

М. В. Потоцкий, Е. В. Небелов, Д. П. Ткаченко,
А. П. Кирпичников

ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ЛОПАСТЕЙ ВОЗДУШНЫХ ВИНТОВ ТУРБОВИНТОВОГО ДВИГАТЕЛЯ, ПОВРЕЖДЁННЫХ ПОСТОРОННИМИ ПРЕДМЕТАМИ

Ключевые слова: самолет, турбовинтовой двигатель, воздушный винт, лопасть, повреждение.

Представленная статья даёт представление о методике исследования прочностных свойств воздушных винтов ТВД, получивших повреждения от посторонних предметов в эксплуатации.

Key words: Aircraft, turboprop engine, air screw, blade, deterioration.

The article gives an idea about the methodology of the study of the strength properties of propellers turboprop engine, injured from foreign objects in operation.

Воздушный винт (ВВ) является важнейшей составляющей силовой установки. Приведенное утверждение обусловлено рядом факторов: в первую очередь ВВ непосредственно участвует в создании тяги, т.е. является движителем, во вторых это элемент который работает в условиях высоких нагрузок (центробежные и аэродинамические силы), в третьих вращающийся ВВ, при определённых условиях, является источником возникновения вихревого течения, что делает его уязвимым к попаданию посторонних предметов (ПП).

Последний фактор выливается в серьёзную проблему – преждевременный съём воздушных винтов с эксплуатации.

Преждевременный съём воздушных винтов нарушает регулярность рейсов воздушных судов и приводит к дополнительной загрузке промышленности. Повреждение лопастей воздушных винтов ТВД снижает эксплуатационную надёжность и безопасность полетов. Меры, направленные на предотвращение повреждения посторонними предметами элементов силовой установки не смогли полностью решить обозначенную проблему, что оставляет её актуальной.

И действительно, недоработка ресурса приводит к снижению боеготовности частей и соединений, увеличению оборотного фонда элементов СУ, возникновению простоя авиационной техники, а так же к дополнительным затратам на хранение, транспортировку и ремонт, содержанию дополнительных мощностей и дополнительного штата сотрудников авиационных ремонтных заводов (АРЗ).

Необходимо заметить, что силовая установка с ВВ имеет ряд преимуществ. Прежде всего это большой ресурс и низкий удельный расход топлива. Именно, исходя из перечисленных достоинств, в эксплуатации до сих пор находятся такие самолёты с турбовинтовыми двигателями (ТВД) как: Ан-22, Ту-95, Ту-142 (двигатель НК-12 различных модификаций), Ан-12, Ил-18, Ан-32 (двигатель АИ-20 различных модификаций), Ан-26, Ан-24 (двигатель АИ-24 различных модификаций). Кроме того, готовятся к принятию в эксплуатацию ряд самолётов с силовыми установками нового

класса – турбовинто-вентиляторными (ТВВД). В таких силовых установках традиционный ВВ заменён винто-вентилятором (ВВе). ВВе имеет большее число лопастей, которые выполнены широкохордными, меньшего радиуса. Кроме этого, в отличие от традиционного воздушного винта лопасти ВВе для достижения требуемых массовых характеристик выполняются из композиционных материалов (КМ). Прочностные свойства современных КМ не уступают свойствам традиционных материалов, однако при появлении в материале концентраторов напряжений, вызванных соударениями с ПП поведение лопасти из КМ, нагруженной эксплуатационными нагрузками, не достаточно предсказуемо.

Посторонними предметами для авиационной техники (АТ) являются все предметы, попадающие в нее извне, а также оставленные во внутренних полостях конструкции при сборке и монтаже. К посторонним предметам относятся также и принадлежащие конструкции детали (болты, шпильки, гайки, шайбы и т.д.), которые в процессе эксплуатации по той или иной причине отделились от своего места и попали в те узлы и полости, которым они не принадлежат [1]. Кроме того, применение летательных аппаратов в районе боевых действий сопряжено с вероятностью повреждения элементов силовой установки пулями и осколками снарядов.

Недостаточная изученность свойств лопастей ТВД и ТВВД (далее ТВД), повреждённых ПП, не позволяет оценить их надёжность, что важно для принятия решения о возможности дальнейшего использования повреждённой лопасти по назначению. Таким образом, возникает необходимость в проведении всесторонних исследований стойкости лопастей различных типов к повреждениям ПП.

В течение нескольких лет изучение этого направления проводилось на кафедре конструкции авиационных двигателей ВВИА им. профессора Н.Е. Жуковского. Данной теме посвящен ряд научных работ, по результатам которых происходило формирование методики исследования. В результате родилась комплексная методика исследования лопастей ТВД различных типов, которые могут получить повреждения от посторонних предметов

различной природы, при различных условиях, и комбинациях. Упрощённая функциональная схема методики представлена на рис. 1.

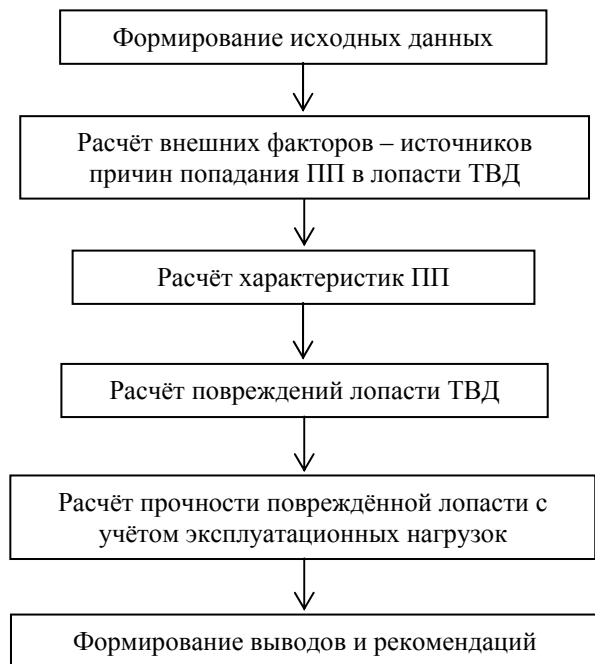


Рис. 1

Каждый раздел методики – это самостоятельная задача, результат решения которой является начальными условиями для решения последующих задач.

Рассмотрим пример применения представленной методики для исследования лопастей воздушного винта АВ-112, который вместе с двигателем ТВ7-117 входит в состав силовой установки перспективного самолёта Ил-112.

Формирование исходных данных включает в себя задание параметров, связанных с геометрическими характеристиками ВВ, материалом лопастей, компоновочными характеристиками силовой установки, характеристиками ПП. Кроме того, на данном этапе необходимо задать режим работы СУ, для которого будут проводиться исследования.

Внешние факторы выбираются в зависимости от того, какой тип ПП мы собираемся рассматривать. В работе [2] ПП были классифицированы как низкоскоростные и высокоскоростные.

Низкоскоростные ПП – это, как правило, предметы аэродромной засорённости. Исследования показали, что наибольшая вероятность соударения таких ПП с лопастями ВВ возможна вследствие вихревого подхвата. По этому на данном этапе производится расчёт поля скоростей воздушного потока индуцируемого вращающимся ВВ. Для решения этой задачи пользуются различными методиками. Например, метод дискретных вихрей или метод конечных элементов.

Пули и осколки средств поражения рассматривались как высокоскоростные ПП. Для них начальные условия определяются в основном исходя из технических характеристик соответствующего оружия и условий его применения.

Расчёт характеристик ПП подразумевает, прежде всего, получение скоростей и углов соударения частицы с лопастью. В качестве исходных уравнений для решения задачи этого этапа используются уравнение Навье-Стокса для несжимаемой жидкости, уравнение траектории несущей жидкости, уравнение траектории твердой частицы, уравнение движения отдельной твердой частицы [2].

По результатам расчёта определяются наиболее вероятные траектории, зоны, углы и скорости соударения ПП с лопастью.

Для выполнения расчёта повреждений лопастей использовался метод конечных элементов. Точность расчетов существенно зависит от построения адекватных моделей лопастей и твёрдых частиц. В модели должны быть выдержаны как геометрические формы, так и структура материала, особенно для лопастей из КМ (рис. 2).

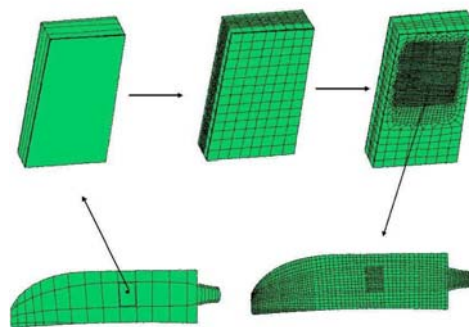


Рис. 2 – Конечно-элементная модель лопасти

Современные компьютерные технологии инженерного анализа позволяют с высокой точностью решать сложные расчётные задачи. К таким задачам относятся, например определение характеристик создаваемого двигателя, оценка ресурса и долговечности ответственных узлов и деталей конструкции без проведения натурных испытаний. Решение задачи расчёта повреждений лопастей было выполнено с использованием программного комплекса ANSYS. Адекватность расчётных моделей подтверждается соответствующими натурными экспериментами.

По результатам расчёта определяются зависимости размеров повреждения лопасти от углов и скоростей соударения с ПП.

Задача исследования напряжённо-деформированного состояния (НДС) лопасти, выполненной из композиционных материалов достаточно сложна. Сложность связана с физической неоднородностью материала, в результате этого при контакте с твёрдой частицей внутри материала происходят сложные динамические процессы. Для решения данной

задачи был использован метод конечных элементов. Исследование НДС лопасти от действия центробежных и газовых сил проводится для установившегося режима работы силовой установки. При решении задачи необходимо установить физическую связь между деформациями и напряжениями, учитывающую особенности поведения материала лопасти находящегося под воздействием внешней нагрузки. Нелинейное поведение материалов может привести к изменению жесткости конструкции под действием приложенной нагрузки. Так, нелинейная зависимость деформации от напряжения для пластичных и сверхэластичных материалов заставляет конструкцию различным образом реагировать на внешние силы, уровень остаточной деформации определяется величиной приложенных сил и температурным режимом. На рисунке 3 приведён пример расчёта НДС лопасти ВВ.

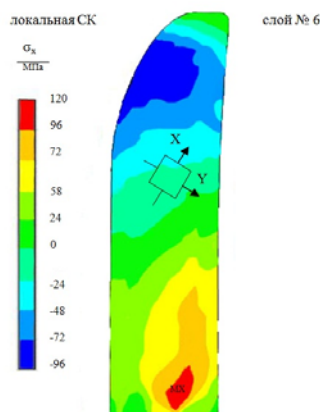


Рис. 3 — Пример расчета НДС лопасти

Как и на этапе расчёта повреждений, результаты расчёта НДС сравниваются с данными натурных испытаний, например с результатами лётной тензометрии лопасти и результатами испытаний на динамических стендах, где лопасть подвергается воздействию нагрузок, возникающих в реальном полете.

По результатам последнего этапа формируются выводы и рекомендации. Важным является ответ на вопрос о возможности эксплуатации самолёта с повреждённой лопастью.

Таким образом, предложенная методика позволяет расчётным путём оценить ударную стойкость лопастей воздушных винтов к повреждениям различных типов твёрдых частиц, в различных комбинациях, даёт возможность усовершенствовать конструкцию лопасти на стадии проектирования с целью обеспечения прочностных характеристик и стойкости к ударным повреждениям.

Литература

1. Л.С. Суриков, *ВЫПУСК № 5329: Определение постороннего предмета, попавшего в газозоудушный тракт двигателя. Методическое пособие*. ВВС, Люберцы, 1985. 82 с.
2. Е.В. Небелов, М.В. Потоцкий. *Отчёт по НИР № 3010/210321, шифр «Лопасть», Исследование стойкости лопастей винтовентилятора СВ-27 и воздушного винта АВ-112 к повреждениям твёрдыми предметами*. ВУНЦ ВВС «ВВА им. пр. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Москва, 2010. 95 с

© **М. В. Потоцкий** - канд. техн. наук, препод. Военного института, Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), pmv1973@yandex.ru; **Е. В. Небелов** - канд. техн. наук, препод. Военного института, nebelova1979@mail.ru; **Д. П. Ткаченко** - канд. техн. наук, нач. цикла Военного института, tdp@list.ru; **А. П. Кирпичников** - д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. интеллектуальных систем и управления информационными ресурсами КНИТУ, kirpichnikov@kstu.ru.