

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
МІНІСТЕРСТВО ПРОМИСЛОВОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



МАТЕРІАЛИ

VIII Міжнародної
науково-технічної
конференції
“АВІА-2007”

25-27 квітня

ТОМ II

Київ-2007

А.В. Попов, Е.П. Степушкина к.т.н. НАУ, И.А. Слепухина к.ф-м.н (НАУ, Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРДД ПРИ ПЕРЕМЕЖАЮЩИХСЯ ПОВРЕЖДЕНИЯХ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ

В статье приведены результаты обработки данных эксплуатации ТРДД в Украине, при этом акцентировано внимание на двигатели с перемежающимися повреждениями, неисправностями конструктивных узлов проточной части, изложены результаты проведенных экспериментальных исследований на базе ТРДД АИ-25

На современном этапе эксплуатации воздушного транспорта к авиационным конструкциям предъявляются жесткие требования в области сохранения и обеспечения летной годности. Проблема обеспечения высокой эффективности эксплуатации газотурбинных двигателей (ГТД), находящихся свое применение во многих областях человеческой деятельности, сохраняет высокую актуальность. Способ ее решения – создание таких систем управления эксплуатацией парка ГТД, которые путем повышения точности оценок и соответствующего увеличения полноты использования индивидуальных функциональных возможностей двигателей приводят к росту эффективности обеспечиваемых парком технологических процессов [1]. Указанные системы управления должны, опираясь в своей работе на данные индивидуальных штатных систем контроля двигателя, инициировать воздействие по управлению состоянием и использованием отдельных экземпляров их парка на базе решений трех групп технических задач управления: диагностирование ГТД, косвенного решения выработки их ресурса, оптимизации их применения [1]. При проведении научных исследований по вопросам диагностирования конструктивных элементов проточной части ГТД решается ряд задач, таких как: построение математической модели рабочего процесса (ММРП) двигателя, создание диагностической математической модели (ДММ), идентификация технического состояния (ТС) и т.д.

Однако при этом следует принимать во внимание ряд факторов, которые в свою очередь несколько усложняют решение той или иной задачи, а именно: контролепригодность объекта эксплуатации, адекватность математических моделей (ММ), выбор и обоснование комплекса диагностических признаков и автоматизация процесса идентификации ТС. При проведении данного исследования было обращено внимание на результаты проведенного анализа надежности парка воздушных судов Украины за определенный период (рис.1). Отсюда следует, что величина возникновения инцидентов по причине отказа двигателя достаточно велика, в части отказа силовой установки (СУ) – долевое значение двигателя составляет порядка 33%, поэтому ведение научных исследований в области диагностирования ТРДД является очень актуальным. Анализируя данные эксплуатации ГТД по данным авиационным ремонтным предприятиям за известный период, особое значение уделялось двигателям, у которых были выявлены множественные (перемежающиеся) повреждения, неисправности, отказы.

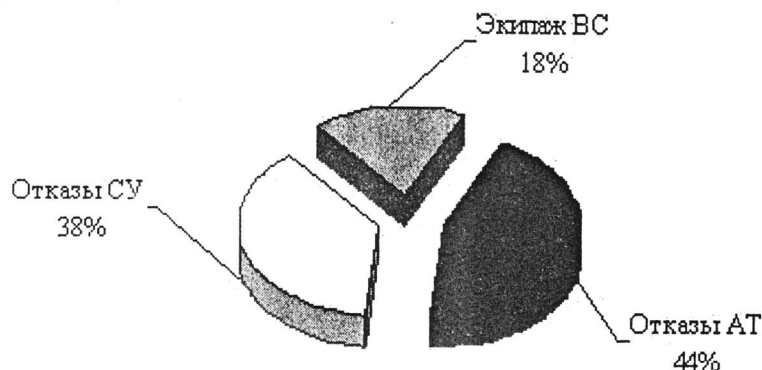


Рисунок 1. Причины возникновения инцидентов ВС парка Украины.

В таблице приведены некоторые результаты отбора, имевших досрочный срыв двигателей (ДСД) наиболее массово эксплуатирующихся как в Украине, ближнем и дальнем зарубежье, так и в странах СНГ. Это такие марки ТРДД, как Д-36, Д-30КП, Д-18 и их модификации.

Таблица 1

Сведения о перемежающихся повреждениях, неисправностях, отказах ТРДД

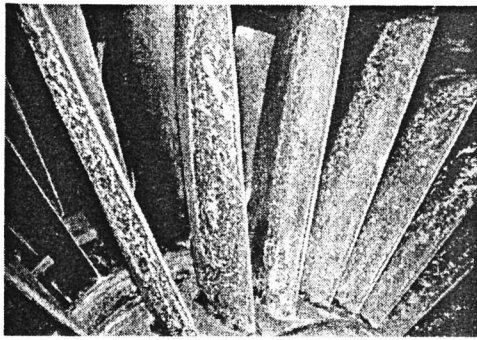
Номер двигателя	Наработка, ч, ППР/СНЭ	Внешнее проявление неисправности, результат исследования	Мероприятия
1	2	3	4
7083604801069	5001/6486	"Помпаж". Повреждение лопаток КВД и лопаток 6-ой ст. КНД	ДСД
7083601301041	8191	"Помпаж". Повреждение РЛ КНД, КВД.	ДСД
2253603901038	4934/5300	Обрыв двух лопаток вентилятора в надполоточной части, выработка на лопатках 4 и 5 ступеней КВД	ДСД
2253602001033	3984/13071	Забоины РЛ КНД и КВД	ОРН (отработка ресурса с неисправностью)
03053049102029	3582/979	Прогар и трещины головок и секций жаровых труб (ЖТ), тепловые повреждения входных кромок РЛ ТВД, входных кромок СА ТВД	ДСД
0305304302050	2571/955	Прогар и трещины головок и секций 12 ЖТ, трещины выходных кромок лопаток СА 1-ой ступени	ДСД
3871803103032	8589/5177	Забоины (вмятины) на лопатках КСД и КВД	ДСД
3871803001039	7165/3770	Трещина (растрескивание), эрозия стенки КС, повреждение лопаток СА ТСД	ОРН
3871804101017	7248/3678	Разрушение лопаток СА ТВ, эрозия РЛ ТВД, трещина внутреннего кожуха охлаждения КС	ДСД

Обращая внимание на изложенную в таблице информацию, можно сделать вывод, возникновение того или иного отклонения от норм ТУ или отказа в целом при возникновении перемежающихся повреждений носит индивидуальный характер с учетом конструктивных и технико-энергетических характеристик ТРДД. В процессе исследования решалась обратная задача диагностирования – при заведомо известном ТС узла определялись параметры рабочего процесса, для создания номенклатурного портрета состояний. Натурный эксперимент проводился на газодинамическом стенде на базе ТРДД АИ-25 с моделированием повреждения таких конструктивных узлов, как: ВНА, КНД, КС и ТНД. С целью повышения контролепригодности двигатель имеет дополнительную препарацию для установки дополнительных датчиков измерения параметров рабочего процесса. Имитация повреждения проводилась путем нанесения определенным образом корунда, тем самым создавалась некоторая шероховатость рабочих поверхностей лопаток, а установка заглушки – моделирование закоксованности (рис. 2). Согласно матрице планирования (МП) было определено количество состояний двигателя с целью взаимного и индивидуального влияния на термогазодинамические параметры вышеприведенных конструктивных узлов. В таблице 2 представлен пример полученной комбинации технического состояния проточной части ГТД.

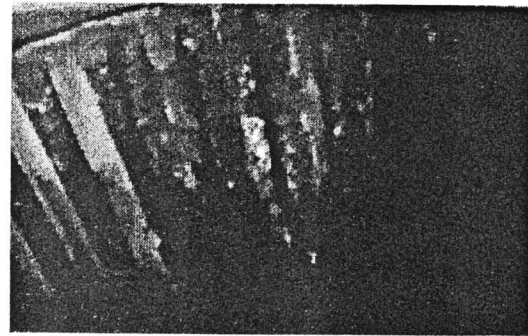
Комбинации технического состояния проточной части ГТД

Состояние	Комбинации ТС							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Повреждение лопаток ВНА	+	-	+	+	+	-	+	-
Повреждение лопаток КНД	+	+	+	-	+	-	+	+
Повреждение лопаток ТНД	-	+	+	+	+	+	-	+
Закоксованность топливной форсунки	-	-	-	+	+	+	+	+

Измерение параметров проводилось в широком диапазоне атмосферных условий на пяти основных эксплуатационных режимах. Диагностическим режимом (ДР) принято считать режим 0,85 номинального, при котором частота вращения ротора высокого давления принимается равной 14250 об/мин. Основные измеряемые параметры рабочего процесса: $P_{\text{вл}}^*$ – полное давление за КНД, $P_{\text{к}}^*$ – полное давление за КВД, $P_{\text{т}}^*$ – полное давление за ТНД, $T_{\text{вл}}^*$ – температура за КНД, $T_{\text{к}}^*$ – температура за КВД, $T_{\text{т}}^*$ – температура за ТНД, $G_{\text{т}}$ – расход топлива, P – тяга двигателя.



а)



б)

Рисунок 2. Моделирование технического состояния конструктивных элементов проточной части:

а) шероховатость лопаток ВНА;

б) шероховатость лопаток ТНД.

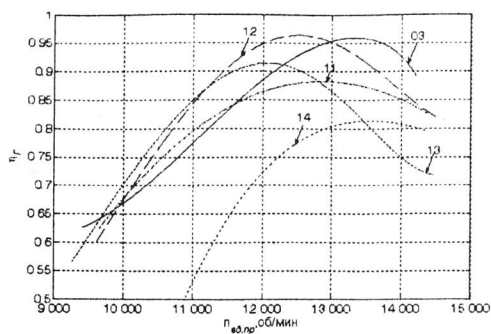
Согласно методик изложенных в работах [2,3,4] произведено приведение измеренных параметров к стандартным атмосферным условиям (САУ) и ДР. В таблице 3 приведены результаты определения отклонения значения диагностических признаков (ДП).

Таблица 3

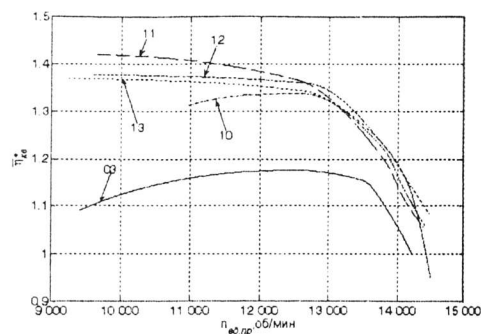
Относительное отклонение диагностических признаков проточной части двигателя

ДП	Код состояние проточной части двигателя										
	(07)	(08)	(10)	(11)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(20)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\delta\eta_{\text{кн}}^*$	-1,1812	0,7839	5,3174	2,6575	5,2115	-2,968	1,5167	4,9914	5,9455	-0,918	1,1955
$\delta\eta_{\text{тн}}^*$	-1,830	-7,852	-4,346	-2,435	-3,103	1,209	-2,233	-2,049	-3,483	-0,282	-0,789
$\delta\pi_{\text{кн}}^*$	-0,820	-4,020	0,664	0,806	1,403	1,1865	0,7458	2,5019	2,2578	2,8138	2,468
$\delta\pi_{\text{кв}}^*$	0,6665	-1,955	-0,572	0,366	0,752	1,7352	0,7188	2,512	1,7297	4,2774	2,5339
$\delta\pi_{\text{тв}}^*$	-8,8751	-14,32	-6,393	-4,775	-7,023	-7,797	-8,614	-7,488	-8,026	-9,451	-4,934
δS	-0,3921	3,422	-0,413	-0,967	-1,302	-1,737	-1,075	-1,690	-1,489	-2,844	-2,026
$\delta G_{\text{вл}}$	-1,6866	8,0436	-12,24	-10,60	-12,77	-12,29	-11,27	-10,43	-11,94	-9,084	-10,42
$\delta C_{\text{уд}}$	6,5034	14,459	7,8931	-0,19	12,899	4,3787	5,4027	3,1402	1,9471	3,8665	-0,19
$\delta\eta_{\text{г}}^*$	-5,6558	-3,916	-9,933	-5,784	-19,73	-11,42	-10,76	-10,12	-9,131	-8,718	-8,058

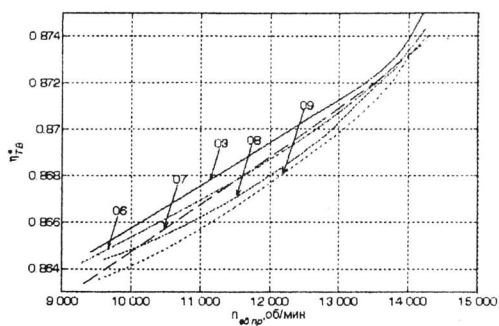
На рис. 3 проиллюстрирована графическая интерпретация изменения ДП при различных состояниях прочной части исследуемого ТРДД. Расчеты ДП и построение графиков осуществлялось с использованием универсального математического пакета MATLAB.



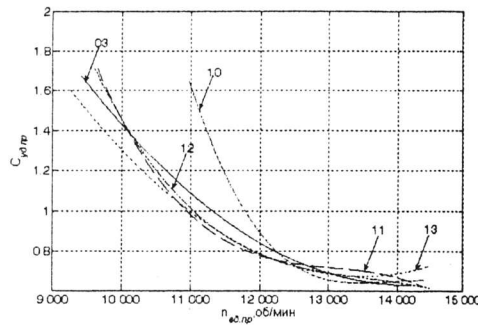
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3. Изменение ДП при различных технических состояниях проточной части:

а) коэффициент полноты сгорания η_r ; б) относительный к.п.д. КВД $\eta_{кв}$; в) к.п.д. ТВД $\eta_{тв}$; г) удельный расход топлива $C_{уд}$; 03-исправное состояние, 06-шероховатость лопаток ВНА, 07-шероховатость лопаток ВНА и КНД, 08-шероховатость лопаток ВНА, КНД и заглушена форсунка, 09-заглушена форсунка, 10-шероховатость лопаток ВНА и заглушена форсунка, 11-шероховатость лопаток КНД и заглушена форсунка, 12-шероховатость лопаток КНД, 13-шероховатость лопаток КНД и ТНД, 14-шероховатость лопаток КНД, ВНА и ТНД.

Независимо от того, что в данной работе приводится не весь перечень качественных и количественных значений ДП становится очевидным значительное отклонение их отклонение от исходного состояния, что позволит уменьшить площадь неопределенности и возникновения ошибок первого или второго рода при идентификации ТС проточной части до конструктивного узла. Полученные результаты авторы используют при создании автоматизированной системы диагностирования [5] конструктивных элементов проточной части ТРДД. Система основана на использовании диагностической модели, которая базируется на логико-лингвистических математических зависимостях.

Список литературы

1. Королев П.В. Формирование индивидуальных математических моделей рабочего процесса газотурбинных двигателе. //Авиационно-космическая техника и технологии: Сб.науч.тр. - Харьков: ХАИ, 1999. Вып.3. - С.49-51.
2. Ахмедзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам.- М.: Машиностроение, 1983. - 206 с.
3. Дмитриев С.А., В.В. Панин, А.П. Тунаков и др. Математическое моделирование эксплуатационных характеристик ГТД. - Киев: КИИГА, 1989. - 148 с.
4. Дмитриев С.А. Диагностирование проточной части ГТД на установившихся и неуставившихся режимах работы. Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук. - Киев: КИИГА, 1996. - 358с.
5. Дмитриев С.А., Литвиненко А.Е., Степушкина Е.П., Попов А.В. Экспертные модели определения множественных отказов в авиационных двигателях. - Вісник двигунобудування, 2005. - №1. - с. 12-17.