

УДК 629.7.083

А. И. ПОПУГА

ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ШУМА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

*Приведены результаты исследования методов снижения пролетного шума гражданских самолетов, применяемые в современном авиастроении. К вопросам снижения шума самолетов нужно подходить комплексно – снижать не только шум двигателя, но и остальных его составных частей: планера, механизации крыла, шасси. Отмечены разные подходы к обеспечению норм ИКАО по пролетному шуму у отечественных и зарубежных самолетостроительных фирм. Ужесточение норм ИКАО при сертификации по пролетному шуму (отмена правила «компенсации») приводит к дополнительным затратам самолето- и двигателестроительных фирм на акустическую доработку самолетов и двигателей.*

**Ключевые слова:** пролетный шум, уровень звукового давления, эффективно воспринимаемый уровень шума, шумоглушающие устройства, поправка на тональность.

**Введение**

Постоянно повышающиеся требования к экологическим характеристикам авиационного транспорта определяют его конкурентоспособность на мировом рынке авиационных грузо- и пассажироперевозок. Значимость экологических характеристик в настоящее время сравнима с топливной эффективностью летательного аппарата. Из-за постоянного введения более жестких требований к шуму необходим прорыв в разработке новых технологий его снижения.

**1. Источники шума авиационного транспорта**

Для выбора методологии снижения шума авиационного транспорта важно определить источники, определяющие общий уровень шума. В настоящее время и в ближайшем обозримом будущем основным транспортным средством в авиации являются дозвуковые самолеты с турбореактивными двухконтурными двигателями (ТРДД). Для них основными источниками шума являются (по мере значимости): двигатели, шасси, механизация крыла и планер.

**2. Пути уменьшения шума авиационных двигателей**

Основным источником шума ТРДД с большой степенью двухконтурности обычно является вентилятор. В настоящее время за рубежом действуют несколько научно-исследовательских программ по снижению его шума. Основные направления исследований следующие:

– стреловидность лопаток рабочего колеса (РК);

– стреловидность и наклон лопаток спрямляющего аппарата (СА);

– переход на сверхвысокую степень двухконтурности;

– регулируемое сопло наружного контура;

– лопатки СА с звукопоглощающими конструкциями (ЗПК);

– РК и СА с элементами активного управления шумом;

– снижение окружной скорости вентилятора за счет проектирования двигателей со степенью двухконтурности  $m = 10 \dots 15$  и выше;

– «безвтулочный» вентилятор, позволяющий снизить скорость набегающего потока на входе в вентилятор.

Данные методы позволят снизить тональный шум вентилятора на 2,5...4,5 дБ, а широкополосный шум – на 1,5...3,5 дБ. При этом влияние стреловидности и наклона лопаток СА на излучаемый в заднюю полусферу тональный шум ожидается в диапазоне 3...5 дБ.

Кроме этого на снижение шума вентилятора существенно повлияет установка различных видов ЗПК в мотогондоле и воздухозаборнике двигателя, а также применение скошенного воздухозаборника ( $\approx 3$  дБ).

Так, применение бесшовных ЗПК в воздухозаборнике двигателя понижает шум всасывания на 1...4 дБ, облицовка губы воздухозаборника – на 1...3 дБ.

Для улучшения эффективности шумоглушения возможна комбинация активных и пассивных ЗПК, а также криволинейность канала за вентилятором.

При решении проблемы шума вентилятора становится определяющим вклад источников внутреннего контура ТРДД – турбины, камеры сгорания,

компрессора в общий шум самолета.

Шум турбины современного ТРДД стал вторым по важности источником шума двигателя. Так, после установки на самолете Ан-124-100 с двигателями Д-18Т серии 3 мотогондол и воздухозаборников с ЗПК определяющим шумом стал шум турбины вентилятора.

Основными методами снижения шума турбины являются:

- высокотемпературные глушители шума (потенциальное снижение 2...4 дБ);
- криволинейный достаточно длинный затурбинный канал ( $\approx 3$  дБ);
- выбор чисел лопаток РК и СА и их взаимного расположения, оптимизация зазоров с целью уменьшения следового взаимодействия (большое потенциальное снижение).

Единственным реальным методом снижения шума реактивной струи ТРДД с большой и сверхбольшой степенью двухконтурности на сегодняшний день является применение шевронного или шлицевого устройства для сопел наружного и внутреннего контуров. Кроме этого, рассматривается применение шевронов изменяемой геометрии, метод скошенного сопла, впрыск жидкости, микроструи, высокочастотное возбуждение и др.

Оптимистическая оценка всех этих мероприятий не дает снижение пролетного шума самолета более чем на 1...3 EPNдБ суммарно по трем точкам [1].

### 3. Пути уменьшения шума планера

При достаточно эффективном подавлении шума двигателей шум планера становится равным или даже превышает шум ТРДД, особенно при посадке. Исследования, проведенные рядом зарубежных фирм, в частности AIRBUS для самолета A340-300 (рис. 1) и ROLLS-ROYCE для перспективных самолетов (рис. 2) убедительно доказывают это.

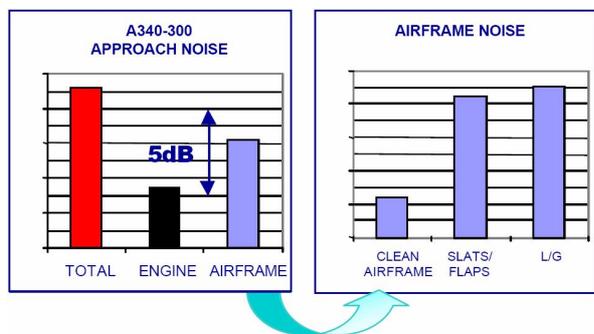


Рис. 1. Исследования фирмой AIRBUS источников шума самолета A340-300

Это косвенно подтверждается результатами замеров пролетного шума самолета Ан-124-100. После статических акустических испытаний двигателя Д - 18Т серии 3 в составе самолета Ан-124-100 были получены расчетные значения пролетного шума самолета Ан-124-100. Расчетные данные в точке «Взлет сбоку» и «Набор высоты» суммарно отличаются от эксперимента на 0,2 EPNдБ, а в точке «Заход на посадку» результаты эксперимента на 3,5 EPNдБ выше.

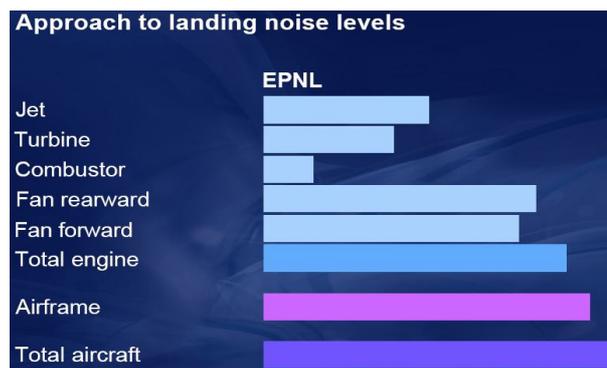


Рис. 2. Исследования фирмой ROLLS-ROYCE источников шума перспективных самолетов

Как уже указывалось выше, основными источниками шума планера являются шасси, механизмы увеличения подъемной силы, собственно планер и аэродинамическое воздействие между ними.

Применение обтекателей и крышек на шасси являются хорошими методами снижения шума этого узла. Согласно оценке потенциальный эффект от их применения будет достигать  $\approx 3$  дБ. Кроме того, предполагается оптимизация положения и формы крышки шасси, заполнение пустот, приведение плохобтекаемых стоек к более обтекаемой форме.

Оптимизация конструкции предкрылков с направляющими и закрылков в аэродинамической трубе и их акустическая облицовка позволит снизить их шум на 3 дБ.

### 4. Пути достижения требований ИКАО к пролетному шуму самолетов

Для достижения требований соответствующей главы ИКАО при сертификации самолета фирмы-разработчики используют следующие методики и их комбинации:

- сертификация самолета на взлетную массу, меньше максимально допустимой;
- выбор оптимальной методики пилотирования при сертификации;
- применение «переразмеренных» по тяге двигателей.

Не всегда акустическое совершенство самолета позволяет получить сертификат на требуемую главу ИКАО. Учитывая, что самолеты чаще всего летают с неполной загрузкой и не все аэропорты предъявляют повышенные требования к пролетному шуму, фирмы-разработчики могут сертифицировать самолеты на массу, меньшую максимально допустимой. При этом корректируются режимы работы двигателей и траектория взлета-посадки, что позволяет получить требуемые акустические характеристики самолета.

Самолет Боинг-747 близок по дальности, взлетной массе, числу двигателей к самолету Ан-124-100. Кроме того, для него имеются большие статистические данные.

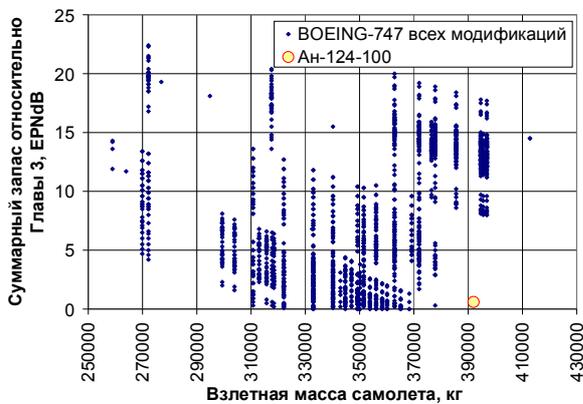


Рис. 3. Сертификационные данные ИКАО

На рис. 3 приведены значения порядка 2000 сертификатов по шуму на Главу 3 ИКАО самолета Боинг-747 всех модификаций[2]. Так, самолет Боинг-747 версии SR с двигателями CF6-45A2 тягой 22000 кг имеет сертификаты на взлетную массу от 258,9 до 340,2 тонны и соответствующие им значения запасов относительно Главы 3 от 14,2 EPNдБ для массы 258,9т, при этом выполняя требования Главы 4 ИКАО, до 6,4 EPNдБ для массы 340,2 т, при этом требования Главы 4 ИКАО не выполняя.

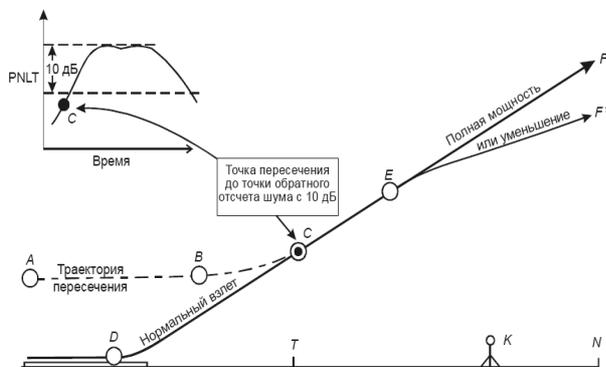


Рис. 4. Типичный профиль взлета и набора высоты при сертификации пролетного шума в точке «Набор высоты»

При сертификации по пролетному шуму обычно выбираются оптимальные траектории взлета и посадки при оптимальных положениях механизации крыла и соответствующих режимах двигателей. На рис. 4 видно, что при сертификации в точке «набор высоты» самолет может проходить над микрофоном на полном режиме (большой шум двигателей, но увеличенное расстояние до микрофона и меньшее время воздействия шума) или на дроссельном режиме (меньший шум двигателей, но и меньшее расстояние до микрофона и большее время воздействия шума). Естественно траектории выбираются из учета возможностей двигателей и безопасности полета.

Основным показателем эффективности самолета является его аэродинамическое качество  $K = C_y/C_x$ . Чем больше аэродинамическое качество самолета, тем меньшую тягу должны иметь двигатели. Аэродинамическое качество самолетов Боинг-747 и Ан-124-100 на крейсерском режиме примерно одинаково ( $K=17,5...18$  по различным источникам). Если считать, что такое соотношение  $K$  сохраняется во всех условиях полета, то практически все Боинги-747 различных модификаций и с разными типами и модификациями двигателей имеют «переразмеренную» тягу по сравнению с Ан-124-100 (рис. 5).

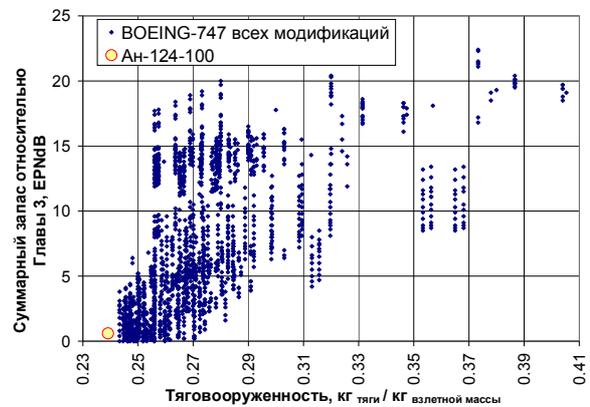


Рис. 5. Сертификационные данные ИКАО в других координатах

Отметим, что чем больше тяговооруженность, тем больше запас по пролетному шуму. Выделим самолеты Боинг-747 с двигателями фирмы ROLLS-ROYCE – трехвальные ТРДД – близкие по конструктивной схеме к двигателю Д-18Т. Интересующие нас параметры этих двигателей в сравнении с Д-18Т приведены в таблице 1.

Как видно из таблицы, фирма ROLLS-ROYCE кроме улучшения акустических характеристик неуклонно повышала диаметр вентилятора и тягу (соответственно и тяговооруженность Боинг-747) для каждой последующей модификации.

Можно предположить, что самолет Ан-124-100 с двигателями Д-18Т по степени акустического совершенства наиболее близок к самолету Боинг-747-100/200/300 с двигателями RB211-524B2 и RB211-524C2.

Таблица 1  
Параметры сравниваемых двигателей

Тип/модификация двигателя	Тяга, кгс	Диаметр вентилятора, мм	Год сертификации
Д-18Т серии 3	23430	2300	1992
RB211-524B2	22723	2154	1979
RB211-524C2	23405	2154	1980
RB211-524D4	24089	2180	1981
RB211-524G	26307	2192	1988
RB211-524H2	27486	2192	1989
RB211-524G –Т	26307	2192	1997
RB211-524H2 –Т	27486	2192	1997

Исходя из вышесказанного, для достижения самолетом Ан-124-100 требований Главы 4 ИКАО (запаса 10 ЕРНдБ относительно Главы 3) при взлетной массе 392 т без улучшения акустических характеристик двигателя, мотогондолы и планера Ан-124-100 должен иметь тяговооруженность порядка 0,336. При этом двигатель Д-18Т должен иметь тягу  $0,336 \cdot 392000 / 4 \approx 33000$  кгс.

Рассмотрим подробнее сертификационные точки стандарта ИКАО - «Сбоку от ВВП», «Набор высоты» и «Заход на посадку» в координатах «Тяговооруженность при полном режиме работы двигателей/Запас относительно Главы 3».

#### 4.1 Точка «Взлет сбоку от ВВП»

На рис. 6 представлена зависимость запасов в ЕРНдБ относительно Главы 3 (точка "Сбоку от ВВП") от тяговооруженности при полном режиме работы двигателей. Как видно из графика, несмотря на то, что суммарные запасы при увеличении тяговооруженности растут (рис. 6), в данной точке запасы относительно Главы 3 при увеличении тяговооруженности несколько падают.

#### 4.2 Точка «Заход на посадку»

Данная точка стандарта ИКАО имеет следующие особенности:

- в этой точке жестко регламентируется глиссада захода на посадку и, следовательно, расстояние по вертикали до микрофона (120 м);
- при заходе на посадку двигатели сильно задросселированы и шум, создаваемый планером, ме-

ханизацией и шасси может определять шум самолета в этой точке.

На рис. 7 представлена зависимость запасов в ЕРНдБ относительно Главы 3 ИКАО (точка "Заход на посадку") от тяговооруженности при полном режиме работы двигателей.

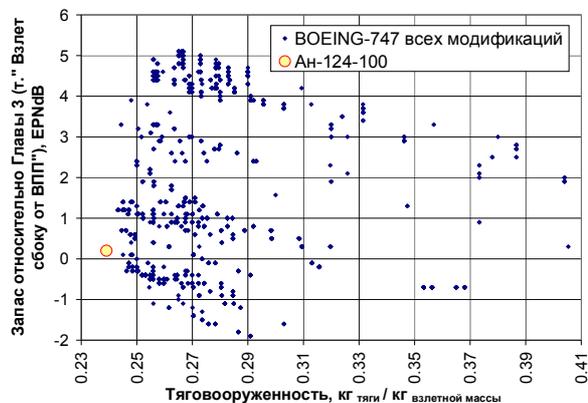


Рис. 6. Сертификационные данные ИКАО в точке «Взлет сбоку от ВВП»

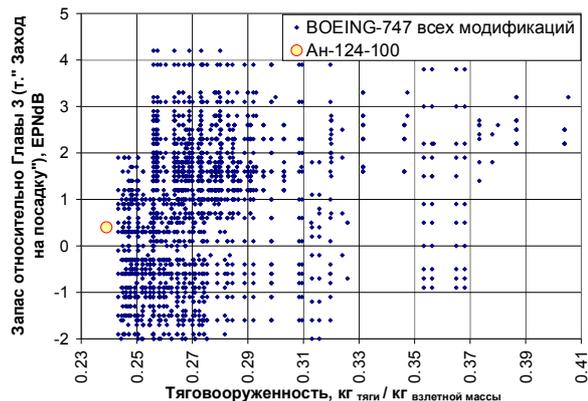


Рис. 7. Сертификационные данные ИКАО в точке «Заход на посадку»

Характерно, что при одинаковой конфигурации «модификация самолета/модификация двигателя» с ростом тяговооруженности запасы относительно Главы 3 практически не изменяются.

Однако представление шумовых характеристик в таких координатах не объясняет всех особенностей замера шума в этой точке. Более правильно было бы по оси X указать тяговооруженность при заходе на посадку, равную отношению посадочной массы двигателя к тяге четырех двигателей на посадочном режиме.

Этот график приводится лишь для того, чтобы яснее показать, что основное увеличение запасов по шуму при модификации самолета происходит в точке «Набор высоты».

4.3 Точка «Набор высоты»

На рис. 8 представлена зависимость запасов в EPNдБ относительно Главы 3 ИКАО (точка "Набор высоты") в тех же координатах.

Из графика на рисунке 8 видно, основное увеличение запасов по пролетному шуму для различных модификаций самолета Боинг-747 произошло при сертификации в точке стандарта ИКАО «Набор высоты», в том числе и за счет повышения тяговооруженности. Так, для самолетов с двигателями фирмы ROLLS-ROYCE запасы в разных точках изменяются следующим образом (табл. 2)

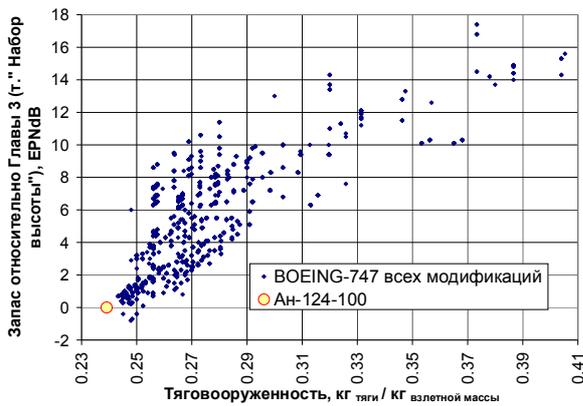


Рис. 8. Сертификационные данные ИКАО в точке «Набор высоты»

разными типами двигателей, их количеством и с разным расположением двигателя на самолете.

Единственными самолетами, имеющими тяговооруженность меньше, чем у An-124-100, являются A-380 (K>20) и A-340 (K=21,3). Это современные самолеты с высоким качеством планера, оптимизированного с точки зрения уменьшения шума, изготовленные с применением большого количества неметаллических материалов.

В состав их силовых установок входят акустически доработанные современные двигатели с высокой степенью двухконтурности.

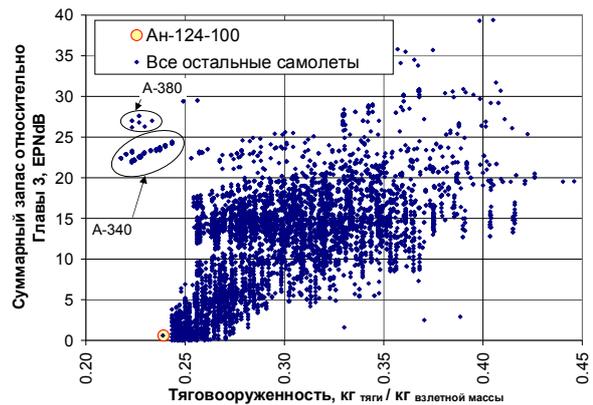


Рис. 9. Сертификационные данные ИКАО самолетов, имеющих Главу 3 и выше по пролетному шуму

Таблица 2

Запасы по нормируемому шуму самолетов Боинг-747 с двигателями фирмы ROLLS-ROYCE

Название точки	min, EPNдБ	max, EPNдБ	Δ, EPNдБ	Δ,%
Сбоку от ВВП	1,9	5,0	3,1	13,7
Набор высоты	0,4	15,3	14,9	65,9
Заход на посадку	-2,0	2,6	4,6	20,4
Σ EPNдБ			22,6	100,0

Тяговооруженность можно увеличить следующим образом:

- уменьшить сертифицируемую взлетную массу самолета;
- применять на самолете модификацию двигателя с повышенной тягой.

Для подтверждения вышесказанного рассмотрим график на рис. 9. Здесь приведена зависимость запасов относительно Главы 3 ИКАО от тяговооруженности при полном режиме работы двигателей для более чем семи тысяч модификаций самолетов с различной взлетной массой и качеством планера, с

Выводы

Снижение пролетного шума не только улучшает экологические характеристики самолета, но и повышает его конкурентоспособность.

К вопросам снижения шума самолетов нужно подходить комплексно – снижать не только шум двигателя, но и остальных его составных частей: планера, механизации крыла, шасси.

Отмена правила компенсации значительно ухудшает вероятность достижения самолетами требований Главы 4 ИКАО. Например, модификации Боинг-747, которые имеют суммарный запас относительно Главы 3 больше 10 EPNдБ, но в какой-либо сертификационной точке этот запас отрицателен, не могут получить сертификат по Главе 4 ИКАО.

В случае, когда при заходе на посадку шум планера превышает шум от двигателя и он больше, чем нормированный Главой 3 шум в этой точке, уменьшение шума двигателя не приводит к уменьшению шума самолета в целом. В такой ситуации получить сертификат по Главе 4 ИКАО можно единственным способом – улучшить акустическую эффективность планера.

## Литература

1. Халецкий, Ю. Д. Экологические проблемы авиации [Текст] / Ю. Д. Халецкий. – М. : ТОРУС ПРЕСС, 2010. – 504 с.

2. Охрана окружающей среды. Приложение 16 к Конвенции о Международной гражданской авиации. [Текст] // *Авиационный шум*. Т. 1. – М. : 999 University Street, Montreal, Quebec, Canada H3C 5H7, 2008. – 224 с.

*Поступила в редакцию 4.06.2015, рассмотрена на редколлегии 22.06.2015*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. С. В. Епифанов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗМЕНШЕННЯ ШУМУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

*А. І. Попуга*

Наведено результати дослідження методів зниження шуму під час прольоту цивільних суден, які використовуються в сучасному двигунобудуванні. До питання зниження шуму літаків треба підходити комплексно – знижувати не тільки шум двигуна, але і решту його складових частин: планеру, механізації крила, шасі. Розглянуто різні підходи до забезпечення норм ІКАО по шуму під час прольоту у вітчизняних та іноземних літакобудівних фірм. Посилення норм ІКАО при сертифікації по шуму під час прольоту (скасування правила «компенсації») призводить до додаткових витрат літако- і двигунобудівних фірм на акустичне доопрацювання літаків і двигунів.

**Ключові слова:** шум під час прольоту, рівень звукового тиску, рівень шуму, що ефективно сприймається, шумозаглушувальні пристрої, поправка на тональність.

## MAIN DIRECTIONS OF REDUCTION OF AIRCRAFT NOISE

*A. I. Popuga*

The results of the research methods to reduce the flyover noise civilian aircraft used in modern aircraft. To reduce aircraft noise issues must be approached comprehensively – to reduce not only the noise of the engine, but also the rest of its components: a glider, high lift system, landing gear. Noted different approaches to standards ICAO-flight noise from domestic and foreign aircraft. Tighter rules for the certification of the ICAO noise-flight (cancellation rules "compensation") leads to additional costs in aircraft and engine companies on the acoustic tuning of aircraft and engines.

**Key words:** span noise, sound pressure level, effective perceived noise level, sound-absorbing device, the tone correction.

**Попуга Андрей Иванович** – вед. конструктор, нач. группы акустических расчетов отдела газодинамических расчетов и перспективных разработок, ГП «Ивченко-Прогресс» Запорожье, Украина e-mail: 03527@ivchenko-progress.com.