УДК 621.43.018

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА РАБОТУ ДВИГАТЕЛЕЙ ПС-90А-76 НА ПРОБЕГЕ САМОЛЁТА ИЛ-76ТД-90 С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕВЕРСА ТЯГИ

С.С. ФАДИН, А.А. КОМОВ

В статье рассматриваются результаты расчетных исследований о влиянии ветра на работу двигателей ПС-90А-90 на пробеге самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги.

Ключевые слова: реверс, ветер, помпаж, расчетные исследования.

Магистральный грузовой самолет Ил-76ТД-90 является глубокой модернизацией транспортного самолета Ил-76ТД. Самолет построен на Ташкентском авиационном производственном объединении им. В.П. Чкалова по заказу группы компаний «Волга-Днепр».

В процессе модернизации самолета силовая установка самолета была заменена – вместо двигателей Д-30КП были установлены двигатели ПС-90А-76. При этом расстояние между соседними двигателями было оставлено без изменений, несмотря на то что диаметр двигателей ПС-90А-76 (Д = 2м) [1] превосходит диаметр двигателей Д-30КП (Д = 1,5 м), а расстояние между двигателями составляет 4 м.

Близость расположения двигателей вносит существенные коррективы в параметры воздушного потока, втекающего на вход двигателей, что сказывается на газодинамической устойчивости работы двигателей на пробеге с применением реверса тяги. На пробеге самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги всех 4-х двигателей наблюдается интенсивный заброс реверсивных струй внутренних двигателей (СУ №2 и СУ №3) на вход внешних двигателей (СУ №1 и СУ №4) [2; 4]. Вследствие этого существует ограничение в применении всех четырех реверсивных устройств силовых установок на пробеге.

Параметры воздушного потока на входе в двигатели могут меняться в зависимости от скорости пробега самолета, а также от внешних условий, таких как скорость и направление ветра во время пробега самолета. Целью данной статьи является исследование влияния ветровых условий на параметры воздушного потока, входящего в двигатели СУ №1 и СУ №4.

В качестве исходных данных для исследований были использованы метеоданные (скорость и направление ветра) для аэропорта Шереметьево за октябрь 2013 г. (01.10.2013 г. по 30.10.2013 г. включительно).

Для каждых суток были вычислены такие параметры ветра, как средняя скорость и направление ветра к оси самолета:

$$W\text{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=48} Wi}{48};$$

$$\theta\text{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=48} \theta i * Wi}{\sum_{i=1}^{i=48} \theta i},$$

где i – порядковый номер замера (48 замеров в сутки); W_i – скорость ветра во время замера, м/с; Θ_i – угол вектора скорости ветра к оси самолёта, град.; 48 – количество замеров параметров ветра за сутки.

Параметры ветра (скорость и направление) в течение октября 2013г. представлены на рис. 1 и рис. 2.

Рис. 1. Значение скорости ветра в октябре 2013 г. (аэропорт Шереметьево)

Рис. 2. Направление ветра относительно оси самолета
за октябрь 2013 г. (аэропорт Шереметьево)

Из рис. 1 и рис. 2 видно, что изменение скорости и направления ветра по дням в течение месяца не подчиняются какому-либо известному статистическому закону в полной мере. Расчеты показывают, что средняя скорость ветра за исследуемый период составляет величину, равную W = 3,5 м/с, а средний угол направления ветра к оси самолёта – θ = 6,3°. Это обуславливает необходимость исследования влияния параметров ветра на параметры воздушного потока, втекающего в двигатели самолета Ил-76ТД-90, по наибольшим значениям направления и скорости ветра.

Для исследования были выбраны следующие параметры ветра (за 13.10.2013 г.):

- скорость ветра W = 10м/с;
- направление ветра к оси самолёта Θ =70°.

Математическая модель внешней аэродинамики реверсивных струй на пробеге самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги всех четырех двигателей реализована в многофункциональном программном комплексе ANSYS CFX. Моделирование проводилось для скоростей пробега самолета V=180 км/ч, V=160 км/ч, V=140 км/ч, V=120 км/ч при выбранной скорости и направлении ветра к оси самолета.

Параметры математической модели.

Расчетная среда:

- воздух, сжимаемый;
- давление воздуха 1 атм;
- температура воздуха 288°К.

Параметры работы двигателей:

- величина обратной тяги $R_{обр}$ = 3600 кгс;
- расход воздуха через вентилятор $G_в$ = 466 кг/с;
- расход воздуха через реверсивное устройство (РУ) $G_{рев}$ = 351 кг/с;
- полная температура реверсивной струи на выходе из РУ T* = 332.6°К;

Размеры расчетной области приведены на рис. 3.

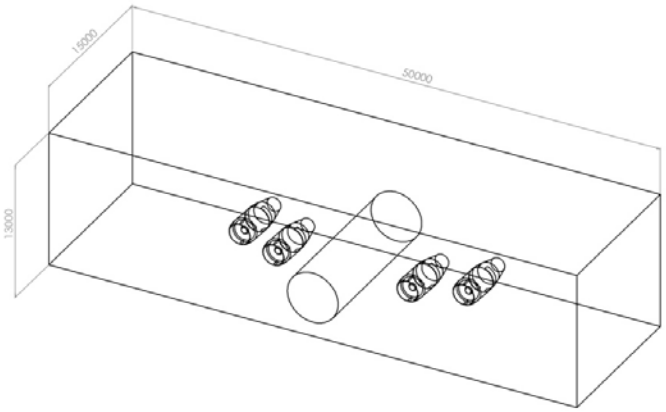

Рис. 3. Расчетная область

В расчетной области создана сетка тетраэдральных конечных элементов объемом 8,5 млн. узлов.

Параметры воздушного потока, втекающего в двигатели, определялись в местах расположения датчиков полного давления и температуры на реальных двигателях ПС-90А (рис. 4).

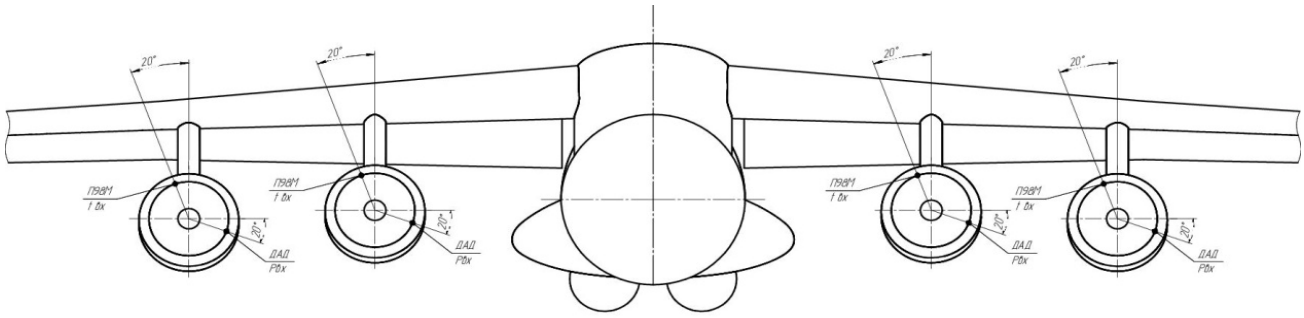

Рис. 4. Расположение датчиков на входе в двигатели ПС-90А-76 самолета Ил-76ТД-90. Вид спереди: ДАД – датчики полного давления; П98М – датчики температуры заторможенного потока

В результате расчетных исследований были получены значения параметров воздушного потока в точках расположения датчиков входящего потока двигателей ПС-90А-76. Влияние бокового ветра видно из сравнения полученных значений параметров воздушного потока с параметрами воздушного потока без учета влияния бокового ветра (табл. 1) [3].

Таблица 1

Скорость ВС, км/ч	Без учета ветра				С учетом ветра			
	СУ № 1		СУ № 4		СУ № 1		СУ № 4	
	ΔР*, Па (кг/см^2)	ΔТ, К	ΔР*, Па (кг/см^2)	ΔТ, К	ΔР*, Па (кг/см^2)	ΔТ, К	ΔР*, Па (кг/см^2)	ΔТ, К
180	-2195 (-0.022)	7,7	-10096 (-0.103)	1,4	-8632 (-0.088)	1,4	-1992 (-0.02)	1,6
160	-2821 (-0.029)	14	-12175 (-0.124)	1,3	-11068 (-0.113)	2,6	-2480 (-0.025)	7,3
140	-3482 (-0.036)	15,2	-15785 (-0.161)	2	-11301 (-0.115)	4	-2929 (-0.0299)	14,7
120	-4431 (-0.045)	15	-18691 (-0.19)	2,6	-22846 (-0.233)	5	-3015 (-0.03)	10,5

В эксплуатации отмечались случаи помпажа двигателей ПС-90А-76 на пробеге самолета Ил-76ТД-90 при применении реверса тяги на скорости V = 155 км/ч, при этом полное давление воздушного потока на входе в двигатель составляло величину, равную $P^*_{вх}$= 0,771 кгс/см^2 (до включения реверса P*вх= 1,084 кгс/см^2). Расчетные исследования показывают (табл. 1), что посадка самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги четырех двигателей при боковом ветре (скорость ветра *W* = 10 м/с, направление ветра к оси самолёта *Θ* =70°) может привести к помпажу двигателя СУ №1. Полное давление воздушного потока на входе в двигатель №1 при данных ветровых условиях будет меньше значения (P^* = 0,767 кг/см^2), при котором был зафиксирован помпаж двигателя в эксплуатации (P^* = 0,771 кг/см^2).

На рис. 5 показано изменение параметров воздушного потока на входе в двигатель в точках расположения датчиков без учета бокового ветра, а на рис. 6 показано изменение параметров воздушного потока на входе в двигатель в точках расположения датчиков с учетом влияния бокового ветра.

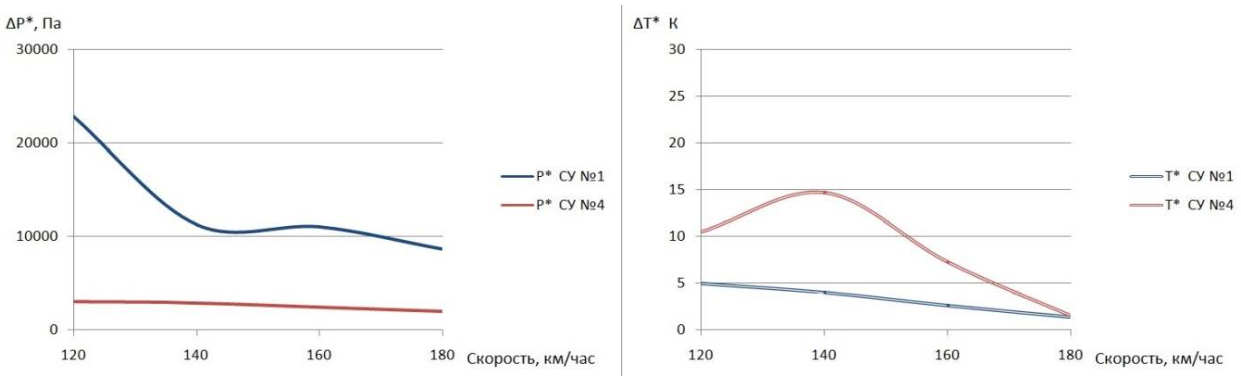

Рис. 5. Изменение параметров потока на входе в двигатель в точках расположения датчиков без учета бокового ветра

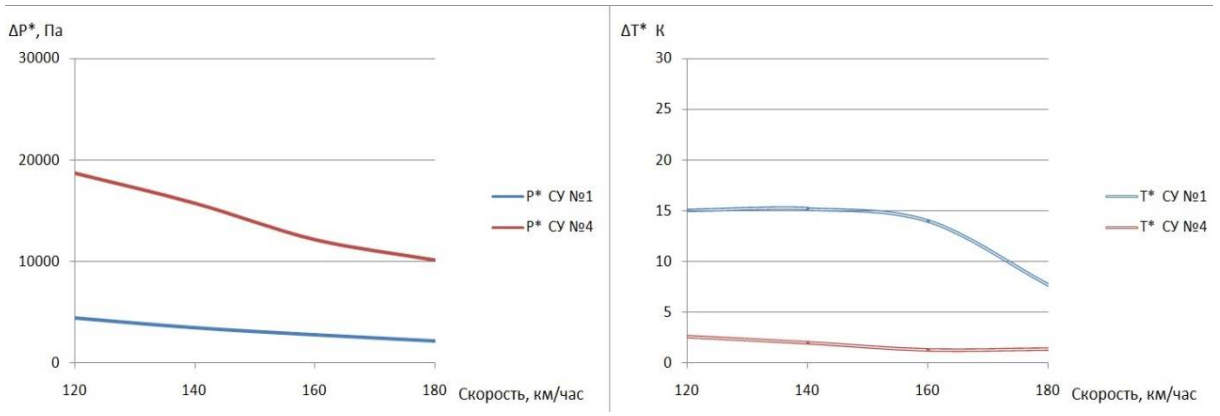

Рис. 6. Изменение параметров потока на входе в двигатель в точках расположения датчиков с учётом влияния бокового ветра (W = 10м/с, θ = 70^0)

На рис. 7 - 10 представлены результаты расчетных исследований течения реверсивных струй на различных скоростях пробега самолета Ил-76ТД-90 (V = 180 км/ч, V = 160 км/ч, V = 140 км/ч и V = 180 км/ч соответственно).

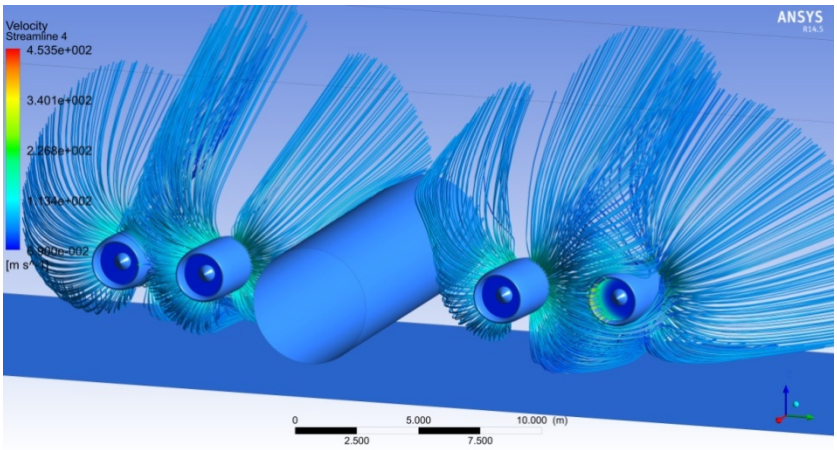

Рис. 7. Течение реверсивных струй на пробеге самолета Ил-76ТД-90 со скоростью V = 180 км/ч (W = 10м/с, θ = 70^0)

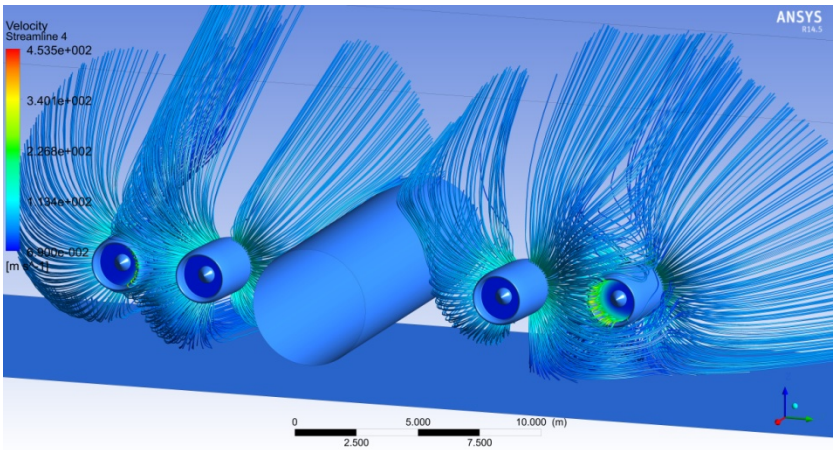

Рис. 8. Течение реверсивных струй на пробеге самолета Ил-76ТД-90 со скоростью V = 160 км/ч (W = 10м/с, θ = 70^0)

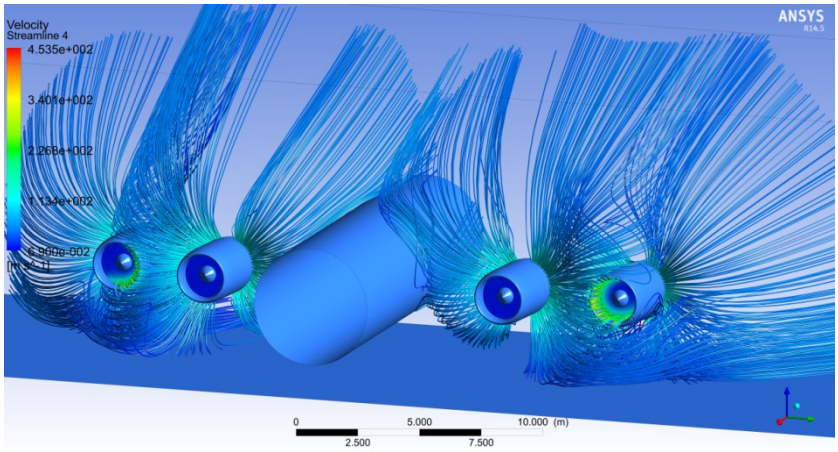

Рис. 9. Течение реверсивных струй на пробеге самолета Ил-76ТД-90 со скоростью V = 140 км/ч (W = 10м/с, θ = 70^0)

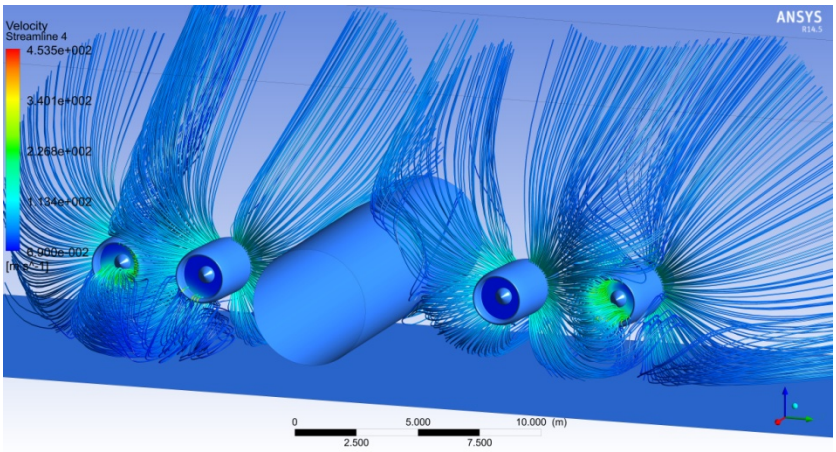

Рис. 10. Течение реверсивных струй на пробеге самолета Ил-76ТД-90 со скоростью V = 120 км/ч (W = 10м/с, θ = 70^0)

Как видно из табл. 1 и рис. 7 - 10, на пробеге самолета с применением реверса тяги всех четырех двигателей боковой ветер вызывает интенсивное падение полного давления на входе в воздухозаборник внешнего двигателя с подветренной стороны. Боковой ветер может увеличивать падение полного давления на 22% по сравнению со случаем посадки в штиль. Также воздействие бокового ветра приводит к более раннему попаданию реверсивных струй в воздухозаборник внешнего двигателя с подветренной стороны. На двигателе СУ № 4 наблюдается интенсивный заброс реверсивных струй из двигателя СУ № 3, которые могут забрасывать посторонние предметы с поверхности аэродрома.

На основании проведенных расчетных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Боковой ветер значительно влияет на условия работы двигателей ПС-90А-76 в компоновке самолета Ил-76ТД-90 на пробеге с применением реверса тяги всех четырех двигателей, что может повлиять на газодинамическую устойчивость двигателя.

2. Посадка самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги четырех двигателей при боковом ветре (скорость ветра W = 10 м/с, направление ветра к оси самолёта Θ =70°) может привести к помпажу двигателя СУ № 1.

3. Посадка самолета Ил-76ТД-90 с применением реверса тяги четырех двигателей при боковом ветре (скорость ветра W = 10 м/с, направление ветра к оси самолёта Θ =70°) значительно снижает защищенность двигателя СУ № 4 от заброса посторонних предметов реверсивными струями двигателя СУ № 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иноземцев А.А., Коняев Е.А., Медведев В.В., Нерадько А.В., Ряссов А.Е. Авиационный двигатель ПС-90А. - М.: Либра-К, 2007.

2. Двигатель ПС-90А-76: расчетная оценка попадания реверсивных струй на вход в двигатель: техническая справка №40981 // ОАО "Авиадвигатель", 2007.

3. Комов А.А., Фадин С.С. Перспективы технического развития парка самолетов Ил-76ТД-90ВД авиакомпании // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Волга-Днепр. - 2012. - № 4 (2). - Т. 14.

4. Комов А.А., Фадин С.С. Внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги // Климовские чтения-2013: перспективные направления развития авиадвигателестроения: междунар. науч.-техн. конф. - СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2013.

INFLUENCE OF WIND ON THE JOB ENGINE PS-90A-76 ON THE MILEAGE OF THE IL-76TD-90 WITH THE USE OF REVERSE THRUST

Fadin S.S., Komov A.A.

This article discusses the results of current research on the impact of wind on the work of the engines PS-90A on the mileage of the IL-76td-90 with the use of reverse thrust.

Keywords: revers, wind, surging, payment research.

Сведения об авторах

Фадин Сергей Сергеевич, 1987 г.р., окончил МГТУ ГА (2013), аспирант МГТУ ГА, автор 6 научных работ, область научных интересов – внешняя аэродинамика силовых установок на пробеге ВС с применением реверса тяги.

Комов Алексей Алексеевич, 1950 г.р., окончил МАИ (1976), доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов МГТУ ГА, начальник отдела научных исследований МГТУ ГА, автор более 60 научных работ, область научных интересов – формирование облика летательных аппаратов при обеспечении защиты авиационных двигателей от повреждений посторонними предметами с поверхности аэродрома на режимах руления, взлета и посадки ВС.