

АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

УДК 621.452.322

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ САМОЛЕТА ИЛ-76МД-90А

Комов А.А.

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
МГТУ ГА, Кронштадтский бульвар, 20, Москва, 125993, Россия
e-mail: komesk73@yandex.ru*

Рассматриваются проблемы, связанные с применением реверса тяги двигателей ПС-90А-76 на самолете Ил-76МД-90А. Эти проблемы не только увеличивают стоимость жизненного цикла самолета и влияют на безопасность полетов, но и снижают его конкурентоспособность. Приводятся расчетные и экспериментальные данные, показывающие, что основная причина возникающих проблем — неудовлетворительная внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги. Рассматриваются причины, по которым самолет ИЛ-76МД-90А обладает меньшей конкурентоспособностью по сравнению с военно-транспортным самолетом США С-17. Представлены разработанные мероприятия, которые позволят повысить конкурентоспособность самолета ИЛ-76МД-90А.

Ключевые слова: внешняя аэродинамика силовой установки, реверс тяги, посторонние предметы, оптимизация обратной тяги, оптимизация истечения реверсивных струй.

Конкурентоспособность — свойство объекта, указывающее на его способность выдерживать конкуренцию с себе подобными объектами.

В качестве конкурента отечественному самолету Ил-76МД-90А выберем военно-транспортный самолет США С-17.

Магистральный грузовой самолет Ил-76МД-90А является модернизацией транспортного самолета Ил-76ТД. В процессе модернизации самолета его силовая установка (СУ) 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 превосходит диаметр двигателей Д-30КП.

Проблемы применения двигателя ПС-90А сразу проявились при эксплуатации самолетов Ил-76ТД-90ВД в авиакомпании «Волга—Днепр». К ним можно отнести проблемы, которые являются общими для многих типов воздушных судов:

— случаи неустойчивой работы двигателей («помпажи») на пробеге самолета с применением реверса тяги;

— повреждение лопаток компрессора двигателей посторонними предметами, забрасываемыми с поверхности аэродрома [1].

Но появились также такие проблемы, которые характерны только для этого типа самолета и которые непосредственно связаны с безопасностью полетов:

— необходимость применения реверса тяги только внешних двигателей;

— появление трещин на кронштейнах крепления двигателя к пилону [2].

Результаты расчетных исследований, проведенных в МГТУ ГА, показывают, что основной причиной всех вышеуказанных проблем является неудовлетворительная внешняя аэродинамика силовой установки при применении реверса тяги на пробеге самолета.

Под внешней аэродинамикой силовой установки воздушного судна (ВС) будем понимать характер истечения газовых струй из реверсивного устройства (РУ) двигателя, которые могут взаимодействовать с самим двигателем и управляющими поверхностями планера ВС на пробеге. Такое взаимодействие приводит к нежелательным последствиям, проявляющимся в виде: газодинамической неустойчивости работы двигателя; повреждений рабочих лопаток вентилятора и компрессора двигателя посторонними предметами (ПП), забрасываемыми с поверхности аэродрома; влияния реверсивных струй на аэродинамические характеристики ВС (аэродинамическое сопротивление, устойчивость и управляемость), а также увеличения длины пробега ВС [3, 4]. Пример внешней аэродинамики силовой установки самолета Ту-154Б показан на рис. 1.

Заброс на вход двигателей реверсивных струй, истекающих из нижних окон реверсивного устройства, сопровождается искажением структуры втекающего воздушного потока. Это выражается в неравномерности полей скоростей, давлений и температуры воздушного потока на входе в двигатель, что может приводить к нарушению газодинамической устойчивости его работы. Повышение температуры



Рис. 1. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ту-154Б. Визуализация реверсивных струй, истекающих из нижних окон РУ

воздушного потока на входе в двигатель может быть значительным. Так, повышение температуры на входе в двигатели Д-30КУ-154 на пробеге самолета Ту-154М составляло значение порядка $\Delta T = 60$ °С. Такое повышение температуры воздушного потока на входе в двигатель приводит к снижению реализуемого значения обратной тяги и к увеличению длины пробега самолета, что повышает вероятность продольного выкатывания ВС. Реверсивные струи, истекающие из верхних окон реверсивного устройства, попадают на вертикальное оперение и значительно снижают путевую управляемость самолета.

О необходимости улучшения внешней аэродинамики силовой установки можно судить по тому, что для большинства ВС отечественного производства, независимо от их типа, компоновки, габаритов, взлетной массы, взлетной тяги двигателей, количества и расположения двигателей (в хвостовой части фюзеляжа или на пилонах), обратная тяга двигателей одна и та же, а именно $R_{обр} = 3600$ кгс. Скорость пробега ВС, на которой руководство полетной эксплуатации (РЛЭ) рекомендует выключать реверс тяги, во избежание попадания в двигатели ПП с поверхности аэродрома, для всех воздушных судов также одна и та же: $V = 120$ км/ч. Реальный заброс реверсивных струй и ПП в двигатели происходит значительно раньше рекомендованных РЛЭ скоростей пробега ВС. Так, для самолета Ил-76ТД-90ВД реальный заброс реверсивных струй в двигатели наблюдается на скорости пробега $V = 180$ км/ч. Посадочная скорость самолета Ил-76ТД-90ВД равна $V = 210...220$ км/ч, т. е. заброс реверсивных струй происходит практически сразу после включения реверса тяги. Высокий уровень повреждения рабочих лопаток вентилятора и компрессора двигателя посторонними предметами на отечественных ВС объясняется именно неудовлетворительной внешней аэродинамикой СУ, так как забросу в двигатели реверсивных струй сопутствует заброс этими струями посторонних предметов [5]. Реверсивное устройство является таким элементом самолета, который в равной мере должен быть согласован как с силовой установкой, так и с планером [6]. Существующие ограничения, накладываемые на работу реверсивного устройства, начиная с момента его включения от касания самолетом поверхности ВПП (нарушение устойчивости и управляемости) и до момента выключения, определяемого попаданием на вход двигателя горячего газа или посторонних предметов, приводят в конечном итоге к снижению эффективности применения

реверсивных устройств при штатных посадках самолета [7].

Существуют два пути улучшения внешней аэродинамики СУ:

- 1) оптимизация обратной тяги двигателя;
- 2) оптимизация истечения реверсивных струй в соответствии с компоновкой ВС.

1. Оптимизация обратной тяги двигателя

Под оптимизацией обратной тяги двигателей будем понимать поиск такой минимальной обратной тяги двигателя, при которой обеспечивается защищенность двигателей от заброса твердых посторонних предметов с поверхности аэродрома реверсивными струями и самих реверсивных струй на вход в двигатель, при сохранении остальных параметров, характеризующих работу двигателя или самолета. Таким параметром может быть, к примеру, длина пробега самолета. Натурные и расчетные исследования показывают, что чрезмерное увеличение обратной тяги приводит не к уменьшению длины пробега самолета, чего следовало бы ожидать, а, наоборот, к увеличению длины пробега [8]. Избыточность обратной тяги двигателей наблюдается на всех отечественных ВС, к которым можно отнести ВС, уже находящиеся в эксплуатации (Ил-96, Ту-154, Ту-204, Ил-76ТД, Ил-76ТД-90ВД), а также перспективные ВС (Ил-76МД-90А и МС-21). Причем избыточность обратной тяги двигателей для некоторых типов ВС может достигать больших значений (см. таблицу) [8].

2. Оптимизация истечения реверсивных струй

За рубежом внешней аэродинамике силовой установки уделяют достаточно серьезное внимание и стараются организовать истечение реверсивных струй таким образом, чтобы воспрепятствовать их попаданию в двигатели (рис. 2). Такое направление истечения реверсивных струй сохраняется на протяжении всего пробега самолета, с момента включения реверса тяги и до момента его выключения.

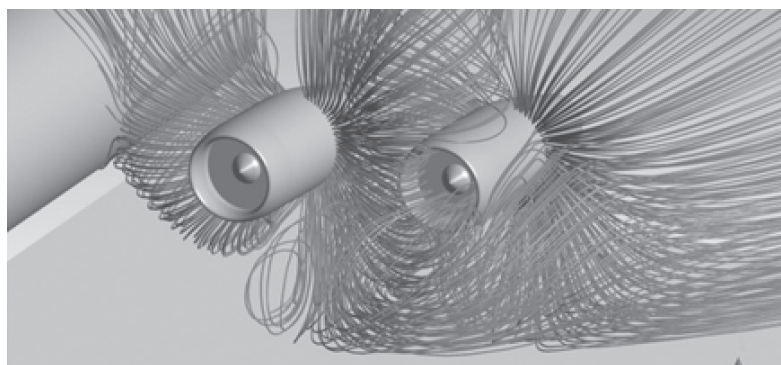


Рис. 3. Истечение реверсивных струй на самолете ИЛ-76ТД-90ВД на скорости пробега $V = 120$ км/ч

Значение оптимальной обратной тяги двигателей для некоторых типов самолетов отечественного производства

Тип самолета	$R_{обр\ опт}$, кгс	Избыточность $R_{обр}$, %
Ту-204	2500	31
Ил-96	2500	31
Ил-76ТД	1150	68
Ил-76ТД-90ВД	1200	67
МС-21	1900	21



Рис. 2. Истечение газовых струй на самолете Боинг-747

Очевидно, что истечение реверсивных струй должно быть согласовано не только с двигателем, но и с самолетом таким образом, чтобы избежать попадания реверсивных струй в двигатели, а также взаимодействия реверсивных струй с планером самолета.

Четырехдвигательный самолет Ил-76МД-90ВД, к сожалению, имеет неудовлетворительную внешнюю аэродинамику силовой установки. На пробеге самолета отмечается заброс реверсивных струй из внутренних двигателей на вход во внешние двигатели уже на скорости пробега $V = 180$ км/ч, что ограничивает применение реверса тяги всех четырех двигателей (рис. 3) [8].

Если рассматривать военно-транспортный самолет США С-17, то он обладает прекрасной внешней аэродинамикой силовой установки, что позволяет ему производить посадку на любых неподготовленных площадках с применением реверса тяги до полной остановки (рис. 4).



Рис. 4. Посадка самолета С-17 на грунт с применением реверса тяги

Такой высокий уровень внешней аэродинамики силовой установки достигается, прежде всего, за счет полного перекрытия реверсивных струй, истекающих в нижнюю полусферу, т. е. в сторону поверхности аэродрома (рис. 5).

Для возможности посадки самолета С-17 на неподготовленные площадки был разработан целый комплекс конструктивных решений:

— боковые секции реверсивных решеток с продольными направляющими, расположенными под углом к продольной оси двигателя, для отвода реверсивных струй от соседних двигателей;



Рис. 5. Перекрытие нижней части реверсивных решеток

— верхние секции реверсивных решеток с продольными направляющими, расположенными параллельно продольной оси двигателя, но с лопатками, расположенными под углом к продольной оси двигателя (рис. 6).

Расчетные исследования, проведенные в МГТУ ГА, позволили разработать конструктивные мероприятия по улучшению внешней аэродинамики силовой установки самолета Ил-76МД-90А (рис. 7).

Применение средней секции реверсивной решетки с продольными направляющими, расположенными под углом к продольной оси двигателя ПС-90А-76, позволит использовать максимальный реверс тяги всех четырех двигателей, вплоть до скорости пробега $V = 100$ км/ч, что сократит длину пробега при полной защищенности всех двигателей от заброса посторонних предметов и реверсивных струй (рис. 8).

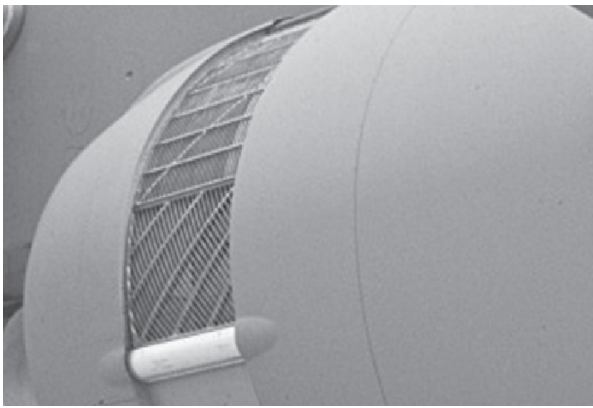


Рис. 6. Средние и верхние секции реверсивных решеток

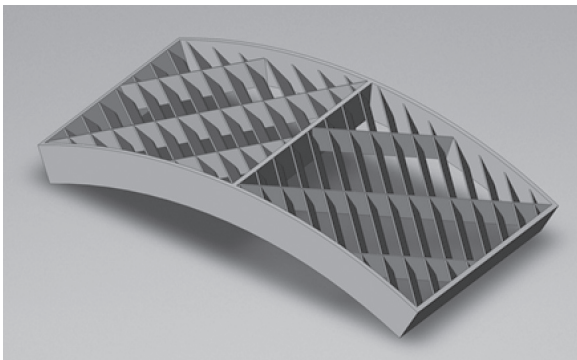


Рис. 7. Секция модернизированной реверсивной решетки

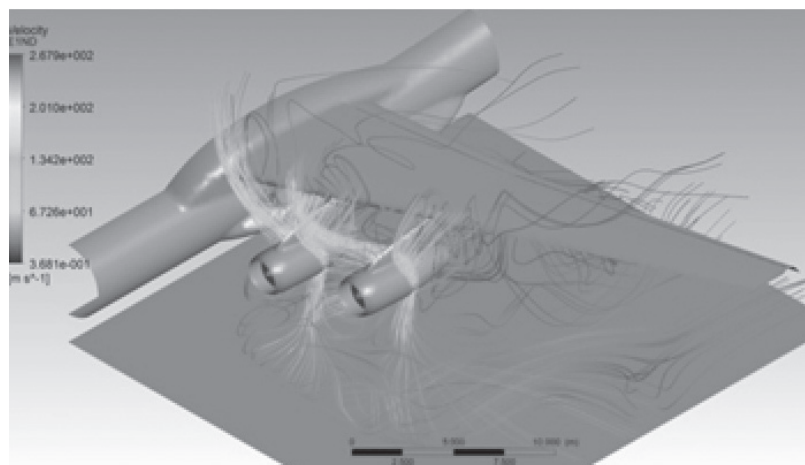


Рис. 8. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета ИЛ-76МД-90А с модернизированными решетками реверсивного устройства; $V_{пр} = 100$ км/ч

Библиографический список

1. *Комов А.А., Фадин С.С.* Внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги // Научные чтения памяти К.Э. Циолковского. Калуга: ГМИК им. К.Э. Циолковского, 2015. С. 216-218.
2. *Маргулис С.Г.* Исследование условий попадания газов реверсивных струй и посторонних предметов с поверхности аэродрома в двигатели, расположенные в хвостовой части самолета: Дисс. ... канд. техн. наук. — Казань, 2010. — 173 с.
3. *Поляков В.В.* Реверсивные устройства силовых установок с воздушно-реактивными двигателями.— М.: ВИНТИ. Сер. Итоги науки и техники. Авиационное строительство. Т. 5. 1978. — 210 с.
4. *Комов А.А.* Теоретические основы и технические решения для защиты авиационных двигателей от попадания твердых посторонних предметов с поверхности аэродрома: Дисс. ... д-ра техн. наук. — М., 2005. — 400 с.
5. *Sutton J.M.D.* Thrust reverser design for airframe compatibility // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 1976. Vol. 48. Issue 3, pp. 16-20.
6. *Jackson J.* Development of the Boeing 767 Thrust Reverser // American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). 1986-1536.

Выводы

1. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ил-76МД-90А находится на недостаточно высоком уровне.

2. Для повышения конкурентоспособности самолета Ил-76МД-90А необходимо улучшать внешнюю аэродинамику силовой установки, что позволит ему конкурировать с самолетом С-17 на внешнем рынке.

7. *Комов А.А.* Определение оптимальной величины обратной тяги двигателей для воздушного судна ТУ-154М. — М.: МГУТУ ГА, 2009. — 26 с.
8. *Комов А.А.* О необходимости модернизации самолета Ил-76МД-90А // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 4(3). С. 592-596.

IL-76MD-90A AIRCRAFT COMPETITIVENESS RECOVERY

Komov A.A.

Moscow State Technical University of Civil Aviation,
MSTUCA, 20, Kronshtadtsky av., Moscow, 125493, Russia
e-mail: komesk73@yandex.ru

Abstract

The paper compares competitiveness of Il-76MD-90A with the US C-17 military transport aircraft. The basic assessment criterion is the aircraft capability to perform landing on unprepared sites with restricted run length, which requires employing the engine thrust reverse.

The problems under discussion relate to employing thrust reverser of PS-90A-76 engine, installed on the Il-76MD-90A aircraft. These problems do not only increase the cost of an aircraft operating cycle and affect the flight safety, but reduce its competitiveness as well. The paper presents computation and experimental data, revealing that the main cause of the emerging problems consists in poor external aerodynamics of the power plant during an aircraft ground run employing the thrust reverse. By external aerodynamics the authors mean the gas jet discharge type form the engine reverse units, which may interact with the engine itself and control airframe surfaces while its ground run. Such interaction can lead to:

- gas dynamic instability in engine operation;
- damages to the rotor blades of the engine caused by foreign objects thrown from the surface of the aerodrome;
- Aircraft dynamic characteristics deterioration (wind drag, stability, controllability), and aircraft run-length increase. Unsatisfactory external aerodynamics of the Il-76MD-90A aircraft is the cause of its poor competitiveness compared to the US military transport aircraft S-17.

Ways to the aircraft external aerodynamics improvement are considered below:

- the engine reversal thrust value optimization;
- reverse jets discharge optimization in accordance with the aircraft layout.

Ways of the Il-76MD-90A aircraft external aerodynamics improvement were developed based on estimated and full-scale studies. The substantiation of the developed measures is based on the design features analysis of the S-17 engine reverser unit.

From the above said the author concludes:

1. The level of Il-76MD-90A aircraft power plant external aerodynamics is not high enough.

2. The Il-76MD-90A airplane competitiveness recovery requires carrying out studies on the power plant external aerodynamics improvement, which will allow competition with the S-17 aircraft in the foreign market.

Keywords: the power plant external aerodynamics, thrust reverser, foreign objects, opposite thrust value optimization, reverse jets expiration optimization.

References

1. Komov A.A., Fadin S.S. *Nauchnye chteniya pamyati K.E. Tsiolkovskogo, Sbornik statei*, Kaluga, GMIK imeni K.E. Tsiolkovskogo, 2015, pp. 216-218.
2. Margulis S.G. *Issledovanie uslovii popadaniya gazov reversivnykh strui i postoronnikh predmetov s poverkhnosti aerodroma v dvigateli, raspolozhennye v khvostovoi chasti samoleta* (Conditions research of reverse streams gases and foreign objects from the airfield surface getting into the engines located in airplane tail part), Doctor's thesis, Kazan, Kazanskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni A.N. Tupoleva, 2010, 173 p.
3. Polyakov V.V. *Reversivnye ustroystva silovykh ustanovok s vozdušno-reaktivnymi dvigatelyami*, Moscow, VINITI. Ser. Itogi nauki i tekhniki Aviastroenie. Vol. 5, 1978, 210 p.
4. Komov A.A. *Teoreticheskie osnovy i tekhnicheskie resheniya dlya zashchity aviatsionnykh dvigatelei ot popadaniya tverdykh postoronnikh predmetov s poverkhnosti aerodroma* (Theoretical basics and technical solutions for aircraft engine protection against solid foreign objects getting into from the airfield surface), Doctor's thesis, Moscow, GosNII GA, 2005, 400 p.
5. Sutton J.M.D. Thrust reverser design for airframe compatibility. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 1976, vol. 48, issue 3, pp. 16-20.
6. Jackson J. Development of the Boeing 767 Thrust Reverser. *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*. 1986-1536.
7. Komov A.A. *Opredelenie optimal'noi velichiny obratnoi tyagi dvigatelei dlya vozdušnogo sudna TU-154M* (Determination of the opposite engine thrust optimum value for TU-154M aircraft), Moscow, MGUTU GA, 2009, 26 p.
8. Komov A.A. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2016, vol. 18, no. 4(3), pp. 592-596.