

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ РАБОЧИХ ЛОПАТОК АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ СТРУКТУРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ОТКАЗОВ

©2016 А.И. Черняев, В.А. Трефилов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

APPLICATION OF STRUCTURAL POWER FAILURE THEORY FOR DETERMINING THE PROBABILITY OF FAILURE AND DURABILITY OF TURBINE AND COMPRESSOR BLADES OF AIRCRAFT ENGINES

Chernyaev A.I., Trefilov V.A. (Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation)

The object of present work is to evaluate the probability of failure and durability of the aircraft engine compressor and turbine blades by structural power failure theory, based on the results of non-destructive testing and it comparison with the statistical information. For research has been prepared and remanufactured by laser, welding blades used in the fifth stage of high pressure compressor and turbine blades used in first, second and third stages of the aircraft engine.

На сегодняшний день для оценки показателей надёжности при проектировании, создании и обслуживании авиационных двигателей используются статистические методики, которые не позволяют в полной мере, основываясь на физических характеристиках, составить полную картину надёжности элементов и конструкции двигателя в целом. Показатели надёжности определяются на основе сбора информации об отказных состояниях системы, после чего полученная информация обрабатывается, структурируется, и на основе интенсивностей отказов проводится оценка надёжности. При внесении конструктивных изменений или сертификации нового двигателя использование статистической наработки становится невозможным, так как изменяется форма деталей, их количество, материалы и нагрузка на элементы.

Более того, следует учитывать, что надёжность, оцениваемая с помощью статистических методик, на основе данных, собираемых посредством интенсивностей отказов элементов в заданных условиях, может значительно отличаться от достигаемой в условиях эксплуатации. В этой связи целесообразна разработка расчётной методики, основанной исключительно на физических характеристиках элемента, которая позволяла бы рассчитать его вероятность отказа и дать более точные рекомендации по использованию и обслуживанию конструкции.

Одним из негативных факторов, снижающих долговечность элементов конструк-

ций, являются внутренние дефекты материала, основная часть которых возникает вследствие несовершенства технологии производства [1]. Поэтому необходимо в первую очередь оценивать существующие дефекты материала до начала эксплуатации.

Так как абсолютно идеальных характеристик, таких как однородность материала, качество литья и отсутствие примесей, на производстве добиться исключительно трудно, в связи с чем изготовление бездефектных материалов нецелесообразно из соотношения цена-качество, существуют определённые допуски на размеры и содержание внутренних дефектов и повреждений. Внутренние трещины, поры, дислокации и несплошности не только увеличивают износ материала, но и при некотором стечении обстоятельств могут привести к отказу конструкции, разрушению или серьёзной аварии.

В авиационных двигателях наиболее сильному износу подвержены лопатки компрессоров высокого и низкого давлений, турбинные лопатки, статорные детали и т. д. В настоящее время производителем назначается ресурс работы до ремонта двигателя, основанный на сборе статистической информации о происходящих отказах, после чего, оценивая его техническое состояние, возможна его дальнейшая эксплуатация [2]. В случае более точной оценки удалось бы прогнозировать износ деталей и планировать их ремонт, что в большинстве случаев является более выгодным, чем производство и замена новыми.

В представленной работе для оценки показателей надёжности была использована структурно – энергетическая теория отказов, которая позволяет оценивать долговечность материала по результатам неразрушающего контроля. Методика основана на обнаружении и подсчёте объёма внутренних пор, микровключений, дислокаций и т. д. материала и последующем расчёте его вероятности отказа и долговечности при заданной нагрузке [3].

В качестве опытных образцов были подготовлены рабочие лопатки 1, 2 и 3 ступеней турбины и новые и ремонтные рабочие лопатки пятой ступени компрессора высокого давления газотурбинного двигателя.

Неразрушающие исследования были выполнены с помощью промышленного компьютерного томографа для рентгеноскопии на основе рентгеноскопической системы ХТН 450 LC.

Проведённые исследования позволили обнаружить различные микровключения, микропустоты, микротрещины во всех деталях вне зависимости от того, восстановленный это материал либо только изготовленное изделие, что в свою очередь подтверждает тот факт, что абсолютно однородной структуры материала добиться практически невозможно.

Далее для реализации структурно-энергетической теории отказов были выполнены разрушающие испытания исследуемых лопаток, с использованием электродинамических стендов типа ВЭДС-400 и ВЭДС-1500 по первой изгибной форме колебаний. Проведённые исследования показали, что наработка до разрушения разных лопаток может значительно отличаться, несмотря на одинаковые нагрузки, материалы и способ изготовления, это явление возможно объяснить только различием внутренней структуры материалов, а именно наличием внутренних дефектов и отклонений.

С помощью структурно-энергетической теории отказов был выполнен расчёт показа-

телей надёжности исследуемых лопаток, который показал значительное увеличение вероятности отказа по сравнению с интенсивностями, полученными использованием статистических методик. В свою очередь полученные расчётным путём результаты практически идентичны вероятностям отказа, рассчитанным на основе разрушающих испытаний.

Также была оценена долговечность исследуемых лопаток. Полученные значения наработки до отказа были определены исключительно для случая разрушения вследствие дефекта, в этой связи при определении времени обслуживания необходимо учитывать и другие факторы, снижающие наработку, такие как температурное воздействие, возможность поломки вследствие попадания постороннего предмета и пр.

Для уточнения показателей надёжности всей конструкции авиационного двигателя разработанная методика была применена как дополнение к уже используемым статистическим методам, и на этой основе разработана компьютерная программа, позволяющая определить вероятность отказа газотурбинного двигателя с учётом внутренней структуры материалов рабочих компрессорных и турбинных лопаток.

Библиографический список

1. Almasi A. Practical degradation analysis of compressors and compressor mechanical drivers // *Compressor Tech Two*. – November, 2010. P. 60-66.
2. Черняев А.И., Трефилов В.А. Оценка ресурса работы лопаток компрессора низкого давления в двигателях для перекачки нефти и газа // *Нефтепромысловое дело*. 2013. № 9. С. 69-72.
3. Деев В.С., Трефилов В.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. Ч.3. Структурно-энергетическая теория отказов: учебн. пособие. – Пермь: изд-во ПНИПУ, 2012. 180 с.