

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ АБРАЗИВНО-ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРА ЛОПАТКИ КОМПРЕССОРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА

Хавлин Тарас Викторович,

кандидат технических наук,

начальник кафедры

ГОО ВПО «Донецкая академия

внутренних дел МВД ДНР»

Михайлов Александр Николаевич,

доктор технических наук, профессор,

ГОУ ВПО «Донецкий национальный

технический университет»

Михайлов Вячеслав Александрович,

кандидат технических наук, доцент,

ГОУВПО «Донецкая академия

гражданской защиты МЧС ДНР»

Введение. Поступление в подразделения нового и модернизированного вооружения позволило довести долю современных образцов практически до 70%. Это напрямую связано с развитием оборонно-промышленного комплекса, влиянием тенденций развития военного дела и научно-техническим прогрессом [1]. Среди значимых событий можно отметить появление новых образцов авиатехники (С-70, СУ-57, Ми-28Н и др.). Одним из важных элементов таких боевых машин является силовая установка, газотурбинный двигатель (ГТД). Так, например, ГТД (рис. 1) широко используются для современных вертолетов как основной тип двигателя вертолетной силовой установки [2, 3, 4]. Это обусловлено их высокими технико-экономическими показателями и нетрадиционными эксплуатационными свойствами. Можно отметить, что ГТД состоит из большого числа подсистем, узлов и элементов, при этом к одному из важнейших составляющих ГТД можно отнести лопатки компрессора.

Обсуждение проблемы.

В процессе эксплуатации лопаток компрессора на них действует целый ряд неодинаковых и неравномерных эксплуатационных функций, которые вызывают неравномерные эксплуатационные износы элементов и рабочих поверхностей пера лопатки [3]. Это приводит к снижению ресурса лопаток компрессора ГТД. Особенно это сказывается для вертолетных двигателей в связи с особенностями их эксплуатации и повышенным действием абразивно-эрозионных воздействий на лопатки компрессора [5].

Целью данной работы является анализ особенностей эксплуатации лопаток компрессора ГТД и установление причин вызывающих неравномерный износ элементов пера лопатки в процессе действия абразивно-эрозионного износа.

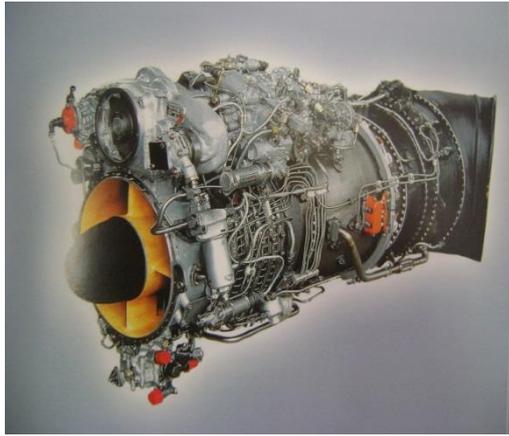


Рис. 1. Общий вид турбовального двигателя ГТД модели ТВЗ-117В

В соответствии с поставленной целью в работе планируется решение следующих основных задач: выполнить анализ особенностей действия эксплуатационных функций на лопатку компрессора; представить классификацию основных эксплуатационных функций, действующих на лопатку; установить механизм неравномерного абразивно-эрозионного износа элементов пера лопатки; показать направление дальнейшего повышения эксплуатационных свойств лопаток компрессора.

Анализ особенностей эксплуатации лопаток компрессора. При эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД) вертолетов (рис. 1), на лопатки компрессора действует целый комплекс эксплуатационных воздействий различного характера [2, 3, 4], которые можно моделировать потоками материи M_w , энергии E_w и информации I_w .

Анализ особенностей эксплуатации лопаток компрессора можно выполнять на основе системного подхода. В этом случае, гипотетически можно представить процесс преобразования свойств лопаток компрессора ГТД при эксплуатации с помощью моделей [5]:

$$V = \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{Bmatrix}, \quad W = \begin{Bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_k \end{Bmatrix};$$

где v_i – i -е начальное свойство лопатки;

w_j – j -е конечное свойство лопатки;

n – мощность множества или количество начальных свойств лопатки, которые образованы до ее эксплуатации;

k – мощность множества или количество конечных свойств лопатки, образующихся в процессе ее эксплуатации.

Действие эксплуатационных функций на лопатки компрессора вертолетного ГТД можно структурировать и представлять в виде классификации, приведенной в работе [5]. Здесь, эксплуатационные воздействия делятся на следующие составляющие: температурные воздействия, коррозионные воздействия, эрозионные воздействия, воздействия от инородных тел, эксплуатационные силы.

Следует заметить, что обычно, эксплуатация вертолетов характеризуется увеличенной концентрацией частиц песка и пыли, которая может достигать несколько грамм в кубическом метре около земли и до 1 г/м^3 вблизи входов в компрессор двигателя. При этом более типична концентрация около $0,2 \dots 0,3 \text{ г/м}^3$ на входе в компрессор двигателя. При этом в воздух могут подниматься как мелкие частицы, так и достаточно крупные - размерами до $200 \dots 400 \text{ мкм}$.

Проведенные исследования особенностей износа лопаток показали [5], что их износ в основном происходит по входной кромке и поверхности корыта. При этом величина износа элементов пера лопатки увеличивается от полки к периферии пера. Это объясняется тем, что в компрессоре происходит постепенное сепарирование частиц пыли и песка к периферии проточной части компрессора, центробежных сил и увеличения скорости относительного движения по высоте пера лопатки компрессора.

Отметим, что в первой ступени компрессора, износ пера наблюдается по

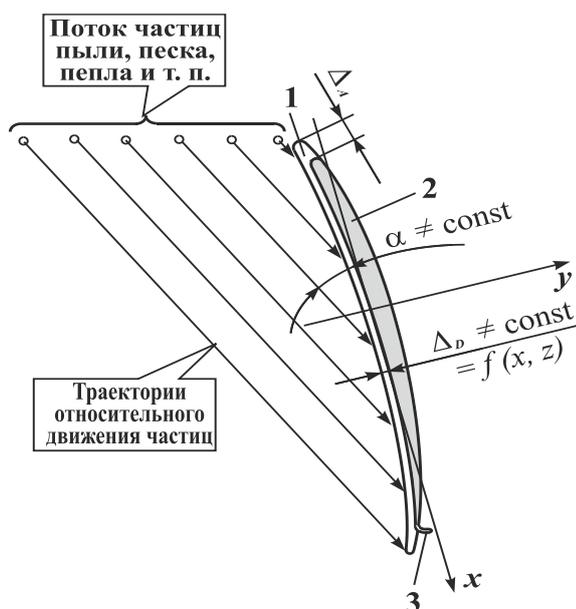


Рис. 2. Схема взаимодействия частиц пыли и поверхности корыта пера лопатки

всей высоте, а в последующих ступенях из-за сепарирования пыли и песка он смещается к периферии пера лопатки. В результате концентрации пыли и песка по проточной части в аэродинамическом потоке у периферии пера лопатки в последних ступенях их износ может быть в несколько раз выше, чем на входе в компрессор. Однако этот абразивно-эрозионный износ в каждом конкретном случае может иметь свои определенные особенности.

Можно отметить, что абразивно-эрозионное разрушение поверхности пера лопатки начинается на входной кромке. В процессе износа, поверхность изменяет свою форму на величину Δ_A . Кроме того,

износ пера лопатки реализуется по поверхности корыта (рис. 2). Причем пространственная форма пера (позиция 1) изменяется и образуется новая форма (позиция 2). В этом случае, величина износа поверхности по своей ширине имеет переменную величину $\Delta_D \neq \text{const} = f(x, z)$, зависящую от угла взаимодействия частиц с поверхностью $\alpha \neq \text{const}$. Для лопатки компрессора этот угол изменяется по ширине поверхности пера и зависит от формы корыта пера и траектории относительного движения частиц. На рис. 2 представлена схема взаимодействия частиц пыли и поверхности корыта пера лопатки.

Проведенные исследования показали, что поверхность спинки пера изнашивается незначительно. При большом износе поверхности корыта пера лопатки у задней кромки она отгибается в сторону спинки, образуя при этом заусенец (рис. 3) [5]. Заметим, что абразивно-эрозионный износ корыта пера лопатки, включая переднюю 1, периферийную и заднюю 2 кромки, имеет определенные особенности, приведенные на рис. 4. Эти особенности можно



Рис. 3. Общий вид заусенца по задней кромке пера лопатки

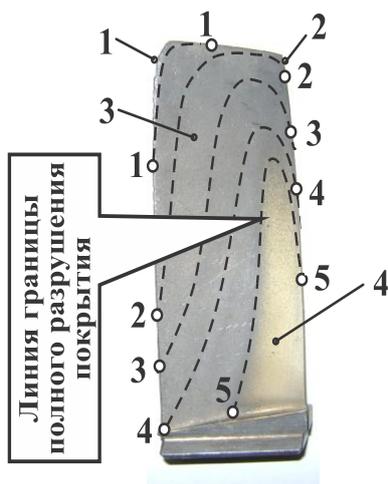


Рис. 4. Схема неравномерного износа поверхности пера лопатки

характеризовать неравномерностями износа поверхности корыта 3 пера лопатки, показанными на рис. 8 линиями - последовательно уменьшающегося износа 1-1, 2-2, 3-3 и так далее. Позиция 4 – зона не изношенного нитрид титанового покрытия лопатки.

Следует иметь ввиду, что величина износа элементов пера лопатки находится в прямой пропорциональной зависимости от суммарного количества прошедших частиц пыли и песка по проточной части компрессора. А также размер частиц абразивной пыли значительно оказывает влияние на величину абразивно-эрозионного износа. В этом случае, чем крупнее частицы пыли, тем больше изнашивается поверхности пера лопатки.

На рис. 5 представлена общая схема взаимодействия потока пыли с элементами пера лопатки компрессора: позиции 1 и 2 - лопатки компрессора; v_1 - направление движения пыле-воздушного потока по проточной части компрессора; v_2 – относительная поперечная скорость движения частицы; v – относительная суммарная скорость движения частиц; v_2^l – линейная скорость поперечного движения лопатки; буквами a, b, c, d обозначены траектории относительного движения частиц; α - угол относительного движения частиц с поверхностью корыта пера лопатки ($\alpha \neq \text{const}$).

Следует отметить, что в целом траектории относительного движения частиц (рис. 5) соответствуют теоретическим значениям, причем с уменьшением размеров частиц до размеров $\delta < 10 \dots 15$ мкм, траектории b, c, d могут изменяться с уменьшением их размеров.

Интенсивность абразивно-эрозионного износа элементов пера лопатки компрессора зависит целого множества факторов, действующих комплексно в процессе эксплуатации. В этом случае, проведенные исследования позволили установить, что наибольший износ элементов пера лопатки возникает при углах взаимодействия потока частиц и поверхности $\alpha = 50 \dots 60^\circ$. При этом для углов, находящихся в пределах $\alpha = 20 \dots 25^\circ$, абразивно-эрозионный износ пера лопатки в 2 раза меньше. Изменение угла взаимодействия частиц пыли с элементами поверхности пера лопатки вызывает различную глубину износа корыта пера лопатки по ее ширине и высоте.

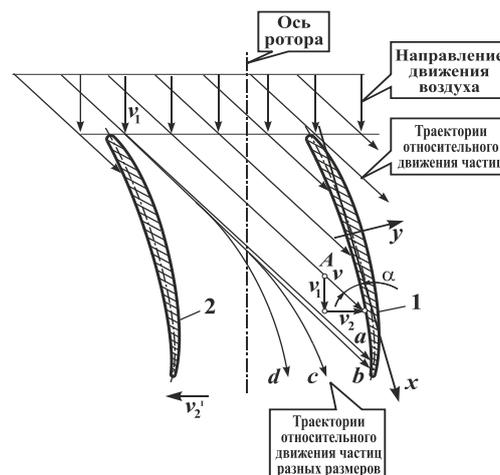


Рис. 5. Схема взаимодействия потока пыли с элементами пера лопатки

Общие рекомендации. Выполненные исследования особенностей разрушения и износа элементов поверхности пера лопатки показали, что он действует неравномерно. При этом начинается на пересечении входной и периферийной кромок пера лопатки и распространяется на поверхность корыта и выходную кромку. При этом проведенные исследования позволили установить, что происходящий износ имеет определенную закономерность, что позволяет использовать специальные методы повышения ресурса лопаток на базе обеспечения функционально-ориентированных свойств [6] и применения функционально-ориентированных сверхпрочных покрытий [7, 8].

Выводы.

Таким образом, выполненный анализ абразивно-эрозионного износа лопаток компрессора ГТД позволил следующее:

- определить особенности абразивно-эрозионного износа лопаток компрессора, которые заключаются в неравномерном износе элементов пера лопатки компрессора;

- определить, что для повышения ресурса лопаток компрессора в условиях действия неравномерных эксплуатационных функций необходимы специальные подходы и обеспечение функционально-ориентированных свойств лопаток [6, 7, 8].

Список использованной литературы:

1. Лавринов, Г. А. Оборонно-промышленный комплекс Российской Федерации: приоритетные направления, организационно-экономические механизмы и методическое обеспечение инновационного развития : монография / Г. А. Лавринов ; под ред. Г. А. Лавринова. – Москва : Граница, 2019. – 376 с. – Текст : непосредственный.

2. Григорьев, В. А. Вертолетные газотурбинные двигатели / В. А. Григорьев [и др.]. – Москва : Машиностроение, 2007. – 491 с. – Текст : непосредственный.

3. Богуслаев, В. А. Отделочно-упрочняющая обработка деталей ГТД. / В. А. Богуслаев [и др.]. – Запорожье : Мотор Сич, 2005. – 559 с. – Текст : непосредственный.

4. Авиаинформ // Ежемесячный информационно-аналитический журнал. – Москва : Международная ассоциация «Союз авиационного двигателестроения». – 2020. – № 2(191). – 140 с. – Текст : непосредственный.

5. Михайлов, Д. А. Основные особенности эксплуатации лопаток компрессора ГТД и классификация их эксплуатационных функций / Д. А. Михайлов. – Текст : непосредственный. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : междунар. сб. науч. тр. – Донецк : ДонНТУ, 2015. – Вып. 4 (50). – С. 126-131.

6. Михайлов, А. Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А. Н. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2009. – 346 с. – Текст : непосредственный.

7. Михайлов, Д. А. Технологическое обеспечение повышения работоспособности лопаток компрессора газотурбинного двигателя на основе

функционально-ориентированных покрытий : автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Д. А. Михайлов. – Донецк : ДонНТУ, 2016. – 22 с. – Текст : непосредственный.

8. Патент № 2718877. Российская Федерация. С23С 14/04. Способ нанесения функционально-ориентированного износостойкого покрытия на лопатку газотурбинного двигателя / Михайлов А. Н., Михайлов Д. А., Михайлов В. А., Шейко Е. А., Пичко А. П., Пичко Н. С., Сухарев В. И. ; заявка № 2018107164 от 26.02.2018. – Бюл. № 11, 15.04.2020. – 7 с. – Текст : непосредственный.