

# ТЕХНОЛОГИИ В АВИАЦИОННОМ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 629.735.0154.03

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К УДАРНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ В КОРПУСАХ ВЕНТИЛЯТОРОВ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

© 2012 И.Л. Гладкий, Р.И. Березин

ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь

Поступила в редакцию 05.12.2012

Для проектирования корпуса вентилятора газотурбинного двигателя, удовлетворяющего требованиям современных норм летной годности воздушных судов, актуальной является задача выбора материала защитного устройства, обладающего высокими удельными характеристиками гашения энергии фрагмента ротора. В ОАО «Авиадвигатель» создана установка и проведены сравнительные испытания образцов материалов и конструкций корпуса вентилятора по определению их стойкости к ударному воздействию фрагментом ротора в условиях, максимально приближенных к рабочим. В работе описана конструкция установки, на которой образец материала корпуса работает в условиях, максимально приближенных к условиям корпуса при обрыве рабочей лопасти вентилятора. В работе приведены сравнительные данные по гашению энергии образцов, изготовленных из титановых и алюминиевых сплавов, сталей, композиционных материалов.

Ключевые слова: корпус вентилятора, композиционные материалы, гашение энергии, обрыв лопасти

Существует несколько причин, осложняющих и удорожающих проведение испытаний на баллистическое воздействие фрагментом ротора материалов и конструкций корпуса вентилятора, для выбора оптимальной комбинации, относительно стандартных баллистических испытаний, например средств индивидуальной безопасности (СИБ) – бронешлемов и бронежилетов. Одной из причин является несоответствие механизмов разрушения СИБ при стандартных испытаниях пулей или шариком и механизмов разрушения корпуса вентилятора при ударе лопасти. Так, в случае испытаний защитных устройств на основе органотканей, механизм их разрушения при ударе пулей/шариком основан на раздвигании нитей и вытягивании нитей из ткани. В отличие от этого, механизм разрушения органоткани корпуса при ударе лопасти зачастую связан с равномерным растяжением органоткани до разрыва и не связан с вытягиванием нитей из ткани по причине существенного превосходства размеров ударяющего фрагмента (лопасти) перед размерами ячейки плетения ткани. Примерно те же проблемы могут проявляться и в случае «жесткостенных» удерживающих

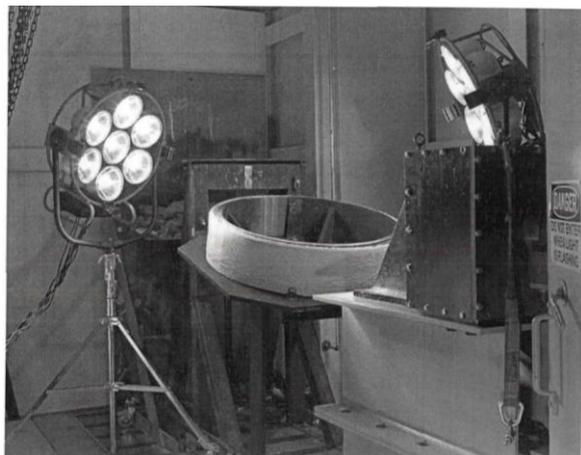
устройств – металлических и пластиковых корпусов. Механизм их разрушения при ударе пулей сводится к срезу материала по периметру ударяющего фрагмента (выбивание пробки) и к разрушению материала под пулей/шариком в условиях сжатия (особенно для пластиков [1]). В отличие от этого, механизм разрушения «жесткостенных» корпусов вентиляторов обычно ограничивается упругим и пластическим изгибом и двухосным растяжением [2].

Второй причиной является невозможность учета при стандартных испытаниях СИБ количества вступающего в работу материала, что особенно актуально при испытаниях «мягкостенных» удерживающих устройств, где при ударе лопасти вступает в работу практически вся поверхность корпуса вентилятора по окружности. По крайней мере, этими двумя причинами можно объяснить тот факт, что при выборе материала корпуса вентилятора двигателестроительные фирмы создают специальные установки, где и критерии разрушения материалов и поведение испытываемого образца максимально приближено к условиям корпуса при ударе лопасти. Зачастую это либо кольцевые, либо полукольцевые образцы, подвергающиеся изнутри удару имитаторами лопаток, воспроизводящими жесткость материала лопасти и иногда конструкцию лопасти.

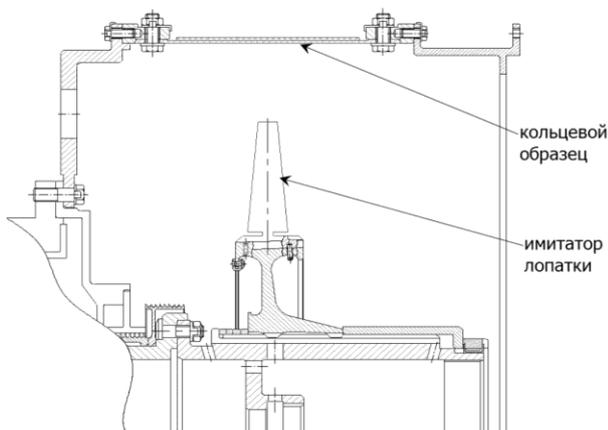
Гладкий Иван Леонидович, кандидат технических наук, начальник отдела. E-mail: gladky@avid.ru  
Березин Родион Игоревич, ведущий инженер. E-mail: beer1979@mail.ru

На рис. 1 показана экспериментальная установка, созданная в институте Аризоны для исследования материалов корпусов, спроектированных по типу «мягкой стенки», в которой кольцевой образец подвергается удару изнутри имитатором лопатки.

В ОАО «Авиадвигатель» экспериментальная установка по определению характеристик диссипации энергии материалов и конструкций корпуса вентилятора (рис. 2) создана на базе разгонного стенда УИР-2.



**Рис. 1.** Экспериментальная установка в Arizona State University для определения характеристик диссипации энергии материалов корпусов



**Рис. 2.** Экспериментальная установка ОАО «Авиадвигатель» для исследования материалов корпусов вентилятора при ударном воздействии

На этой установке образец материала или конструкции представляет из себя кольцо  $\varnothing 636$  мм и подвергается изнутри удару конического имитатора лопатки с заданной энергией. Особенностью установки является увеличенный радиальный зазор между периферийным сечением имитатора лопатки и кольцевым образцом (рис. 1). Зазор выбран таким образом, чтобы к моменту соударения имитатора лопатки и кольцевого образца удар стал радиальным. Следовательно, если кольцевой образец пробивается, то имитатор

лопатки пролетает дальше в радиальном направлении. Если кольцевой образец не пробивается, то имитатор лопатки разворачивается и наносит удар основанием конуса, что имитирует «вторую фазу» удара лопатки вентилятора – удар тяжелой ножкой. Таким образом, кинематика движения имитатора лопатки и ее воздействие на кольцевой образец максимально приближены к реальным условиям обрыва лопатки вентилятора.

В том случае, если образец материала / конструкции не пробит, регистрируется его повреждение. Если образец пробивается, регистрируется остаточная скорость имитатора лопатки после пробивания. При этом работа разрушения образца рассчитывается по формуле:

$$A_{разр} = \frac{m \cdot \omega_{рег}^2 \cdot R_{цм}^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{m \cdot V_{рег}^2}{2 \cdot 9,81}, \quad (1)$$

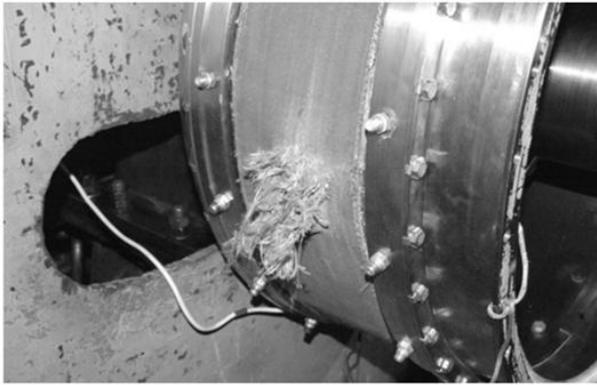
где  $A_{разр}$  – работа разрушения кольцевого образца, кгс·м;  $m$  – масса имитатора лопатки, кг;  $\omega_{рег}$  – угловая скорость вращения ротора установки, зарегистрированная в момент обрыва имитатора, рад/с;  $R_{цм}$  – радиус центра тяжести имитатора лопатки, м;  $V_{рег}$  – поступательная скорость имитатора лопатки, зарегистрированная после пробивания кольцевого образца, м/с. Характеристики диссипации энергии больше у того материала, у которого меньше погонный вес (вес единицы площади поверхности) при определенной работе пробивания  $A_{проб}$ . Всего на установке было проведено более 30 испытаний различных материалов и конструкций.



а)



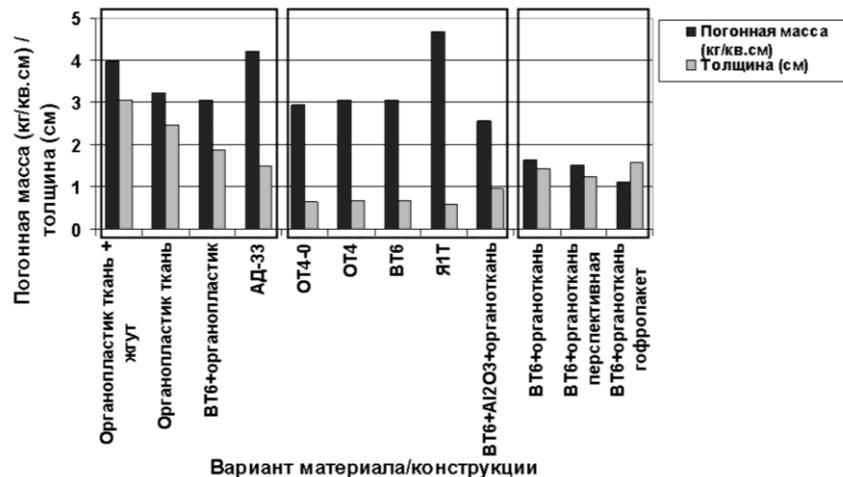
б)



в)

**Рис. 3.** Испытанные образцы материалов; а) – титановый сплав ОТ4-0; б) – образец из органо-пластика на основе ткани и жгута с пропиткой связующим; в) – образец с намоткой на титановую обечайку баллистически стойкого препрега

Были испытаны титановые сплавы ОТ4-0, ОТ4, ВТ6, алюминиевый сплав АД33, сталь Я1Т,



**Рис. 4.** Сравнение вариантов материалов и конструкций корпуса вентилятора

**Выводы:**

1. Из металлических материалов титановые сплавы ОТ4, ОТ4-0, ВТ6 с погрешностью ± 4% по массе гасят одинаковое количество кинетической энергии, несмотря на различия в пределах прочности почти в 2 раза (от 55 кгс/мм<sup>2</sup> у ОТ4-0 до 100 кгс/мм<sup>2</sup> у ВТ6). Образцы из материалов АД33 и Я1Т, имеющие такую же массу, как образцы из титановых сплавов, оказывались пробиты в тех же условиях, в которых образцы из сплава ОТ4 локализовали имитатор лопатки (АД33 и Я1Т не дают снижения массы относительно эталонного материала ОТ4). Образцы, изготовленные из органо-пластика на основе органожгута и органоткани также имеют большую массу, чем эталонный материал ОТ4. Объясняется это относительной хрупкостью пластиков относительно металлов

(при сопоставимом пределе прочности, у органо-пластика на порядок меньше чем у ОТ4 удлинение при разрыве, что не компенсируется даже меньшей плотностью органо-пластика).  
2. Образцы, изготовленные намоткой органо-пластика толщиной 4 мм на тонкую титановую обечайку (ВТ6 2 мм), показывают характеристики удельного гашения энергии на уровне эталонного материала ОТ4. Причем образцы, где органо-пластик расположен снаружи, не отличаются по гашению энергии от образцов, где органо-пластик расположен внутри по отношению к титановой обечайке. Возможно, результаты были бы несколько иными, если бы соотношение толщин титановой обечайки и намотки пластиком было бы изменено в сторону утолщения намотки пластиком.

3. Принципиально новую схему гашения энергии показывают образцы, где поверх тонкой титановой обечайки намотана непропитанная связующим органоткань. В этом случае в тканной оболочке не возникают напряжения изгиба и вовлекается в работу большое количество материала вдоль окружности обечайки, который работает в основном на растяжение. По результатам испытаний кольцевых образцов при применении такой схемы образца с «мягкой стенкой» обеспечивается снижение веса 46% по отношению к эталонному материалу ОТ4.

4. Серией испытаний различных тканей и баллистически стойких препрегов с различным содержанием связующего было выяснено, что из испытанных на сегодняшний день материалов любая степень пропитки ткани связующим снижает ее баллистические характеристики. Однако наряду с существенным снижением веса, при применении конструкции с «мягкой стенкой» существенно увеличивается как сам

наружный габарит корпуса, так и его прогиб при ударе лопатки. Также в варианте конструкции корпуса по типу «мягкой стенки» можно использовать некоторые конструктивные вариации, такие, как например «гофрирование» органоткани, при этом достигается снижение массы относительно эталонного материала ОТ4 на уровне 63%. Полученные результаты могут быть использованы для выбора материала баллистической защиты корпуса вентилятора авиационного двигателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Chian, Fong Yen.* Ballistic Impact Modeling of Composite Materials // Material Science Corporation / 7<sup>th</sup> LS-DYNA Users Conference, 2002. P. 37-42.
2. *Суржин, В.С.* Варианты методов предварительного расчета толщины стенки корпуса, способной локализовать фрагменты рабочего колеса ГТД в случае его разрушения. Научно-технический отчет / В.С. Суржин, А.Б. Рычков. – М.: ЦИАМ, 1989. С. 22-31.

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF DURABILITY TO SHOCK IMPACT OF MATERIALS, WHICH WERE APPLIED IN FANS CASES OF GAS-TURBINE ENGINES

© 2012 I.L. Gladkiy, R.I. Berezin

JSC “Aviadvigatel”, Perm

For design of the fan case of gas-turbine engine, meeting the requirements of modern standards of aircrafts flight validity, the problem of choice the material of protection device possessing high specific characteristics of damping the energy of rotor fragment is actual. In JSC “Aviadvigatel” the unit is created and comparative tests of samples of materials and designs of the fan case by determination of their resistance to impact influence by rotor fragment in the conditions which are most approached to the working ones are carried out. In work the design of unit at which the sample of material of the case works in the conditions which are most approached to conditions of the case at breaking of working fan blade is described. Comparative data on damping the energy of the samples made from titanic and aluminum alloys, steels, composite materials are provided in work.

Key words: *fan case, composite materials, energy damping, blade break*