

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ № ИМ-21.33-10			
Ревизия 01	Дата	30.04.2025	
Подтверждение прочности двигателя при попадании птиц			
Москва, 2025 г.			

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Описание изменения	Номер ревизии	Дата
1.	Введение в действие первоначального документа	01	30.04.2025
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Первоначальная редакция данных методических рекомендаций подготовлена Авиарегистром России на основе документа «Методические рекомендации по подтверждению прочности двигателя при попадании птиц», разработанного ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова».

СОДЕРЖАНИЕ

1 Цель и назначение	4
2 Нормативные ссылки и источники информации.....	5
3 Термины и определения.....	6
4 Сокращения и обозначения	7
5 Анализ формулировок параграфа 76 отечественных Норм летной годности АП-33.....	8
6 Анализ формулировок зарубежных Норм летной годности и циркуляров к ним	19

1 Цель и назначение

В Российской Федерации требования к прочности авиационных двигателей (АД) при попадании птиц изложены в п. 33.76 «попадание птиц» Части 33 Авиационных правил «Нормы летной годности двигателей воздушных судов» (АП-33) [1]. Аналогичные требования имеются в соответствующих зарубежных Нормах летной годности (НЛГ). Эти требования должны обеспечивать безопасность полетов воздушных судов (ВС) гражданской авиации [2]. В дополнении к НЛГ выпускаются рекомендательные циркуляры (РЦ), содержащие методы и процедуры подтверждения соответствия двигателя требованиям норм [3], [4]. В отличие от Норм, рекомендательные циркуляры носят не обязательный характер, но отступления от них требуют обоснованного подтверждения Разработчика двигателя.

В циркулярах содержатся рекомендации двух типов:

- уточнение и конкретизация условий проведения испытаний согласно НЛГ;
- некоторые обоснования методов расчетных оценок и проведения дополнительных испытаний, необходимых для обеспечения безопасности полетов в условиях эксплуатации ВС.

НЛГ, как и рекомендательные циркуляры, отражают накопленный мировой и отечественный опыт эксплуатации АД; время от времени они пересматриваются и уточняются.

В указанных документах ряд требований не конкретизируется, что облегчает разработчику формирование программы испытаний двигателя, но вместе с тем создает опасность неточной и даже неправильной трактовки этих требований.

Ниже сформулированы рекомендации в виде разъяснений и дополнений требований параграфа 76 «Попадание птиц» АП-33, основанные на результатах анализа эксплуатации АД, опубликованных в специальной литературе, и собственном опыте авторов.

Методические рекомендации носят не обязательный характер, но отступления от изложенных в них рекомендаций требуют обоснованного подтверждения со стороны Разработчика двигателя.

По мере расширения мирового парка эксплуатирующихся АД и условий их использования, возникают новые (обычно более тяжелые) ситуации взаимодействия ВС с птицами. С другой стороны, развиваются более совершенные методы предотвращения их столкновений. Поэтому настоящие методические рекомендации время от времени пересматриваться пересматриваться и уточняться.

2 Нормативные ссылки и источники информации

1. Межгосударственный авиационный комитет. Авиационные правила Часть АП-33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов, 2012 г.
2. Птицестойкость авиационных двигателей. Под ред. проф., д.т.н. Шорра Б.Ф. ЦИАМ, 2022 (в печати).
3. Рекомендательный Циркуляр «Процедуры и методы подтверждения соответствия требованиям АП-33 к последствиям попадания посторонних предметов в газотурбинные двигатели». РЦ33-2, 1997г.
4. Advisory Circular of Federal Aviation Administration AC No: 33.76-1A 8/7/09,
5. European Aviation Safety Agency. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Engines. CS-E, Amendement 5, 2018
6. AMC E 800 Bird Strike and Ingestion, 2018.
7. Federal aviation rules. Part 33—airworthiness standards: aircraft engines.
8. The Code of Federal Regulations. CFR 14 §11.19, 21.16 Special Conditions.
9. Federal Aviation Administration. Special Conditions: General Electric (GE), Aircraft Engine Model(s) GE90-75B/-85B/-76B Turbofan Engines. 94-ANE-18; Special Conditions No. SC-33-ANE-08, 1995.
10. Federal Aviation Administration. Special Conditions: General Electric Company, GE9X Engine Models; Incorporation of Composite Fan Blades. FAA-2017-0171; Special Conditions No. 33-018-SC, 2017.
11. Dr. Dale Carlson, Presentation “GE Aviation: Perspectives on Clean, Efficient Engines”, 2013.

3 Термины и определения

Термин	Определение
Птицестойкость авиационного двигателя	Способность АД обеспечивать безопасность полета после столкновения с птицами
Нормы летной годности двигателей воздушных судов	Требования, которым должны удовлетворять двигатели воздушных судов гражданской авиации для обеспечения безопасности полетов
Рекомендательный циркуляр	Документ, конкретизирующий и разъясняющий требования пунктов НЛГ

4 Сокращения и обозначения

Сокращение и обозначение	Значение
АП-33.76	Авиационные правила. Часть 33, параграф 76
АП-33	Авиационные правила. Часть 33
НЛГ	Нормы летной годности
ВС	Воздушное судно
АД	Авиационный двигатель
РЦ	Рекомендательный циркуляр
ППП	Попадание посторонних предметов
ГГ	Газогенератор
FAA	Federal Aviation Agency – Федеральное Авиационное Агентство
EASA	European Aviation Safety Agency – Европейское Агентство Авиационной Безопасности
АС	Advisory Circular (<i>англ.</i>) – Рекомендательный Циркуляр
РЦ	Рекомендательный циркуляр
РЛВ	Рабочая лопатка вентилятора
ПКМ	Полимерный композиционный материал

5 Анализ формулировок параграфа 76 отечественных Норм летной годности АП-33

5.1 Общий анализ

В п 33.76 АП-33 содержатся сведения, относящиеся как к попаданию птиц в проточную часть АД, так и к удару птиц по передней части АД в составе силовой установки.

Принятое в Нормах разделение птиц по массе на крупные, средние и мелкие носит условный характер, позволяющий ограничить необходимый объем и оценку результатов сертификационных испытаний. Встречающиеся указания на массу забрасываемой птицы следует трактовать как «не менее», поэтому «подгонять» имеющуюся массу путем вырезания частей тела не следует.

Имеющиеся в Нормах указания на массу забрасываемой птицы относятся к полностью оперенной птицы с клювом и ножками. Необходимые поправки на влияние разморозки ранее замороженных птиц или измерения их плотности путем вытеснения воды должны определяться предварительно на других экземплярах. Для помещения птицы в гильзу пневмопушки допускается прижатие крыльев, ножек и клюва к тушке при общем направлении ее тела вдоль оси ствола пушки. Хотя испытания показывают, что более сильный удар птицы по конструкции происходит при направлении задней части тушки вперед по потоку, но принято выстреливать птицу «по полету» головой вперед, что в Нормах не оговаривается.

Принципиальной особенностью оценки безопасности полетов ВС при столкновении с птицами является случайный характер таких столкновений и их последствий, зависящие от вероятности большого числа обычно независимых событий. К настоящему времени накоплено много статистических сведений по проблеме птицестойкости АД, однако таких сведений далеко недостаточно, чтобы получать количественно надежные оценки вероятности влияния попадания птиц на безопасность полетов. Обычный подход к оценке птицестойкости АД при их сертификации заключается в проведении комплекса стандартизированных испытаний по забросу птиц установленных масс в работающий АД и анализу последствий попадания птиц с точки зрения влияния их на функционирование двигателя для продолжения полета. При этом даже полный отказ АД не должен влиять на безопасное завершение полета и посадку. Условия испытаний выбираются такими, при которых можно ожидать на основании накопленного мирового опыта наиболее опасный для ВС характер повреждений элементов АД. Полностью исключить более тяжелые ситуации (например, столкновение с очень крупной птицей массой до 8-9 кг) нельзя, но вероятность такого события настолько мала, что испытаниями при сертификации она не

учитывается. При возникновении опасности такого события безопасность полета должна обеспечиваться другими способами, в частности, действиями экипажа для предотвращения столкновения.

Наиболее повреждаемыми от ППП элементами проточной части осевых газотурбинных АД являются вращающиеся рабочие лопатки, скорость столкновения с которыми складывается из векторной суммы скоростей полета ВС, встречной скорости полета птицы и окружной скорости вращения рабочего колеса вентилятора/компрессора. Поэтому условия значительной части испытаний назначаются обычно применительно именно к рабочим лопаткам. Но часть условий относится к птицестойкости и других ответственных узлов АД (например, к узлам подвески).

Если соответствие требованиям некоторым параграфам Норм установить не удастся, то в документации по сертификации этого типа двигателя должно быть отражено, что двигатель имеет определенные ограничения по установке на ВС, например, должно быть показано, что по конструкции ВС птица не может ударить по двигателю, попасть внутрь двигателя или препятствовать прохождению воздушного потока в двигатель.

В АП-33 не оговаривается, относятся ли требования к однодвигательным ВС, так как в гражданской авиации такие ВС пока не используются.

Ниже рассмотрены основные требования Норм-33.76 АП-33 к испытаниям узлов АД с необходимыми для их правильного использования пояснениями.

Для удобства использования настоящих РЦ при подготовке программ сертификационных работ ниже курсивом приведены относящиеся к ним тексты параграфа 76 АП-33, а иногда и других документов. Параграфы, не нуждающиеся в комментариях, не приводятся.

5.2 Анализ и рекомендации по применению параграфов АП33-76

Параграф АП-33.76 (а) (1). *Испытания должны проводиться на двигателе, работающем на установившемся режиме, когда взлетная мощность или тяга составляют не менее 100% в условиях окружающей среды, которые будут наблюдаться в день испытаний перед забросом птицы в двигатель. Кроме того, при демонстрации соответствия необходимо учитывать влияние условий эксплуатации двигателя при взлете на уровне моря в наиболее жаркий день, когда наиболее критический двигатель достигает максимальной установленной взлетной тяги или мощности.*

Как правило, физическая взлетная мощность АД или тяга ВС достигается при максимальной физической частоте вращения ротора вентилятора или КНД. В Нормах эта частота вращения указывается как 100%, однако в некоторых случаях, особенно, при модификациях двигателя, она может отличаться от записанной в документации величины 100%.

В действительности, из анализа условий удара птицы по рабочим лопаткам следует, что ударная нагрузка зависит не только от величины окружной скорости на данном радиуса колеса (т.е. от частоты вращения ротора), но и от отношения окружной и осевой скорости птицы. Вопрос о рациональном назначении осевой скорости при испытании (скорости выстреливания птицы) должен уточняться специалистами в соответствии с режимами, на которых ожидаются столкновения с птицами.

Очевидно, что выбрать для испытаний «наиболее жаркий день», при котором АД должен функционировать согласно ТУ, практически невозможно.

Если исходить из того, что наиболее тяжелые последствия по повреждению элементов двигателя от удара птиц, как и при обрыве рабочих лопаток, обычно происходят при максимальной физической частоте вращения, то под «наиболее жарким днем» следует понимать максимальную температуру воздуха на входе в АД, соответствующую ТУ на двигатель. Действительные стандартные испытания проводятся, как правило, при более низкой температуре на входе, когда записанная в документации максимальная приведенная к стандартной температуре тяга/момент достигаются не при максимальной, а при меньшей физической частоте вращения.

Поэтому, при испытаниях, согласно пункту 33.76(а)(1), двигатель должен быть специально отрегулирован так, чтобы получить максимально возможную (и допустимую) в условиях данного испытания физическую частоту вращения. При этом измеренные тяга или мощность могут превысить их расчётные значения для максимального режима, что Нормами допускается. Если путем регулировки двигателя получить максимально допустимую физическую частоту вращения не удастся, то должен быть проведен дополнительный анализ, требования к которому согласуются с сертифицирующим органом.

Термин «*наиболее критический двигатель*» в Нормах не раскрывается. Серийные двигатели могут отличаться друг от друга в допустимых пределах даже по соотношению физических и приведенных частот вращения, отвечающих взлетному режиму при стандартной температуре, и по многим другим показателям. Выбрать из выпускаемых серийных двигателей экземпляр, наиболее чувствительный к повреждениям от попадания птиц, невозможно.

В некоторых РЦ в аналогичном смысле используется термин «минимальный

двигатель», который определяется как «новый двигатель, на котором может быть продемонстрирована роль параметров, наиболее сильно влияющих на условия заброса птиц, описанных в Циркуляре. К таким параметрам относятся мощность или тяга, температура на входе в турбину и частота вращения ротора» [4], т.е. речь идет об указанной выше регулировке двигателя.

Оценку совместного влияния, указанных выше параметров, как и условий влияния «наиболее жаркого дня», можно осуществить только с привлечением расчетного анализа.

Существующие нормативные требования недостаточно полно учитывают возможность повреждений лопаток бустерных ступеней вентилятора и первых ступеней компрессора газогенератора (ГГ), так как не рассматривают условия, при которых во внутренний тракт двух- и трехконтурных двигателей может попасть большая часть массы птиц. Разработаны предложения по ужесточению нормативных требований по этому вопросу путем проведения испытаний при меньшей частоте вращения, меньшей скорости полета и забросе птиц на радиусах, соответствующих размерам проточной части первых ступеней ГГ [4]. На основании опыта эксплуатации, предлагается забрасывать мелкие и средние стайные птицы не на 100% частоты вращения вентилятора, а на минимальной возможной его частоте вращения и при минимальной скорости набора высоты. Хотя указанные уточнения не отражены в действующих НЛГ, их следует учитывать в программах сертификационных испытаний.

Параграф АП-33.76 (а) (2).

Площадь наименьшего сечения во входном канале двигателя, используемая в данном параграфе для определения количества и массы птиц, должна быть установлена Заявителем и определена как ограничение в Документации по установке и эксплуатации двигателя или в разделе Руководства по эксплуатации согласно 33.5.

Для сопоставления результатов испытаний по забросу птиц в работающий АД с установленными нормированными условиями в Нормах предполагается, что количество и масса забрасываемых птиц, которые могут проникнуть в проточную часть осевого вентилятора/компрессора, полностью определяются площадью наименьшего входного канала двигателя. В действительности, на количество и массу птиц могут влиять и другие конструктивные факторы (например, повороты потока перед входом в ступень и пр.) Поэтому конкретизация этой площади, которая обязательно должна быть произведена в конкретных документах по сертификации, возлагается на Заявителя. Изменение расчетной входной площади, которое может быть осуществлено в процессе модификации, должно отражаться в документации.

Параграф АП-33.76 (а) (3).

Должны быть оценены последствия удара в переднюю часть двигателя одной крупной птицы и одной наибольшей птицы среднего размера, которые могут попасть во вход. Должно быть продемонстрировано, что соответствующие компоненты под воздействием удара в условиях, изложенных в пп. (b), (c) или (d) данного параграфа, не будут отрицательно влиять на двигатель в такой степени, что он не сможет соответствовать требованиям пп. (b)(3), (c)(6) и (d)(4).

Площадь «передней части АД» характеризует количество и массу птиц, столкновение с которыми при лобовом ударе может произойти с любой частью АД или отразиться на функционировании его частей, даже не подвергшихся непосредственно удару, например, на подвеску АД к гондole BC. Эта площадь зависит от конфигурации входа в силовую установку и обычно не совпадает с площадью наименьшего сечения во входном канале двигателя [4].

При осевом входе в турбовентиляторный двигатель наименьшая площадь входного самолетного устройства определяется по «захватывающей» площади входа гондолы, соответствующая минимальному ее внутреннему диаметру D_2 . Здесь D_1 - диаметр крайней точки торможения встречного потока воздуха в гондole, D_3 - диаметр передней плоскости входа в вентилятор двигателя.

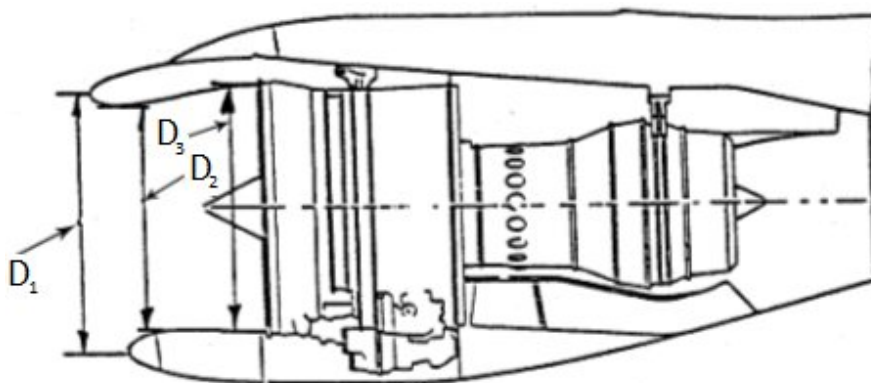


Рисунок 1 – Различные определения диаметров входной части двигателя

Используется также термин «лопатки первой ступени ротора». Это определение может относиться к закапотированной и незакапотированной конструкции вентилятора и к «заднему» его расположению.

Передняя часть двигателя, по которой может ударить птица турбовинтового двигателя, может значительно отличаться от площади кольцевой щели, через которую птица или ее фрагменты проникают в проточную часть.

Турбовинтовые двигатели обычно испытываются на открытых стендах с относящимся к ним воздушным винтом. На рис. 2 показан типичный вид входа в двигатель

со втулкой винта. По передней части входа диаметром D площадью $A_{\text{вх}} = \pi D^2/4$, может ударить любая птица, в том числе крупная. Ударная нагрузка передается через втулку винта на ротор двигателя и его подшипники.

В проточную часть компрессора между лопастями воздушного винта целиком проходят только мелкие птицы, максимальная толщина которых не превосходит входной размер щели воздухозаборника $h_{\text{вх}} = 0.5(D - d)$. Но фрагменты птиц большего размера, которые разбиваются при ударе по лопасти винта или переднюю стенку воздухозаборника, также проникают внутрь двигателя. Чтобы мелкие птицы и фрагменты средних птиц могли попасть в щель, пневмопушку рекомендуется нацеливать на радиус $r_{\text{щ}} = 0.25(D + d)$.

Масса птиц, которые забрасываются внутрь двигателя, определяется по площади щели $A_{\text{щ}} = 2\pi r_{\text{щ}} h_{\text{вх}}$, которая может быть существенно меньше передней площади входа $A_{\text{вх}}$. С другой стороны, входная щель воздухозаборника $h_{\text{вх}}$ может заметно превосходить минимальное расстояние между стенками воздухозаборника.

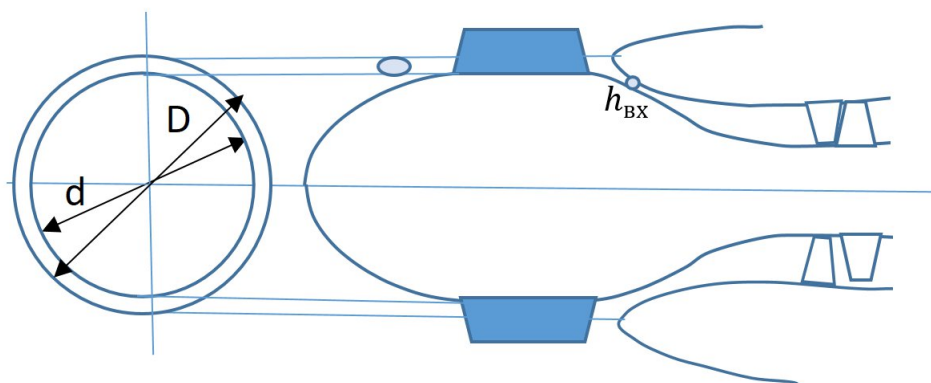


Рисунок 2 – Схема входной части ТВД

Каким образом забрасываются крупная и средняя птица (одновременно или последовательно) в Нормам не оговаривается, их опасность с точки зрения удовлетворения требованиям дальнейших параграфов Норм должна оцениваться опытным или расчетным путем.

Испытания при ударе птиц по передней части двигателя и при попадании птиц в его проточную часть проводятся по-отдельности, но если повреждения входа в первом случае незначительны, то для проведения испытаний с забросом птиц внутрь двигателя может использоваться та же материальная часть двигателя, что и для удара по входу.

Параграф АП-33.76 (а) (4).

Для двигателя, имеющего защитное устройство на входе, соответствие требованиям этого параграфа должно быть установлено при функционировании этого

устройства. Одобрение двигателя должно быть подтверждено демонстрацией того, что соответствие этим требованиям достигнуто при функционировании защитного устройства.

Если защитное устройство представляет собой отдельную конструкцию (например, экран), то опытным путем должно быть подтверждено, что возможное его повреждение или образовавшиеся его фрагменты в результате удара птицами по параграфу АП-33.76(а)(3) не препятствуют завершению полета. В Нормах это отдельно не оговаривается.

Параграф АП-33.76 (а) (5).

При проведении испытаний на попадание птиц согласно пп. (b), (c) и (d) данного параграфа птицы могут быть заменены приемлемыми для Уполномоченного органа посторонними предметами.

К полной замене птиц их имитаторами при сертификационных испытаниях надо подходить с большой осторожностью, в том числе при оценке со стороны Уполномоченного органа.

Понятие «приемлемого» предмета не раскрывается. Обычно применяемые «мягкие» имитаторы (большой частью из желатина) имеют плотность, близкую к усредненной плотности ошипанной тушки птицы (800...900 кг/м³). Имитатор должен иметь такую же массу, какая предусмотрена в документации, что при нормированной скорости соударения с деталью АД обеспечивают необходимый полный ударный импульс. Поэтому оказываемое ими силовое воздействие приводит к большим повреждениям (например, обрыву лопаток), близкое к тому, что дает заброс птицы. Но безопасность полета определяется не только такими повреждениями, но и рядом других последствий, указанных в параграфе АП-33.75(g)(2). Для их косвенного учета иногда практикуется заброс в работающий двигатель отдельного полного оперения.

Использование «других посторонних предметов», отличающихся от тела птиц плотностью, не допустимо.

Параграф АП-33.76(b)(1).

Испытания при попадании крупной птицы должны проводиться с одной птицей (масса которой определяется исходя из табл. 1), нацеленной в наиболее критическое сечение рабочих лопаток I ступени ротора вентилятора или компрессора, при скорости забрасывания птицы 100 м/с – для двигателей, устанавливаемых на самолеты, или при максимальной скорости полета, характерной для нормального полета, – для двигателей, устанавливаемых на вертолетах.

Термин «наиболее критическое сечение рабочих лопаток 1-й ступени ротора вентилятора/компрессора» не раскрывается. Так как наиболее тяжелым последствием удара птиц представляется обрыв рабочей лопатки вблизи корневого сечения или по хвостовику, то обычно критическим сечением считается такое, удар крупной птицы по которому приводит к обрыву всей или большей части лопатки. Это сечение должно устанавливаться расчетным анализом и, по возможности, подтверждаться хотя бы предшествовавшими баллистическими испытаниями, аналогичных конструкций.

Установленная единая скорость заброса крупной птицы 100 м/с для всех АД служит для сопоставления результатов сертификации с имеющимися обобщенными данными, но может отличаться от действительной опасной скорости удара, которая может быть оценена расчетным путем (см. [2]).

Параграф АП-33.76(b)(3). *Попадание одной крупной птицы в условиях испытаний, предписанных данным параграфом, не может приводить к любому из условий, предписанных в 33.75(g)(2).*

В многодвигательных ВС последствием удара крупной птицы может быть такое повреждение одного из двигателей, которое приводит к его выключению, т.е., к полной потере его работоспособности, но без возникновения опасных для ВС других последствий.

В параграфе 33.75(g)(2) перечислены такие опасные для ВС последствия, отсутствие которых требует подтверждения при сертификации. Они отражают не только результаты прямого силового воздействия удара птицы по лопаткам, но и вероятные вторичные ситуации.

Прямого указания на допустимость полного отказа АД при попадании крупной птицы в АП-33.76 нет. Но в перечне недопустимых условий (g)(2) такого пункта нет. В других аналогичных документах он имеется.

Для АД, имеющих близкие предыдущие модификации со значительной наработкой в эксплуатации, подтверждения некоторым требованиям этого параграфа могут опираться на положительный опыт прототипов.

Параграф АП-33.76(b)(4). *Соответствие требованиям к испытаниям на попадание крупной птицы может быть установлено путем демонстрации, что требования к удержанию лопаток и дисбалансу ротора, изложенные в 33.94(a) являются более жесткими, чем требования данного параграфа.*

В параграфе 33.94(a) приводится детализация требований, обеспечивающих безопасность полета при разрушении лопаток компрессора и турбины на максимальной

частоте вращения.

Из приведенной формулировки (b)(4) следует, что для замены испытаний с забросом крупной птицы испытаниями при обрыве лопаток достаточно рассмотреть не все, а только два из указанных в п.33.94(a) опасных последствий, в частности, не указывается на опасность разрушения узлов подвески. В зарубежных НЛГ опасные последствия рассматриваются более подробно.

Требования параграфа 33.76(b)(4) не должны заменять общих требований 33.75(g)(2) и, следовательно, допустимость использования результатов испытаний по п.33.94(a) вместо испытания по п.33.76(b)(1) требует более обстоятельного обоснования.

Параграфы АП-33.76(c)(1-10) касаются испытаний на заброс в проточную часть АД стай средних и мелких птиц.

В таблицах 2 и 3 приводятся значения количества и массы каждой птицы в зависимости от площади минимального входного сечения АД, причем указываются минимально допустимые, а не предельные величины масс, которые могут быть превышены и не требуют подгонки путем вырезания части тела птицы.

Требование (1), чтобы скорость заброса должна быть не менее скорости принятия решения V_1 , обеспечивает условие имитации отрыва ВС от земли при взлете, но очевидно не относится к режиму снижения, который также может быть опасным.

Неоднократно используемый в (1) термин «критический» подчеркивает необходимость проведения предварительного экспериментально-расчетного анализа влияния зоны прицеливания, скорости заброса и частоты вращения, вызывающих потерю мощности и повреждений.

Таблица 3 пункта 3 указывает на условия проверки прочности при ударе стаи средних птиц по *вентиляторному узлу снаружи основного канала газогенератора*. Понятие «*вентиляторный узел*» не раскрывается, но очевидно оно относится ко всей конструкции входного устройства АД, включая воздухозаборник и вращающийся кок, отбрасывающий птиц во внешний контур ГГ.

Пункт (8) очевидно относится только к вертолетным АД с открытым осевым входом.

Применение пункта (9) о том, что *не требуется соответствия требованиям к попаданию средних птиц для двигателей, предназначенных для многодвигательного вертолета, если это указано в соответствующей Документации по сертификации типа* нуждается в специальном обосновании (например, опытом эксплуатации прототипа).

Параграфы АП-33.76(d)(1-7)

Стайные птицы, даже крупные, обычно имеют меньшую массу, чем единичные экземпляры, но вероятность столкновения с ними – большая, поэтому требования к их испытаниям выделены в отдельный подраздел (d). Испытания проводятся с количеством птиц и массой согласно табл. 4.

В отличие от попадания отдельных крупных птиц, при ударе стайной крупной птицы требуется, чтобы двигатель сохранял половину мощности/тяги (пункт (4)): *Заброс крупной стайной птицы при условиях, предписанных в данном параграфе, не должен стать причиной любого из перечисленных последствий: (i) продолжительного уменьшения тяги или мощности до уровня менее 50 % максимальной взлетной мощности или тяги в заявленных условиях во время работы на участках, указанных в п. (d)(5)(i) данного параграфа.*

Далее следуют многочисленные (не вполне понятные) перекрестные ссылки, в том числе на п. (b3), в котором указана недопустимость в условиях испытаний, предписанных данным (не указано, каким именно) параграфом, для любого из условий, по п. 33.75(g)(2).

В принципе, (d)(6)(ii), допускается замена испытаний по забросу крупных стайных птиц не в двигатель, а в «сборочный узел двигателя при условиях заброса, указанных в п. (b)(1) данного параграфа, если выполняется ряд дополнительных условий, подтвердить достоверность которых трудно. Часть условий 33.75(g)(2) вообще трудно надежно смоделировать при испытании отдельного сборочного узла. Поэтому, воспользоваться п.(6) можно только при наличии данных по испытаниям и летной эксплуатации двигателя-прототипа.

Птицестойкость узлов из ПКМ

В нормах летной годности [1] и [7] прямые требования к подтверждению прочностной надежности РЛВ из ПКМ отсутствуют. Хотя FAA принято, что РЛВ из ПКМ относится к деталям с новой или необычной конструктивной особенностью, а применяемые нормы летной годности [7] не содержат адекватных или надлежащих стандартов безопасности, учитывающие эти особенности.

Согласно CFR 14 §11.19 и 21.16 [8] для моделей двигателей с новыми конструктивными особенностями, в том числе связанные с РЛВ из ПКМ, предписываются к исполнению «Специальные условия», содержащие дополнительные правила безопасности.

При сертификации двигателей GE90 и GE9X применялись «Специальные условия» [9] и [10], соответственно. В данных «Специальных условиях» отсутствуют особенные

требования, относящиеся к птицестойкости РЛВ из ПКМ.

Свойства ПКМ существенно зависят от производственных дефектов, эксплуатационных повреждений и воздействия окружающей среды. Также характер повреждений и разрушений узлов из ПКМ имеет ряд особенностей. GE проводит испытания на птицестойкость РЛВ из ПКМ с учетом производственных дефектов (пористость и свилеватость (отклонение улов ориентации волокон)), эксплуатационных повреждений и воздействия окружающей среды (длительное воздействие влаги).

При таком подходе к сертификации РЛВ из ПКМ согласно [11] фирмой General Electric было зарегистрировано более 180 случаев попадания птицы в двигатель GE90, при этом только одна лопатка оказалась не пригодной к дальнейшей эксплуатации.

Для повышения птицестойкости РЛВ из ПКМ их переднюю кромку усиливают металлической накладкой. Металлические накладки способствуют также разрезанию больших птиц на фрагменты при их попадании в тракт двигателя, существенно снижая уровень давления, приходящегося на перо лопатки.

Исследования стойкости образцов лопаток со стальными накладками, имевшими заостренный «носик» различной толщины, показали, что при больших энергиях удара образец разрушается путём среза, причем вырванная срезом область, в отличие от локального среза при пробитии пулей, во много раз превышает размеры ударника. Наряду со срезом происходит расслоение сохранившихся частей образца. Несмотря на то, что при ударе накладки могут сорваться, они всё же сдерживают развитие расслоений материала.

Металлические накладки на передние кромки лопаток из КМ играют роль защитных устройств и, в соответствии с параграфом АП-33.76 (а) (4), все испытания должны проводиться при их функционировании.

6 Анализ формулировок зарубежных Норм летной годности и циркуляров к ним

В целом, требования отечественных НЛГ по птицестойкости АД не существенно отличаются от требований американских и зарубежных НЛГ по этим вопросам. Но некоторые полезные уточнения в них имеются. Наиболее важные из них рассмотрены ниже.

а) По п. **АП-33.76 (a) (1)**. В РЦ [4] имеется рекомендация, что условия испытаний должны «базироваться на других представительных испытаниях двигателя или его компонентов, обоснованном анализе, представительных событиях при обслуживании, или некоторой комбинации, которую сертифицирующий орган сочтет приемлемой». Такой неконкретной рекомендацией трудно воспользоваться.

б) По п. **АП-33.76 (b) (3)**. В документе [5] указано: *Отказ двигателя, при котором единственным последствием является частичная или полная потеря тяги или мощности (и соответствующее обслуживание двигателя), должен рассматриваться как незначительное для двигателя последствие.*

В [6] п. АМС Е 800 (1)(a)(iii) и в п.6а [7] FAR-33 прямо указано, что при забросе в двигатель единичной крупной птицы допускается полная потеря тяги или мощности

в) По п. **АП-33.76 (a) (2)**. В ряде РЦ приводятся конкретные схемы входных устройств с рекомендациями по их применению для расчета площади наименьшего проходного сечения.

г) По п. **АП-33.76 (b) (4)**. В [7] указано, что замена испытаний по забросу птиц на испытания при разрушении лопаток компрессора и турбины на максимальной частоте вращения возможна, если испытание по 33.94(a) является более жестким по удержанию рабочих лопаток, по дисбалансу ротора, по защите от пожара и по сопротивлению повышенным нагрузкам. При оценке также должны рассматриваться крутящие моменты в двигателе, нагрузки, связанные с помпажом и осевые нагрузки, вызванные ударом птицы и передающиеся на конструкцию двигателя. В [6] (4)(f) также указывается на необходимость учета влияния осевых нагрузок от удара птицы на подшипники.