

## ДВИГАТЕЛЬ С ОТКРЫТЫМ РОТОРОМ В СВЕТЕ УЖЕСТОЧЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО АВИАЭКОЛОГИИ

© 2012 Б.С. Замтфорт

Научно-исследовательский Московский комплекс ЦАГИ

Поступила в редакцию 14.09.2012

Анализ акустических характеристик двигателя с открытым ротором показывает, что в спектре шума двигателя дополнительно к традиционным компонентам шума добавляются пики тонального шума на комбинационных частотах в низкочастотной части спектра. Это создает значительные трудности в снижении шума самолета с такими двигателями на местности.

Ключевые слова: акустические характеристики, двигатель, открытый ротор, спектр шума, частоты

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) проводит политику по постоянному снижению вредного экологического воздействия воздушных судов на окружающую среду. Следует отметить, что вводимые ИКАО ограничения являются компромиссом между желаемым ужесточением требований по экологии и техническими и экономическими возможностями по их реализации. В настоящее время проблема экологической безопасности является второй по актуальности (на первом месте находится безопасность полетов).

Как известно, нормативы ИКАО по шуму самолетов на местности сформулированы в 1 томе «Авиационный шум», а требования по эмиссии изложены в томе 2 «Эмиссия авиационных двигателей» Приложения 16 к конвенции ИКАО. Указанные выше нормативы постоянно пересматриваются (ужесточаются) по мере развития авиационной техники.

Так в 2010г. на 37 Ассамблее ИКАО были утверждены нормы по снижению уровней шума на местности на 20-25 EPN дБ к 2028г, по снижению уровня шума в салоне до 75 -70 дБА к 2020 – 2025гг. и уменьшению эмиссии NOx на 45% и 60% к 2020г. и к 2030г. соответственно. На этой же Ассамблее было принято решение о создании 3 тома Приложения 16 о нормировании топливной эффективности воздушных судов, основанного на критерии расхода топлива на пассажирокилометр, что позволит снизить выбросы парниковых газов (где CO<sub>2</sub> – основная составляющая), который должен быть принят на 38 Ассамблее в 2013г. В связи с вышеизложенным особенно важным является комплексная оценка вредного воздействия гражданской авиации на окружающую среду: шум, эмиссия и парниковые газы. Однако, т.к. норматива на парниковые газы пока не со-

*Замтфорт Борис Соломонович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий инженер.  
E-mail: bsz@inbox.ru*

здано, то ограничимся рассмотрением первых двух факторов – шума и эмиссии.

Рассмотрим одно из, по-видимому, магистральных направлений развития мирового самолетостроения, а именно самолеты, оснащенные двигателями с открытым ротором. Концепция двигателей с открытым ротором активно продвигается в литературе фирмами Роллс-Ройс, Дженерал Электрик – Снекма и Пратт-Уитни, начиная с 2008-2009 гг. Что позволит по их оценкам существенно повысить топливную эффективность самолетов с такими двигателями, а следовательно снизить и эмиссию и из-за экономии топлива – выброс парниковых газов.

На 18 AIAA/CEAS аэроакустической конференции в июне 2012г. проблеме шума винта и открытого ротора было посвящено 15 докладов. Однако при более подробном рассмотрении акустики таких самолетов становится ясно, что внедрение двигателей с открытым ротором приведет к серьезным проблемам как по шуму на местности, так и по шуму в салоне. Остановимся сначала на шуме на местности: ясно, что переход на самолеты с открытым ротором приведет к снижению оптимальной по эффективности перевозок скорости полета самолета с  $M=0,95$  ( $m=4$  - степень двухконтурности) или  $M=0,85$  (для  $m=6$ ) до  $M=0,75$  (для самолетов с открытым ротором), т.е. на 12-20%. Следовательно, при той же пассажироместности самолетов потребуются (даже без учета роста пассажиропотока по разным оценкам от 1% до 5% в год) или на те же 12-20% увеличить парк самолетов или частоту их полетов или частично применить оба мероприятия, что, в свою очередь, приведет к росту зашумленности в окрестностях аэропортов из-за увеличения числа взлетов/посадок (даже при равном акустическом качестве самолетов с ТРДД с большой степенью двухконтурности и самолетов, имеющих двигатели с открытым ротором). Однако при более подробном рассмотрении акустичес-

ких характеристик этих самолетов (по шуму на местности) сразу выясняется, что самолеты с ТРДД с большой или сверхбольшой степенью двухконтурности имеют целый ряд явных преимуществ перед самолетами с открытым ротором. Так в спектрах шума самолетов с открытым ротором кроме всех составляющих шума, имеющих в спектрах шума самолетов с ТРДД с большой степенью двухконтурности (широкополосный шум, шум на частоте следования лопаток вентилятора и ее гармонике, шум ударных волн при транс и сверхзвуковых скоростях вращения) добавляются мощные тональные составляющие на комбинационных частотах (комбинация частот следования лопастей винтовентилятора первого и второго рядов), а именно  $f_{сл1}+f_{сл2}$ ;  $2f_{сл1}+f_{сл2}$ ;  $f_{сл.1}+2f_{сл2}$  и т.д. Уровни шума на этих частотах равны, а на некоторых направлениях и значительно выше, чем уровни шума на частоте следования лопастей 1 и 2 рядов ротора. Все пики тонального шума генерируется на очень низких частотах. Например,  $f_{сл1}$  и  $f_{сл2}$  примерно равны 100 Гц, а  $f_{сл1}+f_{сл2}=200$  Гц и т.д. Для двигателя с большой степенью двухконтурности  $f_{сл}=2500$  Гц. Одновременно следует учесть, что коэффициент затухания звука в воздухе на частоте 100 Гц равен 0,05 дБ/100м, а на частоте 2500 Гц – 1,35дБ/100м. Т.е. на расстоянии 700м (примерная высота пролета самолета над контрольной точкой при наборе высоты) только разница в величинах затухания составит 8 дБ, не говоря уже о значительном превышении уровней тонального шума двигателя с открытым ротором над уровнями тонального шума двигателя ТРДД с большой степенью двухконтурности. Заметим также, что у двигателя с большой степенью двухконтурности заметный вклад в снижение уровня излучаемого шума вносит оболочка наружного контура двигателя: как экран, препятствующий прямому излучению звука, как элемент конструкции двигателя /самолета в котором раз-

мещаются звукопоглощающие облицовки, также снижающие уровни шума, как путем поглощения акустической энергии, так и путем перераспределения энергии по модам колебаний (из распространяющихся в нераспространяющиеся) при правильном проектировании ЗПК, как способ формирования оптимальной диаграммы направленности двигателя и т.д. Необходимо отметить и такую чрезвычайно важную функцию оболочки для сохранения жизнеспособности самолета как удержание части оторвавшейся лопатки.

Справедливости ради отметим, что самолеты с ТРДД со сверхбольшой степенью двухконтурности ( $m=12-15$ ) могут иметь оптимальную по эффективности перевозок скорость полета самолета близкую к  $M=0,75$ , но будут лишены всех вышеперечисленных акустических недостатков самолетов с открытым ротором.

При рассмотрении ситуации с уровнями шума в кабине экипажа и пассажирском салоне становится ясно, что наличие множества пиков тонального шума в спектре двигателя с открытым ротором потребует (при их традиционной подкрыльевой компоновке) создания мощной звукоизолирующей конструкции фюзеляжа и поэтому не может быть принято из-за увеличения массы самолета. По-видимому, использование такого двигателя возможно только при хвостовой компоновке и толкающем биротативном винтовентиляторе. При этом в хвостовой части пассажирского салона необходимо предусмотреть звукоизолирующую переборку, чтобы получить допустимый уровень шума в салоне.

Качественный анализ показывает, что самолеты, оснащенные двигателем с открытым ротором, будут иметь хорошие эмиссионные характеристики и небольшие величины выбросов парниковых газов. В то же время выполнение требований по уровням шума на местности на 15-20 EPN дБ ниже главы 4 Стандарта ИКАО будет для таких самолетов очень непростой задачей.

## OPEN ROTOR ENGINE IN THE LIGHT OF MORE STRINGENT REQUIREMENTS FOR AVIAEKOLOGY

© 2012 B.S. Zamtfort

Scientific Research Moscow Complex TsAGI

Analysis of the acoustic characteristics of the engine with open rotor is shown what engine noise in addition to traditional component of the noise added tonal noise peaks at combination frequencies in low frequency part spectra. All of this creates great difficulties in the reduction the noise of aircrafts with engines of open rotor on the ground.

Keywords: acoustic characteristics, engine, open rotor, noise spectrum, frequency.