корпус вентилятора разделялся на ряд зон, каждая из которых, приблизительно, составляла бы однородный сектор по толщине и температуре. Критичными к пожару являются зоны, имеющие максимальные температуры и минимальные толщины.

Методика проведения испытаний на огнестойкость включала следующие этапы:

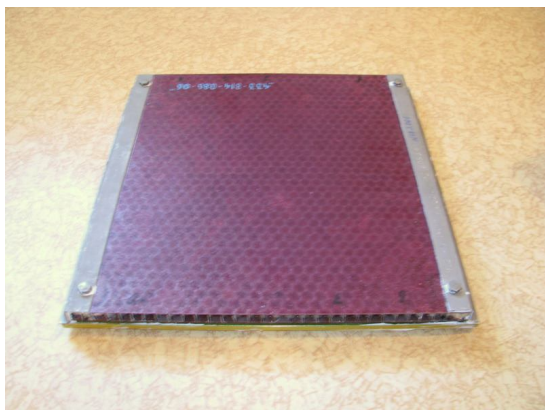
- проведение анализа конструкции корпуса вентилятора для определения критических зон;
- изготовление образцов для испытаний;
- выбор консервативных режимов испытаний: для первых пяти минут взлетный режим ТРДД, при котором элементы корпуса вентилятора подвержены максимальному давлению, а для последующих десяти минут режим авторотации, характеризующийся наихудшими условиями его охлаждения [2].

Проведенные экспериментальные исследования по огнестойкости пластин из алюминиевых сплавов различной толщины без обдува показали, что скорость до нарушения целостности пластин приблизительно составляет 1 мм/минута. Таким образом, для обеспечения огнестойкости корпуса вентилятора требуется либо существенно уве-

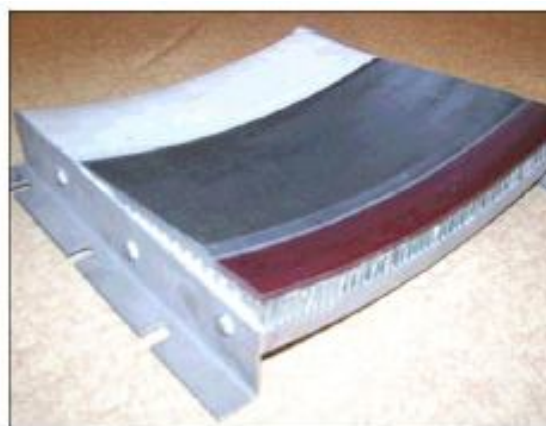
личить толщину стенки, что недопустимо вследствие значительного увеличения массы, либо предпринять конструктивные мероприятия по охлаждению корпуса вентилятора воздухом второго контура.

Для обеспечения огнестойкости корпуса вентилятора, а так же изоляции акустических панелей от воздействия повышенной температуры предложено между акустическими панелями и корпусом сформировать зазор, который продувался бы воздухом второго контура [3].

Для проведения огневых испытаний были изготовлены образцы (рис.1 а, б), моделирующие наиболее уязвимые к пожару зоны корпуса вентилятора. Образец (рис.1 а) представлял собой плоскую пластину из алюминиевого сплава 320x320 мм толщиной 5,8 мм с закрепленной на ней акустической панелью толщиной 12 мм. Для подвода охлаждающего воздуха к зазору между пластиной и акустической панелью выполнялся зазор равный 5,1 мм. Образец (рис.1 б) имел самое уязвимое место в районе утонения фланца, имеющего минимальную толщину 4,3 мм, обдуваемого воздухом второго контура. Материалы образцов и технология изготовления соответствовали типовой конструкции корпуса вентилятора.



а



б

Рис. 1. Общий вид образцов корпуса вентилятора для огневых инженерных испытаний:
а – образец с акустической панелью; б – образец с прирабатываемым покрытием

Обеспечение теплового подобия обеспечивалось путем пересчета скорости потока, найденной из условия равенства коэффициентов теплоотдачи на модели и реальном объекте

$$C_{СТ} = C_{ДВ} \frac{T_{СТ}}{T_{ДВ}} \cdot \frac{p_{ДВ}}{p_{СТ}} \cdot \left(\frac{D_{Н_СТ}}{D_{Н_ДВ}} \right)^{1/4} \times \left(\frac{\mu_{СТ}}{\mu_{ДВ}} \right)^{7/12} \cdot \left(\frac{\lambda_{ДВ}}{\lambda_{СТ}} \right)^{5/6} \cdot \left(\frac{C_{p_ДВ}}{C_{p_СТ}} \right)^{5/12}, \quad (1)$$

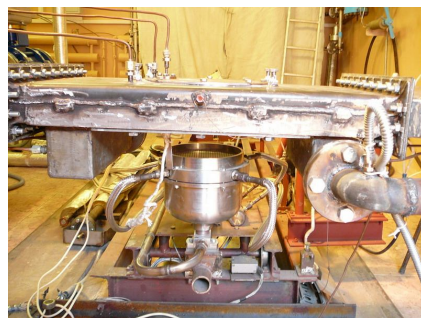
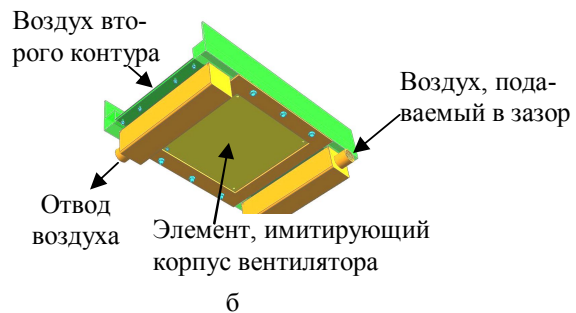
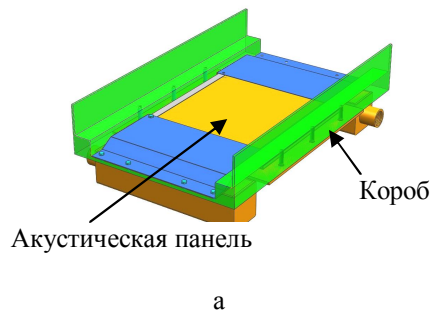
где С – скорость течения;
 Т – статическая температура;
 р – статическое давление;
 D_н – гидравлический диаметр;
 μ – динамическая вязкость;
 λ – теплопроводность воздуха;
 C_p – теплоемкость.

Индексы: ДВ – параметр в условиях двигателя,
 СТ – параметр в стендовых условиях.

Равенство максимальных напряжений плоской пластины и цилиндрической оболочке корпуса вентилятора обеспечивалось посредством пересчёта перепада давления, исходя из условий закрепления кромок испытываемого образца. При этом образец рассматривался как квадратная пластина, шарнирно закреплённая по контуру (с возможностью теплового расширения) и нагруженная давлением, равномерно распределённым по поверхности пластины.

Перепад давлений на пластине аэродинамического короба определялся в соответствии с выражением

$$\Delta p_{Пл} = \frac{\Delta p_{ДВ} \cdot R \cdot H}{\beta \cdot L^2}, \quad (2)$$



в

где р_{дв} – перепад давлений в наиболее уязвимом к пожару участке корпуса вентилятора;

R – средний радиус соответствующего участка корпуса вентилятора;

H – толщина пластины, равная минимальной толщине уязвимого к пожару участка корпуса вентилятора;

L – длина (ширина) пластины.

Для квадратной пластины с шарнирным креплением на одной стороне и в случае равномерной нагрузки давлением параметр β равен 0,2874.

Объект испытаний устанавливался в аэродинамический короб стенда Ц-17ГЗ (рис.2 в), обеспечивающий заданные параметры обдува (1) и нагружения давлением (2).

Критериями зачетности огневых испытаний являлись:

- отсутствие проникновения огня через испытываемый образец;
- отсутствие проникновения пламени на тыльную сторону образца;
- самопроизвольное погасание любых возгораний на поверхности образца после удаления испытательного пламени;
- отсутствие самопроизвольного повторного возгорания образца после удаления пламени.

Процесс испытаний контролировался с помощью визуального и видеонаблюдения.

Последующая сертификация подтвердила корректность принятых конструкторских решений при проектировании корпуса вентилятора. При неудачном исходе огневых сертификационных испытаний сроки сертификации двигателя сдвинулись как

Рис. 2. Технология установки испытываемых образцов (а, б) на стенде Ц-17ГЗ ЦИАМ (в)

минимум, на 6 месяцев. Это время складывается из времени требуемого для анализа проведенных испытаний, разработки мероприятий по устранению несоответствия сертификационным требованиям, выпуска конструкторской документации и изготовления опытных образцов, проведения повторных испытаний.

Оба образца, представляющих корпус вентилятора, успешно прошли 15 минутные огневые испытания на огнестойкость. Успешное проведение сертификационных огневых испытаний подтвердило корректность методики доводки корпуса вентилятора в части пожарной-безопасности.

Таким образом, ускорение сроков сертификации достигается путем экспериментальной отработки конструкции в процессе проектирования на основе проведения инженерных доводочных испытаний, максимально приближенных к сертификационным.

Литература

1. *Certification Specifications for Engines (CS-E) [Text]. – European Aviation Safety Agency (EASA), 2007. – 193 p.*
2. *ISO 2685:1998 Aircraft - Environmental test procedure for airborne equipment - Resistance to fire in designated fire zones [Text]. – 1998. – 35 p.*
3. *Смирнов, Д.С. Огневые испытания корпуса вентилятора в процессе доводки и сертификации авиационного ГТД [Текст] / Д.С. Смирнов, А.В. Кащеев, В.Т. Шепель // Авиационно - космическая техника и технология. – 2012. – № 10 (97). – С. 24–28.*
4. *Тимошенко, С.П. Пластинки и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский - Кригер. – М.: Наука, 1966. – 625 с.*

Поступила в редакцию 28.05.2013, рассмотрена на редколлегии 13.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры «Теоретическая механика и сопротивления материалов» С.А. Букатый, Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева, Рыбинск.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕРТИФІКАЦІЙНИХ ВИМОГ, ЩО ПРЕД'ЯВЛЯЮТЬСЯ ДО КОРПУСУ ВЕНТИЛЯТОРА ТРДД

М.В. Осадчий, А.А. Сергеев, В.Т. Шепель

У статті розглядаються питання забезпечення сертифікаційних вимог, що пред'являються корпусу вентилятора ТРДД, в процесі його проектування. Основними сертифікаційними вимогами є опір статичним та динамічним навантаженням, забезпечення пожежної безпеки, утримання лопатки вентилятора. Для реалізації сертифікаційних вимог, потрібна розробка методик доведення сумісних з процесом проектування двигуна. Корпус вентилятора повинен бути протестований на відповідність сертифікаційним вимогам до завершення проектування та початку сертифікації. Це дозволить отримати більш ефективну конструкцію і скоротить терміни сертифікації. Запропонований підхід проілюстровано на прикладі реалізації вимог пожежної безпеки.

Ключові слова: ТРДД, сертифікація, корпус вентилятора, проектування, пожежна безпека.

THE ASSURANCE OF CERTIFICATION REQUIREMENTS SHOWN TO THE TURBOFAN ENGINE FAN CASE

N.V. Osadchii, A.A. Sergeev, V.T. Shepel

This article presents the problem of assurance of certification requirements imposed to the turbofan engine fan case, during its design stage. The basic certification requirements are resistance to static and dynamic loads, fire safety assurance, fan blade retention. For the certification requirements realization, the development of the adjustment techniques compatible with the engine design process, is necessary. The fan case must be tested on conformity to certification requirements before the ending of the design stage and the beginning of certification. This will allow to obtain more effective structure and will reduce the certification terms. The suggested approach is illustrated on the example of the fire safety requirements realization.

Keywords: turbofan engine, certification, fan case, design, fire safety.

Осадчий Николай Васильевич – канд. техн. наук, эксперт ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия.

Сергеев Артем Андреевич – инженер-конструктор 3 категории ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия, e-mail: Artemsergeyev@mail.ru.

Шепель Вячеслав Тимофеевич – д-р техн. наук, проф., начальник КО сертификации авиационных ГТД и промышленных ГТУ, ОАО «НПО «Сатурн», Рыбинск, Россия, e-mail: sshepel@yandex.ru.