

УДК 621.454

Э.В. ЗАРЕМБА, И.П. КОВАЛЕВ

*Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева, Россия***ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ Д-436ТП НА САМОЛЕТЕ-АМФИБИИ БЕ-200ЧС ВО ВРЕМЯ ОБЛЕДЕНЕНИЯ**

*В статье освещены результаты анализа вибрационных характеристик маршевых двигателей Д-436ТП, установленных на самолете-амфибии БЕ-200ЧС, во время возникновения обледенения при проведении испытательных полетов. Данная работа позволяет внести необходимые конструктивные доработки в конструкцию маршевого двухконтурного турбореактивного двигателя Д-436ТП, предназначенного для установки на новых серийных самолетах-амфибиях БЕ-200ЧС, что позволит существенно увеличить ресурсные показатели двигателя. Результаты работы были использованы при сертификации самолета-амфибии БЕ-200ЧС.*

**Ключевые слова:** гидросамолет, воздухозаборник, лопадки вентилятора, вибрационные характеристики, обледенение, эксплуатация.

**Введение**

На основе полученных экспериментальных данных на ТАНТК им.Г.М. Бериева были проведены мероприятия, повышающие устойчивость работы маршевого двигателя к автоколебательным процессам возникающим при обледенении двигателя, что позволило существенно расширить эксплуатационный диапазон самолета-амфибии БЕ-200ЧС.

**Формирование проблемы**

В процессе проектирования, доводки, испытаний и эксплуатации маршевых двигателей на самолетах-амфибиях создаются нормативные требования, регламентирующие определенный порядок работы двигателей в особо сложных условиях эксплуатации (например, обледенение).

Современные методы обработки и анализа результатов полетных данных позволяют использовать максимально-допустимые запасы прочности напряженных деталей двигателя и расширить эксплуатационные диапазоны самолетов-амфибий.

**Общие сведения**

Существует определенный диапазон температур, при которых вероятность обледенения в полете ЛА наибольшая. Статистика показывает, что наибольшее количество случаев обледенения летательных аппаратов происходит при температурах воздуха от 0°C до -20 °C.

Однако, известны случаи капельного обледенения в мощных кучевых дождевых облаках при температурах воздуха от -40°C до -50°C .

Так, 14 августа 1961 г. в районе Воронежа самолет Ту-104 на высоте 10500м подвергся интенсивному обледенению при температуре наружного воздуха -48°C [4].

Согласно Авиационным правилам АП-25 п.25.1419 «Защита от обледенения» [1], АП-33-2004 [2], авиационный маршевый двигатель в условиях обледенения не должен допускать уменьшения тяги ниже определенной величины и повышению уровня вибраций двигателя более величины, указанной в Руководстве по эксплуатации двигателя и РЛЭ самолета.

Образующиеся в полете ледяные наросты на лопатках вентилятора турбореактивного двухконтурного двигателя не только ухудшают эксплуатационные характеристики двигателя, но и изменяют вибрационные характеристики вентиляторных лопаток, при этом суммарный уровень вибрации двигателя может оставаться в допустимых нормах.

При сертификации самолета-амфибии БЕ-200ЧС по Российским нормам АП-25, АП-33 и Европейским нормам по JAR-25 были проведены исследования вибрационных характеристик двигателя, возникающих при обледенении самолета-амфибии БЕ-200ЧС.

Испытательные полеты самолета-амфибии БЕ-200ЧС проходили в условиях низких температур в Якутии и в условиях обледенения в Мурманске.

Испытания проходили в соответствии с нормативными документами [1, 2]. Возникновению процесса обледенения в первую очередь подвергаются невращающиеся части вентилятора маршевого двигателя: панели шумоглушения, корпус воздухозаборника, лопадки спрямляющих аппаратов.

Далее процесс постепенно распространяется на вращающиеся части: кок вентилятора, лопасти вентилятора. Традиционным методом исследования аэроупругих колебаний лопаток вентилятора является их тензометрирование, но фактически использование тензодатчиков, приклеенных на лопастях вентилятора, приводит к дополнительному искажению реального процесса обледенения, так как тензометрические датчики являются своеобразными стимуляторами процесса обледенения.

На опытном и серийных самолетах-амфибиях БЕ-200ЧС используются типовые датчики вибрации, установленные на маршевом двигателе Д-436ТП из комплекта аппаратуры вибрации фирмы Vibrometr (Швейцария).

На маршевом двигателе Д-436ТП предусмотрены следующие отборы воздуха на самолетные нужды:

- отбор из-за третьей ступени КВД в ПОС воздухозаборника двигателя, который включается автоматически или по команде летчика,
- отбор из-за КНД на обогрев кока вентилятора, который осуществляется на двигателе постоянно,
- отбор из-за КВД для системы кондиционирования воздуха (СКВ) в самолете, переключение места отбора осуществляется автоматически в зависи-

мости от режима работы двигателя.

Предварительно, рабочие лопатки вентилятора были исследованы ЗМКБ ПРОГРЕСС (Украина) в нормальных климатических условиях, при полном отсутствии обледенения.

Диагностических признаков вращающегося срыва потока на двигателе обнаружено не было.

При экспериментальных исследованиях на самолете-амфибии БЕ-200ЧС на лопатках вентилятора маршевого двигателя Д-436ТП зафиксированы некоторые повышения уровней вибрации, которые были обработаны с помощью современных методов спектрального анализа, что позволило говорить о воздействии на корпус двигателя при сбросе льда с рабочих лопаток вентилятора и компрессоров.

Возникновение очагов обледенения на коке двигателя Д-436ТП самолета БЕ-200ЧС показано на рис. 1, 2.

В целом, в полете и на земле ПОС двигателя Д-436ТП справляется с обледенением (рис. 3 – 5).

Расшифровки вибрационных характеристик и параметров работы двигателя Д-436ТП самолета БЕ-200ЧС показали взаимосвязь замеренных в ходе испытаний основных параметров двигателя и его вибрационных характеристик.



Рис. 1. Возникновение обледенения на коке двигателя

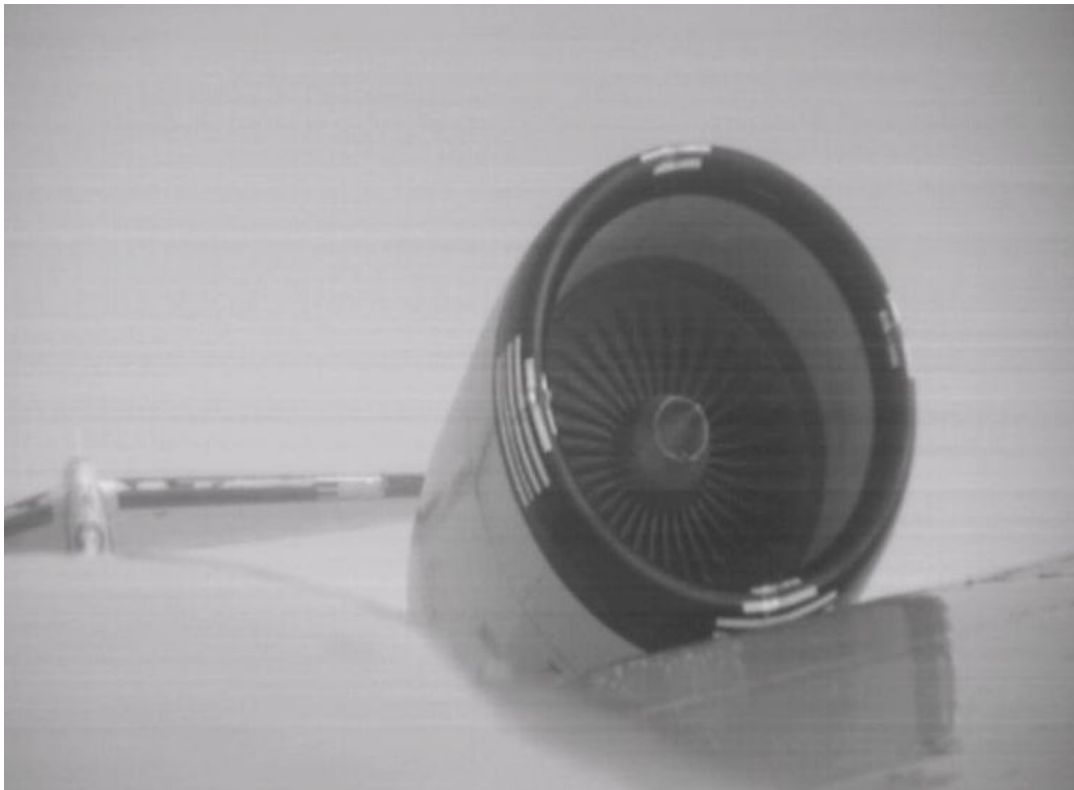


Рис. 2. Возникновение обледенения на коке двигателя



Рис. 3. Работа системы ПОС двигателя Д-436ТП



Рис. 4. Мотогондола двигателя Д-436ТП самолета БЕ-200ЧС



Рис. 5. Возникновение обледенения на центроплане самолета БЕ-200ЧС

### Решение проблемы

Для обеспечения задачи по расширению эксплуатационного диапазона самолета БЕ-200ЧС были проведены обширные наземные испытания на двигателем стенде предприятия ЗМКБ ПРОГРЕСС (г. Запорожье, Украина), а также летные сертификационные испытания на самолете БЕ-200ЧС (г. Якутск, г. Мурманск, Россия).

Одним из главных показателей данного вида испытаний служили вибрационные характеристики двигателя Д-436ТП.

Так, при появлении у летчика сигналов о повышенной вибрации – необходимо на МФИ проконтролировать величину вибраций двигателя.

Если величина вибрации достигает или превышает максимальную величину (максимальная виброскорость, максимальное вибро смещение) – уменьшить режим работы двигателя до снятия сигнала и усилить контроль за параметрами работы двигателя.

Если после снижения режима уровни вибрации превышают максимальную величину – выключите двигатель.

Если появление сигнала о повышенной вибрации также сопровождается зудом и тряской и нехарактерным звуком работы двигателя – экстренно выключите двигатель

Если появление сигнала о повышенной вибрации сопровождается сигналом о максимально допустимой вибрации – экстренно выключить двигатель (Данные рекомендации указаны в Руководстве по эксплуатации двигателя Д-436ТП).

Для двигателя Д-436ТП значения максимальной виброскорости – 54%, максимальное вибро смещение – 50%, максимально-допустимая виброскорость – 77%, максимально-допустимое вибро смещение – 70%.

Во время проведения испытаний самым тщательным образом проводились осмотры лопаток вентилятора на наличие повреждений в результате воздействия обледенения на двигатель.

Результаты осмотров, расшифровки параметров двигателя показали достаточную прочность титановых вентиляторных лопаток двигателя Д-436ТП, что позволило АР МАК дать положительное заключение о допуске эксплуатации двигателя Д-436ТП на самолете БЕ-200ЧС в условиях обледенения.

### Заключение

Проведенные испытания самолета-амфибии БЕ-200ЧС на обледенение позволили выработать мероприятия, отраженные в Руководстве по эксплуатации двигателя Д-436ТП и РЛЭ самолета-амфибии.

При температуре наружного воздуха плюс 5 °С и ниже в условиях возможного обледенения противообледенительная система воздухозаборника должна быть включена сразу после запуска и оставаться включенной на все время работы двигателя на земле и в полете.

При полетах в условиях обледенения на режимах работы двигателя с ( $\alpha_{руд} \leq 45^\circ$ ) может произойти кратковременное, скачкообразное увеличение вибраций ротора вентилятора с возможным появлением сигнала о повышенной вибрации.

Увеличение уровня вибрации может сопровождаться изменением характерного звука работы двигателя без изменения параметров его работы.

С целью исключения увеличения уровня вибрации при полетах в условиях обледенения необходимо работу двигателя на установившихся режимах ( $\alpha_{руд} \leq 45^\circ$ ) чередовать каждые 3 – 5 минут с работой на режимах с  $\alpha_{руд} \leq 53^\circ$  в течении 3 – 5 секунд.

После выхода из зоны обледенения уровень вибрации стабилизируется на прежнем уровне.

На основе сопоставления результатов спектрального анализа вибрационных характеристик двигателя без обледенения и в процессе обледенения показано, что при обледенении снижается устойчивость рабочих лопаток вентилятора к возможному появлению аэроупругих процессов.

## Литература

1. *Авиационные правила, Часть 25. Номы летной годности самолетов транспортной категории [Текст]*, МАК, 1994. – 236 с.

2. *Авиационные правила, Часть 33, Нормы летной годности двигателей воздушных судов [Текст]*. – МАК: ОАО "Авиаиздат", 2004. – 44 с.

3. *Методические вопросы проведения испытаний авиационных двигателей в условиях обледенения и оценка изменения характеристик ТРДД*

[Текст] / Ф.Ш. Гельмедов, А.В. Горячев, Н.Е. Горячева, А.И. Ланишин, Е.В. Павлюков, С.Б. Петров, А.В. Харламов, С.В. Чиванов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2008. – № 7(54). – С. 133 – 138.

4. *Трунов О.К. Обледенение самолетов и средства борьбы с ним [Текст] / О.К. Трунов*. – М.: Машиностроение, 1965. – 38 с.

5. *Руководство по эксплуатации двигателя Д-436ТП [Текст]*. – Запорожье: ГП Ивченко-Прогресс.

*Поступила в редакцию 1.06.2013, рассмотрена на редколлегии 17.06.2013*

**Рецензент:** д-р техн. наук Л.Г. Фортинов, Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М.Бериева, Таганрог.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРА ДВИГУНА Д-436ТП НА ЛІТАКУ-АМФІБІЇ БЕ-200ЧС ПІД ЧАС ОБМЕРЗАННЯ

*Е.В. Заремба, І.П. Ковальов*

У статті висвітлені результати аналізу вібраційних характеристик маршевих двигунів Д-436ТП, встановлених на літаку-амфібії БЕ-200ЧС, під час виникнення обмерзання при проведенні випробувальних польотів. Дана робота дозволяє внести необхідні конструктивні доопрацювання до конструкції маршевого двоконтурного турбореактивного двигуна Д-436ТП, призначеного для установки на нових серійних літаках-амфібіях БЕ-200ЧС, що дозволить істотно збільшити ресурсні показники двигуна. Результати роботи були використані при сертифікації літаку-амфібії БЕ-200ЧС.

**Ключові слова:** гідролітак, повітрязбірник, лопатки вентилятора, вібраційні характеристики, обмерзання, експлуатація.

## RESEARCH OF VIBRATION CHARACTERISTICS OF ENGINE D-436TP FAN ON BE-200ES AMPHIBIAN IN ICING CONDITIONS

*E.V. Zaremba, I.P. Kovalev*

The results of experimental analysis of oscillations of cruise turbojet engine D-436TP fan blades, installed on BE-200ES amphibian aircraft are given in the paper. The measures, which improve stability of fan blades to self-oscillation processes are taken on the basis of analysis of experimental data, obtained in blades icing conditions, which allowed to expand operational range of the amphibian aircraft. Job performances were used for the certification of BE-200ES amphibian aircraft.

**Key words:** amphibian aircraft, airscoop, shoulder-blades of ventilator, oscillation descriptions, icing, exploitation.

**Заремба Едуард Владимирович** - ведущий инженер-конструктор, Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева, Таганрог.

**Ковалев Игорь Павлович** - начальник КБ-1, Таганрогский авиационный научно-технический комплекс им. Г.М. Бериева, Таганрог.