

КОНТРОЛЬ ОБРЫВА ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ ТРДД НК-86 В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Королев А.Н., Симкин Э.Л., Юсупов Р.Ш.
ОАО КПП "Авиамотор", г. Казань

При эксплуатации ТРДД НК-86 были выявлены случаи обрыва рабочей лопатки (РЛ) турбины ротора высокого давления (ТВД). Обрыв в большинстве случаев происходит по прибандажному сечению лопатки с сохранением работоспособности двигателя. При обрыве бандажной полки (б/п) РЛ ТВД могут быть повреждены лопатки турбины ротора низкого давления (ТНД). В этих случаях при продолжении эксплуатации двигателя возможны вторичные разрушения лопаток ТНД с потерей работоспособности двигателя.

Обрыв б/п РЛ ТВД обнаруживается при осмотре ТВД оптическим прибором через специальные лючки. Осмотр ТВД проводится на периодической форме Б технического обслуживания, выполняемой каждые 150 часов наработки двигателя.

Развитие трещин от повреждений на лопатках ТНД происходит интенсивно и, в зависимости от глубины повреждений, разрушение лопаток ТНД может произойти в интервале наработки между периодическими осмотрами ТВД. Поэтому существенно важно как можно быстрее обнаружить обрыв б/п РЛ ТВД для предотвращения дальнейшего разрушения двигателя и исключения летных происшествий.

Анализ параметрической информации, автоматически регистрируемой в каждом полете системой МСРП-256, показал, что при обрыве б/п происходит скачкообразное изменение параметров вибросостояния и термогазодинамических параметров (ТГДП) относительно уровня параметров до обрыва б/п. Уровень изменения параметров зависит от глубины и объема повреждений лопаток турбины и от режима работы двигателя. В табл. 1 приведены изменения параметров двигателей после обрыва б/п РЛ ТВД. Как видно из табл. 1, изменения параметров при обрыве б/п составили:

- виброскорости по задней опоре ΔV_{30} от -0,4 мм/с до 24 мм/с;
- температуры газов за турбиной Δt^*_6 от 10°C до 57°C;
- расхода топлива G_t от 200 кг/ч до 400 кг/ч;
- частоты вращения ротора ВД $\Delta P_{вд}$ от -25 об/мин до -149 об/мин.

С учетом погрешностей измерения и обработки параметров и данных по изменению параметров нормально работающих двигателей для выявления обрыва б/п выбраны следующие величины изменения параметров двигателя относительно данных предыдущих полетов на одном и том же режиме работы двигателя:

- виброскорости задней опоры $\Delta V_{30} > 4$ мм/с;

при $\text{Пнд} = \text{const}$

- температуры газов за турбиной $\Delta t^*_6 > 10^\circ\text{C}$;
- расхода топлива $\Delta G_t > 200 \text{ кг/ч}$;
- частоты вращения ротора ВД $\Delta \text{Пвд} < -35 \text{ об/мин}$.

Таблица 1

Изменение параметров при обрыве бандажной полки рабочих лопаток турбины высокого давления

№ двиг.	$\Delta \text{Пвд}$ об/мин	G_t г/ч	t_6^* $^\circ\text{C}$	$\Delta V_{30}^{\text{МГ}}$	$\Delta V_{30}^{\text{В}}$	$\Delta V_{30}^{\text{МП}}$	$\Delta V_{30}^{\text{КР}}$
				мм/с			
Режим				МГ	Взл	МП	Крейс.
1	-130		40	8,5			
2	-25	400	35	12,8*	7,1*		
3	-60			-0,4	12	3,6	8,9
4	-75	200	10	12,1			
5	-80			13	9	7	7
6	-136	400	42				
7	-149	400	7,4	24	11,3	8	8,7

Здесь * - отклонение от данных опробования

Такое скачкообразное изменение виброскорости V_{30} или хотя бы двух из параметров Пвд, t_6^* , G_t представляет собой диагностический параметрический критерий обрыва б/п РЛ ТВД, указывающий на необходимость осмотра ТВД.

Для внедрения этого критерия в эксплуатацию необходимо производить обработку информации МСРП-256 после каждого полета и сравнение значений параметров в контролируемом полете со значениями параметров в предыдущих полетах, причем значения ТГДП должны быть приведены к идентичным условиям. Обработка информации МСРП-256 и расчет изменения параметров являются трудоемкими операциями и их выполнение после каждого полета в эксплуатации практически нереализуемо.

Однако контроль технического состояния двигателя НК-86 в эксплуатации осуществляется с использованием автоматизированной системы диагностирования (АСД) "Анализ-86" [1] по параметрической информации, регистрируемой МСРП-256 в каждом полете. По результатам обработки полетной информации АСД выдает диагностические сообщения (ДС), которые могут быть использованы для контроля указанного изменения параметров. Анализ результатов обработки АСД параметров двигателей, на которых были выявлены обрывы б/п РЛ ТВД, позволил отработать параметрические критерии для внеочередного осмотра ТВД с целью

оценки технического состояния турбины и в том числе состояния б/п РЛ ТВД.

Внеочередной осмотр ТВД проводится в следующих случаях:

- при выдаче АСД диагностических сообщений (ДС) о превышении хотя бы одного из предельных значений параметров Пвд, Пнд, t^*_6 , Vпо, Vзо;
- при выдаче АСД определенных сочетаний ДС, включая ДС об изменении вибросостояния двигателя или его ТГДП или маслосистемы;
- при выдаче АСД ДС об изменении вибросостояния двигателя или его ТГДП и наличия скачкообразного изменения Vзо не менее чем на двух режимах работы двигателя в одном или в серии полетов. Скачкообразное изменение Vзо определяется по формуле

$$\Delta V_{zo_i} = V_{zo_{1i}} - V_{zo_{2i}}, \quad (1)$$

где $V_{zo_{1i}}$ - среднее значение Vзо на i режиме в предыдущем полете или текущее значение Vзо на i режиме в контролируемом полете до момента появления ДС;

$V_{zo_{2i}}$ - среднее значение Vзо на i режиме в контролируемом полете или текущее значение Vзо в контролируемом полете на i режиме после момента появления ДС.

- при выдаче АСД по результатам обработки одного полета не менее двух ДС, косвенно отражающих изменение ТГДП, таких, как например "Тяга ниже нормы", и при наличии указанных выше значений скачкообразного изменения Vзо или не менее двух из параметров t^*_6 , Gт, Пвд, определенного аналогично формуле (1).

Указанные параметрические критерии внеочередного осмотра ТВД для контроля обрыва б/п РЛ ТВД внедрены в эксплуатацию ТРДД НК-86 [2].

Для повышения эффективности контроля обрыва РЛ ТВД при малых отклонениях параметров исследуется использование дополнительного комплексного параметрического критерия в виде отношения отклонений ΔV_{zo} и $\Delta P_{вд}$ от соответствующих базовых значений ($\Delta V_{zo}/\Delta P_{вд}$) на каждом из контролируемых режимов работы двигателя. Базовые значения должны формироваться каждые 300 часов наработки двигателя для компенсации изменений параметров двигателя с наработкой и как средние значения по данным не менее 10 полетов.

Список литературы

1. Бюллетень 215-БЭ. Оценка технического состояния двигателей НК-86, НК-86А с использованием системы "Анализ-86" на ЭВМ типа ЕС.
2. Бюллетень 351-БЭ. Контроль обрыва бандажной полки лопатки первой ступени турбины с использованием АСД "Анализ-86".