

О НЕОБХОДИМОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ САМОЛЕТА ИЛ-76МД-90А

© 2016 А.А. Комов

Московский государственный технический университет гражданской авиации

Статья поступила в редакцию 21.10.2016

В статье 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, но и влияют на безопасность полетов. Приводятся расчетные и экспериментальные данные, показывающие, что основная причина возникающих проблем – плохая внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги. Рассматриваются причины возникающих проблем на самолете ИЛ-76МД-90А, а также методы их решения.

Ключевые слова: реверс тяги, двигатель, безопасность полетов, внешняя аэродинамика, силовая установка, пробег.

ВВЕДЕНИЕ

Магистральный грузовой самолет Ил-76МД-90А является модернизацией транспортного самолета Ил-76ТД. 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 (4,25 м), несмотря на то, что диаметр двигателей ПС-90А-76 ($D = 2$ м) превосходит диаметр двигателей Д-30КП ($D = 1,5$ м).

Проблемы применения двигателя ПС-90А сразу проявились при эксплуатации самолетов Ил-96 и Ту-204, на которых они были установлены. 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 с поверхности аэродрома.

На самолете Ил-76ТД-90ВД появились также проблемы, характерные только для этого самолета, и которые непосредственно влияют на безопасность полетов:

- необходимость применения реверса тяги только внешних двигателей;

- случаи появления трещин на кронштейнах крепления двигателя к пилонам [1].

Результаты расчетных исследований, проведенных в МГТУ ГА, показывают, что основной причиной всех вышеуказанных проблем на самолетах, на которых установлены двигатели типа ПС-90А (ПС-90А-76), является неудовлетворительная внешняя аэродинамика силовой

установки при применении реверса тяги на пробеге самолета.

Под внешней аэродинамикой силовой установки (СУ) воздушного судна (ВС) будем понимать характер истечения из реверсивного устройства двигателя газовых струй, 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 (рис. 1) [2]. О необходимости проведения исследований внешней аэродинамики СУ можно судить по данным, приведенным в табл. 1 [3].

Из анализа данных в табл. 1 следует, что для подавляющего большинства ВС отечественного производства, независимо от их типа, компоновки, габаритов, взлетной массы, количества и расположения двигателей (в хвостовой части фюзеляжа или на пилонах), величины взлетной тяги двигателей - величина обратной тяги двигателей одна и та же - $R_{обр} = 3600$ кгс. Скорость пробега ВС, на которой рекомендуется выключать реверс тяги, во избежание попадания в двигатели ПП с поверхности аэродрома, для всех воздушных судов также одна и та же, и равна $V = 120$ км/ч. Заброс реверсивных струй и ПП в двигатели происходит значительно раньше рекомендованных РЛЭ скоростей пробега ВС. Так, для самолета Ил-76ТД-90 реальный заброс реверсивных струй в двигатели наблюдается на скорости пробега $V = 180$ км/ч. Посадочная скорость самолета Ил-76ТД-90 равна $V = 210...220$ км/ч, то есть, заброс реверсивных струй происходит практически

Комов Алексей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, начальник отдела научных исследований.
E-mail: komesk73@yandex.ru

Таблица 1. Параметры работы реверса тяги на ВС отечественного производства

Тип ВС	Величина обратной тяги, кгс	Выключение реверса тяги (РЛЭ), км/ч	Попадание реверсивных струй, км/ч
Ту-154Б	3600	120	165
Ту-154М	3600	120	195
Ту-204	3600	120	160
Ту-334	3600	120	145
Ил-62М	3600	120	?
Ил-86	3600	120	150
Ил-96	3600	120	160
Ил-76ТД (двигатели Д-30КП)	3600	120	170
Ил-76ТД-90	3600	120	180

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 [4]. Наиболее полной и исчерпывающей характеристикой уровня защищенности двигателя в заданной компоновке воздушного судна (ВС) можно считать показатель «количество посадок ВС на один досрочный съём двигателя по причине повреждения посторонними предметами», который учитывает одновременно несколько параметров, такие как компоновку двигателя в составе ВС и вероятность повреждения двигателя в процессе эксплуатации. Если значение этого показателя для основных типов двигателей и самолетов (за период 1990–2001 год) составляло величину порядка 15000...20000 посадок ВС на один досрочный съём двигателя по причине повреждения посторонними предметами (для самолета ЯК-40 – 50000 посадок) [4], то для двигателя ПС-90А значение этого показателя составляет:

- в компоновке самолета ИЛ-96 – 420 посадок;
- в компоновке самолета ТУ-204 - 280 посадок.

Таким образом, неудовлетворительная внешняя аэродинамика силовой установки самолетов Ту-204 и Ил-96 привела к тому, что уровень защищенности двигателя ПС-90А оказался на два порядка хуже уровня защищенности основного парка двигателей воздушных судов всех типов, спроектированных значительно раньше [5].

Пример внешней аэродинамики силовой установки самолета Ту-154 приведен на рис. 1. Заброс 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. Искажение структуры воздушного потока может приводить к нарушению газодинамической устойчивости работы двигателя. Повышение температуры воздушного

потока, втекающего на вход в двигатель, может достигать значительной величины. Так, повышение температуры на входе в двигатели Д-30КУ-154 на пробеге самолета Ту-154М составляло величину порядка $\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ [4]. Такое повышение температуры воздушного потока на входе в двигатель приводит к снижению реализуемой величины обратной тяги и к увеличению длины пробега самолета. Характер растекания реверсивных струй на пробеге самолета Ту-154Б (при визуализации истечения газа из нижних окон реверсивного устройства) свидетельствует о неудовлетворительной внешней аэродинамике силовой установки (рис. 1). Реверсивные струи, истекающие из верхних окон реверсивного устройства, попадают на вертикальное оперение и значительно снижают путевую управляемость самолета [4].

Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ту-204 показана на рис. 2, из которого видно, что реверсивные струи начинают попадать на вход в двигатели на скорости пробега самолета $V = 150$ км/ч, а на скорости пробега $V = 120$ км/ч, реверсивные струи окутывают не только двигателя, но и сам самолет. Таким образом, визуализация реверсивных струй подтверждает, что внешнюю аэродинамику самолета Ту-204 также можно признать неудовлетворительной.



Рис. 1. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ту-154Б



Рис. 2. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ту-204

Существуют два пути улучшения внешней аэродинамики СУ:

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

1. ОПТИМИЗАЦИЯ ВЕЛИЧИНЫ ОБРАТНОЙ ТЯГИ ДВИГАТЕЛЯ

Под оптимизацией величины обратной тяги двигателей будем понимать поиск такой величины тяги реверса, 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 [4]. Натурные и расчетные исследования показывают, что чрезмерное увеличение обратной тяги приводит не к уменьшению длины пробега самолета, что следовало ожидать, а, наоборот, к увеличению длины пробега. В МГТУ ГА была создана методика расчета оптимальной величины обратной тяги двигателей для различных компоновок ВС, которая позволяет обеспечить защищенность двигателей от повреждения твердыми посторонними предметами, забрасываемыми реверсивными струями, без ухудшения посадочных характеристик самолета, таких, как длина пробега [6]. Так, для самолетов Ту-154Б и Ту-154М оптимальной величиной обратной тяги двигателей является величина $R_{обр} = 2500$ кгс. Таким образом, величина

обратной тяги двигателей при проектировании самолетов Ту-154Б и Ту-154М была завышена на 29%.

Избыточность величины обратной тяги двигателей наблюдается на всех отечественных ВС, к которым можно отнести такие ВС, как Ил-96, Ту-154, Ту-204, Ил-76ТД, Ил-76ТД-90, а также МС-21. Причем, избыточность величины обратной тяги двигателей для некоторых типов ВС может достигать значительной величины (табл. 2).

Применение оптимальной величины обратной тяги позволяет:

- снизить нагрузку на двигатель;
- обеспечить защищенность двигателей от заброса реверсивных струй;
- обеспечить защищенность двигателей от заброса твердых посторонних предметов;
- улучшить параметры воздушного потока на входе в двигатель (поля температур, скоростей и полных давлений);
- снизить шум на пробеге самолета.

Следует добавить, что расчет оптимальной величины обратной тяги двигателя для любой компоновки ВС возможен не только для самолетов, находящихся в эксплуатации, но также для самолетов, находящихся на этапе проектирования, вплоть до этапа эскизного проектирования.

2. ОПТИМИЗАЦИЯ ИСТЕЧЕНИЯ РЕВЕРСИВНЫХ СТРУЙ

За рубежом внешней аэродинамике силовой установки уделяют достаточно серьезное внимание и стараются организовать истечение реверсивных струй таким образом, чтобы воспре-

Таблица 2. Величина оптимальной обратной тяги двигателей для некоторых типов самолетов

Тип самолета	$R_{обр\ опт}$, кгс	Избыточность $R_{обр}$, %
Ту-204	2500	31
Ил-96	2500	31
Ил-76ТД (Д-30КП)	1150	68
Ил-76ТД-90	1200	67
МС-21	1900	32

пятствовать их попаданию в двигатели (рис. 3). Такое направление истечения реверсивных струй сохраняется на протяжении всего пробега самолета, с момента включения реверса тяги и до момента выключения реверса тяги. Очевидно, что истечение реверсивных струй должно быть согласовано не только с двигателем, но и с самолетом таким образом, чтобы избежать попадания реверсивных струй в собственный и соседний двигатель, а также взаимодействия реверсивных струй с планером самолета.



Рис. 3. Истечение газовых струй на самолете Боинг-747

Четырех двигательный самолет Ил-76ТД-90 также имеет неудовлетворительную внешнюю аэродинамику силовой установки. На пробеге самолета отмечается заброс реверсивных струй из внутренних двигателей на вход во внешние двигатели, что ограничивает применение реверса тяги всех четырех двигателей (рис. 4) [7].

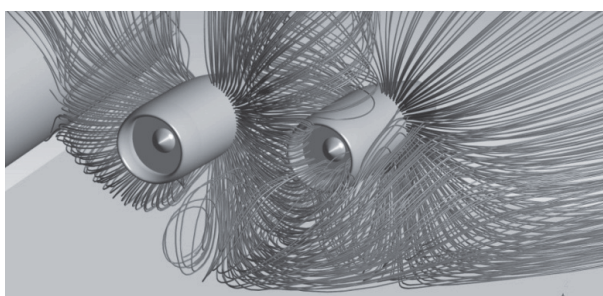


Рис. 4. Истечение реверсивных струй на самолете ИЛ-76ТД-90 на скорости $V = 120$ км/ч

Реверсивные струи, истекающие из внешних двигателей, направлены на мотогондолы внутренних двигателей, что приводит к их повышенной вибрации. Анализ посадок самолетов Ил-76ТД-90 показал, что применение реверса тяги внутренних двигателей приводит к повышенному влиянию реверсивных струй на параметры воздушного потока, втекающего во внешние двигатели. Заброс реверсивных струй в двигатели сопровождается повышением температуры и значительным падением полного

давления втекающего в двигатели воздушного потока [7]. Причем, значительное искажение параметров воздушного потока, втекающего в наружные двигатели, при использовании реверса тяги всех четырех двигателей, может привести к возникновению помпажа двигателей. Боковой ветер также значительно искажает параметры воздушного потока, втекающего в двигатели, приводя к разным значениям обратной тяги силовой установки № 1 и № 4 [8]. Снижение величины обратной тяги двигателей увеличивает длину пробега самолета, а разнотяговость двигателей способствует дополнительному разворачивающему моменту самолета в сторону ветра. Таким образом, боковой ветер увеличивает вероятность продольного и бокового выкатывания самолета за пределы ВПП.

Расчетные исследования, проведенные в МГТУ ГА, позволили разработать мероприятия по улучшению внешней аэродинамики силовой установки самолета Ил-76ТД-90. Это позволяет использовать реверс тяги всех четырех двигателей в широком диапазоне скоростей пробега самолета, вплоть до скорости пробега $V = 100$ км/ч, что сокращает длину пробега и исключает случаи неустойчивой работы двигателей (помпажей) и повреждения рабочих лопаток компрессоров посторонними предметами (рис. 5).

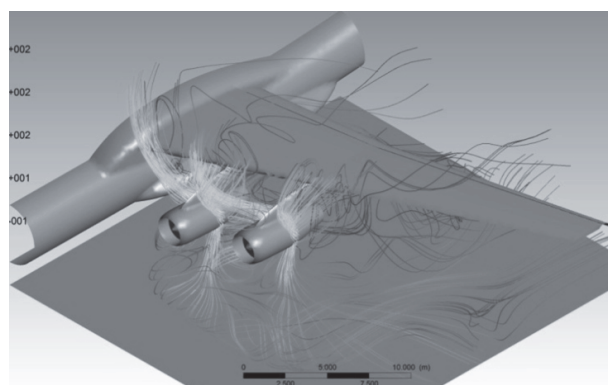


Рис. 5. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета ИЛ-76ТД-90 с модернизированными решетками реверсивного устройства. Скорость пробега $V = 100$ км/ч

3. ВЫВОДЫ

1. Внешняя аэродинамика силовой установки самолета Ил-76МД-90 находится на недостаточно высоком уровне. Низкий уровень внешней аэродинамики силовой установки отрицательно сказывается на безопасности полетов и может привести:

- к дополнительным затратам на ремонт поврежденных посторонними предметами рабочих лопаток компрессора;
- к случаям нарушения газодинамической устойчивости работы двигателей;

- увеличению вероятности случаев продольного и бокового выкатывания самолета за пределы ВПП.

2. Для повышения безопасности полетов и конкурентоспособности самолета Ил-76МД-90 необходимо проведение работ по улучшению внешней аэродинамики силовой установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационное письмо УПЛГ ГВС ФАВТ МТ РФ от 03.12.09 № 21.9-378.
2. Маргулис С.Г. Исследование условий попадания газов реверсивных струй и посторонних предметов с поверхности аэродрома в двигатели, расположенные в хвостовой части самолета. Дис. ... канд. техн. наук. Казань: Казанский государственный технический университет имени А.Н. Туполева, 2010.
3. Комов А.А., Фадин С.С. Внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги // Л научные чтения памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2015. С. 216-218.
4. Комов А.А. Теоретические основы и технические решения для защиты авиационных двигателей от попадания твердых посторонних предметов с поверхности аэродрома. Дис. ... докт. техн. наук. М.: ГосНИИ ГА, 2005.
5. По результатам оценки безотказности авиационных двигателей гражданской авиации: Справочный доклад. ГосНИИ ГА, ЦИАМ. 1991...2002.
6. Комов А.А. Определение оптимальной величины обратной тяги двигателей для воздушного судна ТУ-154М. М.: МГУТУ ГА, 2009. 26с.
7. Комов А.А., Фадин С.С. Внешняя аэродинамика силовой установки на пробеге самолета с применением реверса тяги // Л научные чтения памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2015. С. 216-218.
8. Комов А.А. Влияние бокового ветра на поведение самолета Ил-76ТД-90 на пробеге с применением реверса тяги в условиях Антарктиды // 51-е научные чтения памяти К.Э. Циолковского, Калуга, 2016. С. 192-194.

ABOUT NEED OF IL - 76MD-90A PLANE MODERNIZATION

© 2016 A.A. Komov

Moscow State Technical University of Civil Aviation

In this article, the problems connected with application of thrust reverser of PS-90A-76 engines in IL-76MD-90A plane are considered. These problems not only increase the cost of operating cycle of the plane, but also influence flight safety. The estimated and experimental data showing that the main reason for the arising problems – bad external aerodynamics of the power plant on run of the plane with application of thrust reverser are given. The reasons of the arising problems in IL-76MD-90A plane, and also methods of their decision are considered.

Keywords: reverse thrust, engine, safety, external aerodynamics, propulsion, aircraft mileage.