

УДК 629.7.036

А.Г. НАРЫЖНЫЙ, В.Н. ПАВЛЕНКО, С.П. СВЕТИЧНЫЙ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, СВЯЗАННЫХ СО СЛУЧАЯМИ ПОПАДАНИЯ ПТИЦ В АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Проблема столкновения самолета с птицами является актуальной технической задачей, решаемой на этапе разработки и введения в эксплуатацию новых образцов авиационной техники в рамках концепции обеспечения надежности и безопасности полетов. Досрочный съем двигателей по причине попадания в них птицы нарушает регулярность рейсов и приводит к дополнительной загрузке завода-изготовителя и ремонтных предприятий внеплановым ремонтом двигателей, что в конечном итоге выражается в расходовании дополнительных материальных средств на устранение неисправностей, возникших в ходе летного происшествия. Кроме того, повреждение лопаток двигателя снижает эксплуатационную надежность и безопасность полетов. Проанализированы важные факторы, связанные со случаями попадания птиц в авиационный двигатель, а также рассмотрены методы оценки птицестойкости лопаток двигателя.

Ключевые слова: *птицестойкость лопаток двигателя, столкновение самолета с птицами, лопатка, натурный эксперимент, компьютерное моделирование.*

Проблема столкновения самолета с птицами является актуальной технической задачей, решаемой на этапе разработки и введения в эксплуатацию новых образцов авиационной техники в рамках концепции обеспечения надежности и безопасности полетов [1 – 7].

В рамках рассматриваемой проблемы можно выделить два направления:

1. Проблема столкновения птицы с отдельными частями летательного аппарата (ЛА).
2. Проблема попадания птиц в газоздушный тракт (ГВТ) двигателя.

Целью данной работы является анализ важных факторов, связанных со случаями попадания птиц в авиационный двигатель, а также обзор методов оценки птицестойкости лопаток двигателя.

Для достижения поставленной цели проведен анализ и обобщение статистических данных по рассматриваемой проблеме, а также рассмотрены существующие методы оценки птицестойкости лопаток двигателя. Попадание птиц в воздухозаборники авиационных двигателей представляет собой реальную угрозу безопасности полета, приводящую к ряду летных происшествий с человеческими жертвами (рис. 1).

Вероятность попадания птицы в двигатель зависит от типа самолета. Так согласно данным статистики для самолетов гражданской авиации примерно 40% столкнувшихся с ними птиц попадает в двигатель, для военных самолетов статистика иная: двигатель – 55% столкновений [8]. Согласно дан-

ным, приведенным в работе [9], повреждение двигателей, вызванные попаданием в него птицы составляют 28% от общего числа случаев, зарегистрированных для воздушных судов (ВС) в Австралии. Реактивные двигатели особо подвержены опасности попадания птицы в ГВТ двигателя при взлете, когда двигатель работает на повышенных оборотах (предельный режим, плохая управляемость) и самолет находится на малой высоте, где чаще всего встречаются птицы. По данным, приведенным в отчете Австралийского бюро по безопасности на воздушном транспорте, приблизительно 60% случаев (169 случаев из 296) произошли при заходе на посадку и посадке. 30% случаев попадания птиц в двигатель произошли при взлете [9].



Рис. 1. Последствия попадания стаи птиц в двигатель

Опасность для ВС представляют отдельные виды птиц, которые совершают перелеты на высотах до 3 тыс. м, а также основная масса птиц, совершающая свои полеты в диапазоне высот от 100 м до 500 м в районе аэродрома в секторах взлета/посадки ВС (рис. 2, 3).



Рис. 2. Случаи столкновения самолета с птицами на посадке

Был подсчитан риск столкновений ВС с птицами в зависимости от высоты полета [7]: до 100 м риск составляет 45,8%; 101-400 м – 28%; 401-1000 м – 12,7%; 1001-2000 м – 7,5%; 2001-5000 м – 5,2%; свыше 5000 м – 0,8%.

Очевидно, что наиболее «птицепасным» этапом полета является нахождение ВС на высоте Круга (400 м), при выполнении которого полет происходит длительное время на высотах возможного скопления птиц.

Досрочный съем двигателей по причине попадания в них птицы нарушает регулярность рейсов и приводит к дополнительной загрузке завода-изготовителя и ремонтных предприятий внеплановым ремонтом двигателей, что в конечном итоге выражается в расходовании дополнительных материальных средств на устранение неисправностей, возникших в ходе летного происшествия. Кроме того, повреждение лопаток двигателя снижает эксплуатационную надежность и безопасность полетов.

В 1992 году самолет ВАе 146 столкнулся со стаей розовых какаду при взлете из аэропорта Аделаиды. Птицы одновременно попали в два двигателя. Стоимость ремонта двигателей составила 230 тыс. долларов США [9]. Эта сумма включает затраты на демонтаж двигателя, замену деталей и оплату труда.

По оценкам авиакомпании Qantas столкновение самолета А300 с птицей в 1995 году обошлось авиакомпании в 8 млн. долларов США [9]. Эта сумма включает затраты на замену двигателей, простой и изменение в расписании.

По статистике, столкновение с птицей как причина летного происшествия стоит на третьем

месте после отказов техники и человеческого фактора [3].



Рис. 3. Соотношение числа столкновений с птицами на различных режимах полета

Годовой ущерб, вызванный столкновениями с птицами, только в США оценивается в 400 млн. долларов США и до 1,2 млрд. долларов США для коммерческих воздушных судов в мире [5,6].

Для оценки масштабов угрозы, которую представляют птицы для самолета и двигателя, рассмотрим данные статистики [1, 5-7]. В период с 1990 года по 2003 год в одних только Соединенных Штатах Америки было зафиксировано 52493 случаев столкновения самолетов с птицей [5, 10]. С 1988 года в мире погибло свыше 219 человек в результате столкновений самолета с птицей [5]. Согласно данным, приведенным в работе [9], в Австралии в период с 2002 по 2006 годы зарегистрировано 296 случаев попадания птицы в двигатель.

Как видно из рис. 4 наблюдается рост числа столкновений с птицами в течение анализируемого периода времени [11]. Аналогичная тенденция прослеживается в России и других странах СНГ [1]. Причем на данном рисунке приведено только лишь число регистрируемых столкновений. Анализ статистики показал, что число регистрируемых случаев столкновения составляет около 20% от общего числа фактически происходящих столкновений [5]. Это означает что реальный ущерб гораздо выше ущерба, приведенного в статистике. Учитывая факт, что численность авиационного парка увеличивается с каждым годом и двигатели совершенствуются, становясь малозумными, можно сделать вывод о том, что столкновение с птицами представляет собой реальную угрозу, масштабы которой нельзя недооценивать.

Решение данной проблемы не может оставаться без внимания со стороны эксплуатирующих организаций, инженеров и ученых.

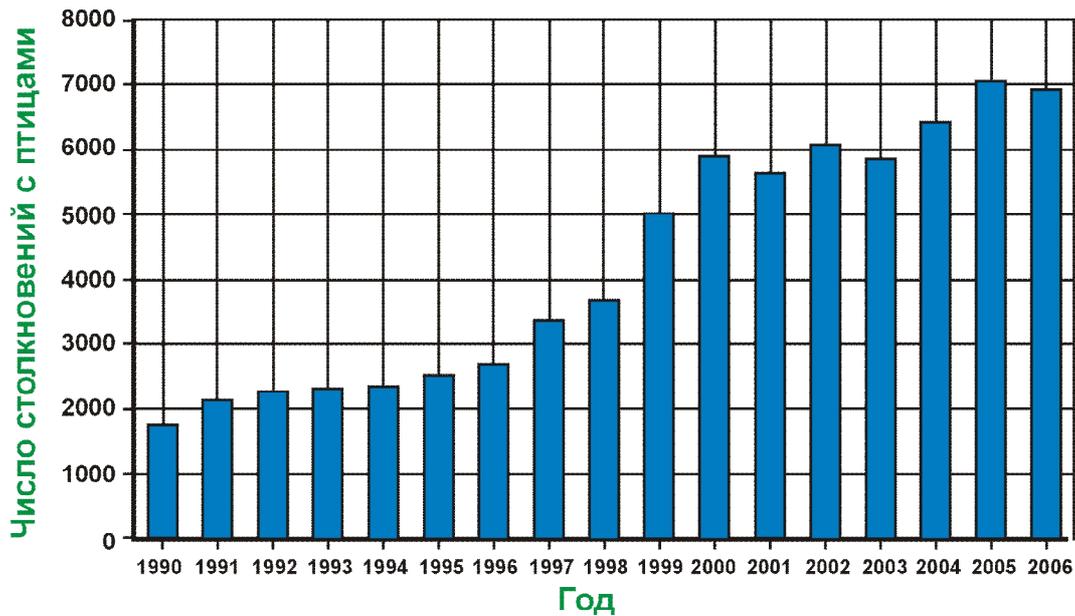


Рис. 4. Количество столкновений с птицами в США в период с 1990 по 2006 годы

Из рассматриваемого статистического материала можно выделить факторы, влияющие на повреждение лопаток двигателя, вызванные столкновением с птицей:

1. Факторы внешней среды (виды птиц, масса и размеры птицы, географическое местоположение).

По видам птиц случаи столкновений распределяются следующим образом (данные ГосНИИ ГА): голуби – 26,2%; чайки – 19,1%; водоплавающие (гусеобразные, гагары и др.) – 14,0%; воробьи – 13,4%; дневные хищные птицы – 13,1%; врановые – 6,2%; стрижи – 3,2%; совы – 2,5%; журавли, аисты, цапли – 2,0% [7].

Следует отметить, что приведенная статистика по видам птиц носит территориальный характер и может существенно меняться в зависимости от географического местоположения, поскольку в разных регионах обитают разные виды птиц.

Масса птицы является одним из основных параметров, определяющих тяжесть последствий столкновения.

В работе [12] дана классификация птиц по массе тела (табл. 1).

Другим важным параметром, определяющим размеры зоны повреждения, является размер птицы.

Различают следующие категории размеров птиц:

Очень маленькие с размером тела не превышающем 15 см, малые – от 15 до 25 см, средние – от 25 до 40 см, большие – от 40 до 80 см и очень большие – свыше 80 см.

2. Количество птиц (единичные столкновения или столкновения со стаей птиц).

Таблица 1

Классификация птиц по массе тела

Категория	Масса
1	Менее 100 гр.
2	100 – 450 гр.
3	450 – 900 гр.
4	900 – 1900 гр.
5	1900 – 3600 гр.
6	Свыше 3600 гр.

3. Режимы полета. Здесь, прежде всего, следует выделить режимы работы двигателя (обороты, температура), а также скорость и высота полета.

4. Временные факторы (год, месяц, время суток).

Наибольшую опасность представляют собой перелеты птиц в утренние (66,9% случаев) и ночные (33,1% случаев) часы. Специалисты ГосНИИ ГА определили характерные цирканнуальные пики столкновений в ночное время: зима – 21,7%, весна – 11%, лето – 13,7%, осень – 18,6% [7].

5. Эксплуатационные факторы (тип ЛА, его взлетная масса, тип силовой установки и тяга/мощность двигателя).

К имеющимся статистическим данным необходимо добавить дополнительные факторы, оказывающие влияние на повреждение:

1. Плотность птицы.
2. Жесткость птицы.
3. Угол соударения.
4. Форма и жесткость поверхности соударения.

Кроме того, следует отметить, что ниже перечисленные факторы, а также имеющийся статистический материал, необходимо учитывать при разработке нормативной базы для проведения испытания, а также уточнения существующих стандартов с целью обеспечения соответствия условий испытаний условиям, имеющим место в ходе реального летного происшествия.

Предупреждение столкновения с птицей является важной частью снижения общей опасности, которую представляют птицы для самолета и двигателя. Сегодня во всем мире инженеры работают над тем, чтобы надежнее защитить двигатели от птиц и свести к минимуму возможные повреждения. Следует отметить, что разработкой одних лишь превентивных мер не решить данную проблему. Рассматриваемая проблема является комплексной и требует для решения взаимодействия специалистов из различных областей.

В настоящее время, для оценки птицестойкости лопаток двигателя в инженерной практике применяются следующие методы:

- 1) натурный эксперимент на полноразмерном двигателе (рис. 5);
- 2) полуэмпирические методы;
- 3) компьютерное моделирование.

Испытания и сертификация являются неотъемлемой частью процесса разработки и введения в эксплуатацию нового двигателя.

Единственным методом подтверждения требований норм летной годности при сертификации являются полномасштабные испытания.

Испытания на птицестойкость проводятся в соответствии с требованиями Авиационных правил часть 33 и международных норм летной годности части 33 и 25 [13, 14].

Очевидно, что по причине многообразия видов птиц, которые отличаются по массе и размерам, невозможно обеспечить полного соответствия требованиям норм летной годности самолета или двигателя для конкретного вида птиц.

Соответствующие части норм летной годности разрабатываются после анализа различных факторов, включающих вероятность и тяжесть последствий столкновения, а также условий эксплуатации самолета.

В нормах летной годности определены условия проведения испытаний на птицестойкость, а также регламентированы количество и масса птиц в зависимости от площади входного сечения двигателя.

В соответствии с требованиями норм летной годности реактивный двигатель при прохождении сертификационных испытаний должен показать возможность поддержания 75% уровня тяги в течение 5 минут после столкновения со стаей мелких или

средних птиц или возможность безопасного выключения после столкновения с крупной птицей.



Рис. 5. Испытательный стенд

Очевидным недостатком натуральных испытаний как метода исследования птицестойкости лопаток двигателя является высокая стоимость, а также зачастую сложности, связанные с получением достоверного результата и обеспечения повторяемости результатов для серии испытаний. Учитывая особенности рассматриваемого процесса (быстротечность, ударный характер взаимодействия и разрушение) в качестве недостатка также следует отметить технические трудности, а зачастую и невозможность определения интересующих механических параметров в ходе испытаний.

Полуэмпирический метод оценки птицестойкости основывается на сравнении кинетической энергии птицы с внутренней энергией, поглощаемой лопаткой. Применение данного подхода предполагает использование расчетных зависимостей, базирующиеся на основных положениях теории гидроудара, полученных в ходе обработки экспериментальных данных. Учитывая сложность геометрии лопатки, а также сложный характер ударно-контактного взаимодействия, становится очевидным, что такой подход применим в инженерной практике как приближенный метод оценки птицестойкости лопатки при значительных упрощениях рассматриваемой геометрии (идеализация расчетной модели). Как следствие, допущения и упрощения,

используемые в ходе расчета, приводят к существенным расхождениям между получаемым результатом и экспериментом и требуют уточнения полученного результата в ходе испытаний.

В настоящее время наблюдается тенденция сокращения объема полномасштабных испытаний и эффективного использования компьютерного моделирования (численного эксперимента) в качестве инструмента для исследования птицестойкости лопаток двигателя.

Компании - разработчики авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) заинтересованы в увеличении доли компьютерного моделирования и снижении количества натурных испытаний для оценки прочности лопаток ГТД при попадании птицы в двигатель.

Численное моделирование является эффективным инструментом для изучения проблем ударно-контактного взаимодействия и обладает рядом преимуществ.

Применение компьютерного моделирования позволяет сократить сроки (объем) проектирования и испытаний двигателя, повысить качество изделия, снизить затраты на проведение испытаний. Кроме того, численное моделирование дает возможность анализа различных сценариев протекания процесса и обладает многообразием и наглядностью представления получаемых результатов. Однако, результаты численного моделирования не могут считаться надежными без проведения процедуры верификации используемых в расчетах математических моделей и их параметров.

Поэтому разумным и эффективным методом решения поставленной задачи является комбинация двух подходов: численного моделирования и эксперимента, взаимодополняющих друг друга и устраняющих недостатки каждого из подходов.

Заключение

1. Попадание птиц в воздухозаборники авиационных двигателей представляет собой реальную угрозу безопасности полета, приводящую к отказам и как следствие ряду летных происшествий различной степени тяжести. Досрочный съем двигателей по причине попадания в них птицы нарушает регулярность рейсов и связан с расходом дополнительных материальных средств на устранение неисправностей, возникших в ходе летного происшествия. Учитывая выше сказанное, можно сделать вывод, что проблема попадания птиц в газозводушный тракт двигателя является актуальной технической задачей требующей решения. Описанная проблема требует формулирования задач исследования закономерностей и особенностей взаимодействия птиц и

элементов конструкции двигателя для использования при проектировании и эксплуатации.

2. Проанализированы важные факторы, связанные со случаями попадания птиц в авиационный двигатель такие как:

- a) факторы внешней среды (виды птиц, масса и размеры птицы, географическое местоположение);
- b) количество птиц (единичные столкновения или столкновения со стаей птиц);
- c) режимы полета;
- d) временные факторы (год, месяц, время суток);
- e) эксплуатационные факторы (тип ЛА, его взлетная масса, тип силовой установки и тяга/мощность двигателя).

3. Рассмотрены существующие методы оценки птицестойкости лопаток двигателя.

Предложено для решения поставленной задачи применять комбинация двух методов: численного моделирования и эксперимента.

Литература

1. Проблема столкновения самолетов с птицами. Справка. Сюжет: Авария пассажирского самолета "Аэробус-320" в США [Электронный ресурс] // РИА Новости. – Режим доступа: <http://ria.ru/incidents/20090116/159413848.html>. – 16.01.2009 г.
2. Случаи столкновения самолетов с птицами в 2005–2009 гг. Справка Сюжет: Авария пассажирского самолета "Аэробус-320" в США [Электронный ресурс] // РИА Новости. – Режим доступа: <http://ria.ru/incidents/20090116/159414673.html>. – 16.01.2009 г.
3. Вышинский, В. Столкновение самолета с птицей [Текст] / В. Вышинский. // Физический факультатив. Квант. – 2009. – №6. – С. 30-31.
4. Thorpe, J. Fatalities and destroyed civil aircraft due to bird strike, 1912-2002 [Text] / J. Thorpe // Proc. of the 26th Annual Meeting of the International Bird Strike Committee. Warsaw, Poland, 2003. – 28 p.
5. Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States 1990-2004 [Text] / E. Cleary et. Al. // Federal Aviation Administration National Strike Database. – 2005. – № 11. – 77 p.
6. Allan, J.R. The Costs of Birdstrikes to Commercial Aviation [Text] / J.R. Allan, A.P. Orosz // Bird Strike Committee Proceedings, Bird Strike Committee-USA/Canada, Third Joint Annual Meeting. Calgary, AB, 2001. – 10 p.
7. Колесников, Ю.М. Столкновения самолетов с пернатыми нередко приводит к авариям [Текст] / Ю.М. Колесников // Вестник авиации и космонавтики. – 2008. – № 1. – С. 52.
8. Ильичев, В.Д. Авиационная орнитология [Текст] / В. Д. Ильичев // Биология. Приложение к газете "Первое сентября". – 2004. – №31. – С. 10-12.

9. *An Analysis of Australian Birdstrike Occurrences 2002 to 2006 [Text]: ASTB Transport Safety Investigation Report. Aviation Research and Analysis Report AR-2007-27 Final / Australian Government. Australian Transport Safety Bureau. – 2007. – 139 p.*

10. *Access to the FAA National Wildlife Aircraft Strike Database and Associated ERAU Analytical/Statistical/Database Modules [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wildlife.pr.erau.edu/index.html>. - 24.11.2011 г.*

11. *Blair, A. Aeroengine Fan Blade Design Accounting for Bird Strike [Text] / A. Blair // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Applied Science. Department of Mechanical and Industrial Engineering. The University of Toronto, March 2008. – 84 p.*

12. *Bird Strike Damage & Windshield Bird Strike [Text]: Final Report / European Aviation Safety Agency. – 2003. – 181 p.*

13. *Авиационные правила. Часть 33. Нормы летной годности двигателей воздушных судов. Раздел E [Текст]. – МАК. – 2004. – С. 21–24. Federal Aviation Administration. US Code of Federal Regulations, Title 14, Part 33, Subpart E, Section 33.76 Bird ingestion [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/textidx?c=ecfr&sid=09f120451a2e89ed599664c661927aee&rgn=div5&view=text&node=14:1.0.1.3.16&idno=14#14:1.0.1.3.16.5.363.16>. – 24.11.2011 г.*

Поступила в редакцию 24.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. производства авиационных двигателей А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ВИПАДКАМИ ПОПАДАННЯ ПТАХІВ У АВІАЦІЙНИЙ ДВИГУН

О.Г. Наріжний, В.М. Павленко, С.П. Світличний

Проблема зіткнення літака з птахами є актуальною технічною задачею, що вирішується на етапі розробки та введення в експлуатацію нових зразків авіаційної техніки в рамках концепції забезпечення надійності та безпеки польотів. Достроковий з'їм двигунів через попадання в них птахи порушує регулярність рейсів і призводить до додаткової завантаженні заводу-виготовлювача і ремонтних підприємств позаплановим ремонтом двигунів, що в кінцевому підсумку виражається у витрачання додаткових матеріальних коштів на усунення несправностей, що виникли в ході льотної події. Крім того, пошкодження лопаток двигуна знижує експлуатаційну надійність і безпеку польотів. Проаналізовано важливі чинники, пов'язані з випадками попадання птахів у авіаційний двигун, а також розглянуті методи оцінки птцістійкості лопаток двигуна.

Ключові слова: птцістійкість лопаток двигуна, зіткнення літака з птахами, лопатка, натурний експеримент, комп'ютерне моделювання.

ANALYSIS OF FACTORS RELATED TO BIRDS INGESTION INCIDENTS

A.G. Narizhnyi, V.N. Pavlenko, S.P. Svetlichnyi

Bird strike is an important technical problem to be solved during design and implementation of new aircraft types within the scope of the strategy on maintain the reliability and flight safety. Early removal of engines due to birds ingestion breaks flight regularity, and result in additional loading of manufacturing and overhaul plants with repair, which finally result in spending additional funds for damage removal caused by flight incident. In addition, damage of the engine blades reduces the reliability and safety. Important factors related to birds ingestion have been analyzed as well as engine blade bird proof analysis techniques have been considered.

Key words: engine blade bird proof, birdstrike, blade, full scale test, Computer Aided Design.

Наріжний Александр Георгиевич – канд. техн. наук, доцент, доцент каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Павленко Виталий Николаевич – канд. техн. наук, доцент, зав. каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Світличний Сергей Петрович – ассистент каф. теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.