

Управление тягой и шумом двигателей сверхзвукового пассажирского самолета на взлете

Мирзоян А.А., Халецкий Ю.Д.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: mirzoyan@ciam.ru

Приведены расчетные оценки уровней шума сверхзвукового пассажирского самолета в сертификационных точках при учете основных источников шума двигателя – вентилятора и реактивной струи. Показано, что в зависимости от степени двухконтурности двигателей расчетные оценки уровней шума СПС на взлете, полученные при использовании программы многорежимного управления тягой двигателей, на 2,3...6,0 ЕРНдБ ниже уровней шума СПС, полученных при использовании программы управления тягой двигателей, традиционно применяемой на дозвуковых пассажирских самолетах.

Ключевые слова: сверхзвуковой пассажирский самолет, программа управления тягой двигателя, степень и темп дросселирования, сертификационные точки самолета по шуму.

Take-off thrust and noise control for supersonic civil transport engines

Mirzoyan A.A., Khaletskii I.D.

CIAM, Moscow

Calculated estimates of the noise levels of a supersonic civil transport at certification points are given, taking into account the main sources of engine noise – a fan and a jet. It is shown that, depending on the bypass ratio of the engines, calculated estimates of the SCT noise levels on takeoff obtained using the multi-mode engine traction control program are 2,3...6,0 EPNdB lower than the SCT noise levels obtained using the engine traction control program traditionally used on subsonic commercial aircraft.

Keywords: supersonic civil transport, engine thrust control program, engine throttle ratio and rate of thrust throttling, aircraft noise certification points.

Введение

При разработке нового поколения сверхзвуковых пассажирских самолетов (СПС) ключевой проблемой является обеспечение экологических требований: к звуковому удару, уровням шума в сертификационных точках на взлете и посадке, эмиссии вредных веществ. Согласно требованиям главы 12 действующего стандарта ИКАО уровни шума СПС в сертификационных точках во взлетно-посадочном цикле должны соответствовать уровням шума дозвуковых самолетов той же взлетной массы, т.е. требованиям главы 14 [1]. Особенности конструкции СПС таковы, что они во взлетно-посадочном цикле генерируют более интенсивный шум, чем дозвуковые самолеты той же массы. Расчетные оценки уровней шума перспективных СПС показали,

что на современном уровне развития авиационных технологий удовлетворить этим требованиям пока невозможно. В САЕР (ICAO Committee on Aviation Environmental Protection) до настоящего времени не выработана общая концепция нового стандарта ИКАО для уровней шума СПС в сертификационных точках.

Отсутствие международного стандарта по шуму СПС, отвечающего реальному состоянию развития авиационных технологий, и ожидание реализации нескольких американских проектов сверхзвуковых самолетов в текущем десятилетии мотивировало США разработать национальные нормы. В марте 2020 г. Федеральное авиационное управление США (FAA) опубликовало предварительный вариант национальных норм на уровни шума для определенного класса СПС в сертификационных точках при взлете и посадке,

линия ограничения для которого проходит ровно посередине между нормами главы 4 и главы 14 стандарта ИКАО [2]. Этот класс СПС ограничен (сверху) максимальной взлетной массой 68 т и крейсерской скоростью, соответствующей числу Маха полета $M = 1,8$, достигаемой вне суши США.

В документе FAA предложены также некоторые изменения существующих эталонных процедур во время сертификации самолетов. Особо оговаривается, что сертификация СПС по шуму в контрольных точках предполагает использование технического оборудования, реализующего новые подходы к снижению шума самолета на местности.

Проведенные в NASA расчеты показывают, что удовлетворение опубликованным FAA ограничениям уровня шума СПС на местности, и тем более выполнение требований Главы 14, не является простой задачей [3; 4]. Для этого, в первую очередь, необходима комплексная оптимизация основных параметров планера и двигателя [5].

В ряде публикаций рассмотрена возможность снижения шума СПС в сертификационных точках на местности при взлете и начальном наборе высоты с помощью одной из регулируемых систем снижения шума (variable noise reduction systems, VNRS) – так называемого многорежимного управления тягой двигателя [3–7]. Дросселирование тяги при начальном наборе высоты оказывает противоречивое влияние на уровень шума в контрольных точках: сбоку от взлетно-посадочной полосы (ВПП) («сбоку от ВПП») и при наборе высоты («набор высоты»). С одной стороны, уровень шума снижается из-за уменьшения скорости реактивной струи и окружной скорости вентилятора; с другой стороны, уровень шума самолета в контрольной точке «набор высоты» повышается, так как уменьшение тяги

делает траекторию начального набора высоты более полой, и, следовательно, уменьшается высота от источника шума (самолета) до точки наблюдения на земле. Поэтому необходимо компромиссное решение для снижения суммарного уровня шума самолета в этих двух контрольных точках.

В настоящей работе приводятся результаты расчетного исследования акустической эффективности использования многорежимного управления тягой двигателя для снижения шума самолета на взлете при учете основных источников шума двигателя – вентилятора и реактивной струи.

Программы исходного и многорежимного управления тягой двигателя

Программа управления тягой двигателя при взлете и начальном наборе высоты, традиционно используемая на дозвуковых пассажирских самолетах, включает в себя два основных режима – взлетный и дроссельный режим набора высоты.

Программа многорежимного управления тягой включает в себя следующие семь основных режимов:

- 1) взлетный режим;
- 2) уменьшение тяги от взлетного до первого дроссельного режима;
- 3) первый дроссельный режим;
- 4) повышение тяги от первого дроссельного до максимального режима набора высоты;
- 5) максимальный режим при наборе высоты;
- 6) уменьшение тяги от максимального до второго дроссельного режима;
- 7) второй дроссельный режим.

На рис. 1 представлены программы исходного и многорежимного управления тягой при взлете

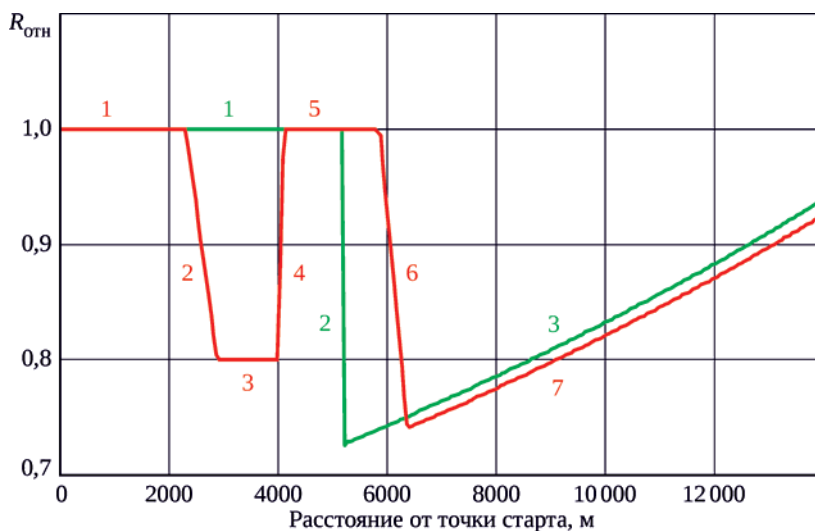


Рис. 1. Программы исходного (зеленая кривая) и многорежимного (красная кривая) управления тягой двигателей при взлете и начальном наборе высоты

$R_{отн} = R/R_{max}$ (R и R_{max} – тяга двигателя на текущем и максимальном режимах) в зависимости от расстояния до точки начала разбега СПС.

Основные значения режимов программы много-режимного управления:

– режим 1 – максимальное уменьшение потребной длины ВПП при разбеге;

– режимы 2–3 – уменьшение шума в контрольной точке «сбоку от ВПП» без существенного уменьшения высоты пролета над контрольной точкой «набор высоты»;

– режимы 4–5 – максимальное повышение высоты пролета над контрольной точкой «набор высоты» (с учетом отсутствия прямого влияния этих режимов на уровень воспринимаемого шума в обеих контрольных точках);

– режимы 6–7 – уменьшение уровня воспринимаемого шума в контрольной точке «набор высоты».

На режимах 1 и 5 тяга поддерживается на максимальном взлетном режиме: $R_{отн(1,5)} = 1,0$.

На режимах 3 и 7 тяга поддерживается на оптимальном дроссельном режиме, обеспечивающем максимальное снижение шума в контрольных точках «сбоку от ВПП» и «набор высоты» с учетом минимальных градиентов набора высоты, ограничиваемых условиями безопасности полета: $R_{отн(3,7)} = opt$ при градиентах набора высоты на режимах 3 и 7 больше минимальных.

На режимах 2, 4 и 6 тяга переводится с $R_{отн(1,3,5)}$, поддерживаемой на режимах 1, 3 и 5 соответственно, на $R_{отн(3,5,7)}$, поддерживаемую на режимах 3, 5 и 7 соответственно, с использованием оптимальных темпов изменения тяги по времени $dR/dt_{(2,4,6)}$ соответственно на режимах 2, 4 и 6.

Для максимального снижения суммарного уровня шума при взлете были выбраны оптимальные значения следующих параметров программы много-режимного управления тягой: расположение точек начала и окончания первого дросселирования на режиме 3 и точки начала второго дросселирования на режиме 7, степень первого и второго дросселирования на режимах 3 и 7, темп изменения тяги на режимах 2, 4 и 6 (см. рис. 1).

Оптимальная степень дросселирования на режимах 2 и 4 определяется влиянием дросселирования на шум двигателя и высоту полета (и, соответственно, на расстояние до контрольной точки), а также ограничением минимального градиента набора высоты, регламентированного сертификационной процедурой [6]. Как видно на рис. 1, оптимальная степень первого дросселирования составила 20% ($R_{отн} = 0,8$), второго – 26% ($R_{отн} = 0,74$), оптимальные расстояния, на которых начинается и заканчивается первое дросселирование и начинается второе дросселирование, равны 2300, 4000 и 5800 м соответственно, оптимальный темп первого

и второго изменения (дросселирования) тяги составляет 15 и 2,5% в минуту.

Сравнение уровней шума СПС при использовании программ исходного и много-режимного управления тягой двигателя

Известно, что современный стандарт ИКАО, глава 14, предъявляет более жесткие требования к дозвуковым коммерческим самолетам, чем действующие ранее нормы глав 3 и 4 [1]. Намерение разработчиков СПС следовать мировой тенденции снижения воздействия авиации на окружающую среду заставляет их рассматривать силовые установки на базе ТРДД с более высокой степенью двухконтурности (m). При этом происходит кардинальное перераспределение значимости источников шума двигателя: доминирование реактивной струи для ТРДД с низкими $m = 0,5 \dots 1,5$ сменяется примерным равенством вкладов вентилятора и струи в общий уровень шума двигателя с умеренными $m = 2,5 \dots 3,5$. Для ТРДД большей степени двухконтурности ($m = 4,0 \dots 5,0$) шум вентилятора становится преобладающим.

Сравнение эффективных уровней воспринимаемого шума в единицах ЕPNдБ при использовании программ исходного и много-режимного управления тягой двигателя выполнено применительно к гипотетическому двухдвигательному СПС делового класса с дальностью полета $L = 7400$ км, пассажироместностью $n = 8$ чел. и длиной ВПП $L_{ВПП} = 2000$ м.

Для этого самолета рассматривалось применение ТРДД с $m = 2,5 \dots 5,0$. При варьировании m выдерживались требования к дальности полета, длине ВПП и пассажироместности. Оптимальный выбор взлетной удельной нагрузки на крыло при этом проводился по критерию минимальной взлетной массы самолета $G_{взл} = \min$.

С целью максимально возможного снижения шума СПС, т.е. чтобы приблизиться к уровням шума, соответствующим требованиям главы 4 с запасом 3...3,5 ЕPNдБ, в данной работе рассматривались двигатели с m до 5,0. При этом очевидно, что необходимо найти компромиссное решение с учетом противоречивых факторов – степени двухконтурности двигателя и его лобового сопротивления.

Удовлетворение заданным требованиям по дальности, пассажироместности и длине ВПП при увеличении m приводит к увеличению взлетной массы самолета ($G_{взл}$), прежде всего из-за роста потребной взлетной тяги ($R_{взл}$) и массы силовой установки ($G_{СУ}$). На рис. 2 показано изменение $G_{взл}$, относительной взлетной тяги и относительной массы силовой установки в зависимости от степени двухконтурности двигателя.

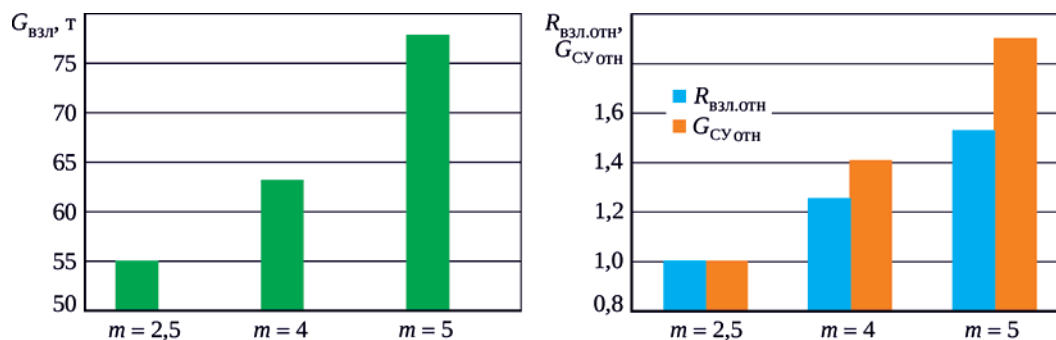


Рис. 2. Основные характеристики самолета и силовой установки при разной степени двухконтурности двигателя ($L = 7400$ км, $n = 8$ чел., $L_{ВПП} = 2000$ м)

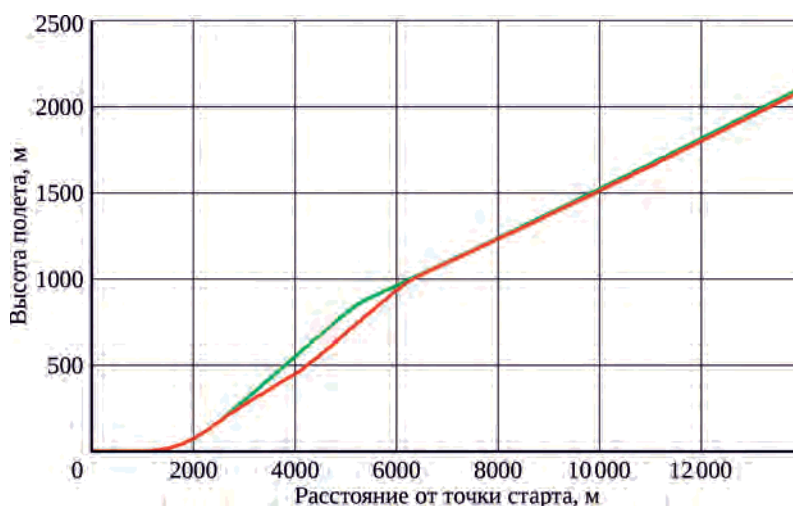


Рис. 3. Траектории полета СПС с ТРДД, $m = 2,5$, при взлете и начальном наборе высоты в случае использования программ исходного (зеленая кривая) и многорежимного (красная кривая) управления тягой

Видно, что при изменении m от 2,5 до 5,0 в случае сохранения дальности полета, пассажироместимости и длины ВПП $R_{взл}$ и $G_{СУ}$ увеличиваются на 57 и 90% соответственно, $G_{взл}$ при этом увеличивается с 55 до 77 т.

В настоящей работе при расчете уровня шума СПС в контрольных точках учитывался вклад двух основных источников шума – реактивной струи и вентилятора. На рис. 3 приведены траектории полета СПС с ТРДД со степенью двухконтурности $m = 2,5$, полученные при использовании исходного и многорежимного управления тягой на взлете и начальном наборе высоты.

Несмотря на то, что первое дросселирование и привело к понижению траектории, удалось восстановить высоту в районе пролета контрольной точки «набор высоты», в основном за счет оптимального выбора параметров программы многорежимного управления тягой: начало, окончание, степень и темп первого дросселирования, а также темп возврата на максимальный режим двигателя.

На рис. 4 представлена сравнительная акустическая эффективность использования программы много-

режимного управления тягой. Изменение уровня шума в контрольной точке «набор высоты» при переходе от программы исходного к программе многорежимного управления тягой не превышает 1 ЕРНдБ, что связано с одинаковыми условиями полета в районе контрольной точки «набор высоты» (см. рис. 1).

Изменение уровня шума в контрольной точке «сбоку от ВПП» составляет 2,6...6,1 ЕРНдБ в зависимости

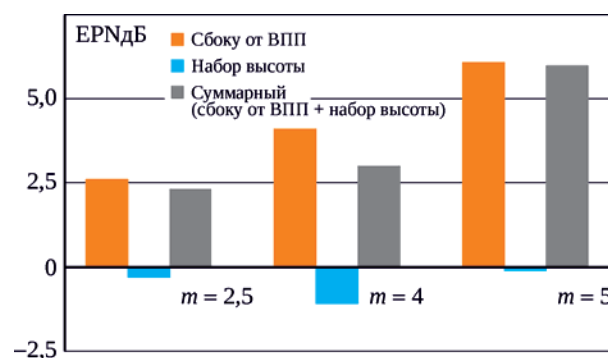


Рис. 4. Выигрыш по уровню шума самолета в контрольных точках на взлете при использовании программы многорежимного управления тягой двигателя

от степени двухконтурности двигателя. Увеличение выигрыша по шуму в контрольной точке «сбоку от ВПП» с ростом m связано с возрастанием вклада шума вентилятора в суммарный шум двигателя и увеличением влияния дросселирования двигателя на шум этого источника.

В итоге изменение суммарного уровня шума при взлете и начальном наборе высоты в случае использования программы многорежимного управления вместо программы исходного управления тягой составило 2,3...6,0 ЕРНдБ в зависимости от степени двухконтурности двигателя.

Заключение

В связи с опубликованием предварительного варианта национального стандарта США на уровни шума сверхзвуковых самолетов в сертификационных точках во взлетно-посадочном цикле, приобретает актуальность использование многорежимного управления тягой двигателя как обязательного метода для снижения уровней шума СПС. Применительно к гипотетическому двухдвигательному СПС делового класса (пассажироместимость 8 чел., дальность полета 7400 км, длина ВПП 2000 м) выполнена сравнительная оценка эффективных уровней воспринимаемого шума при использовании программ исходного (традиционного) и многорежимного управления тягой двигателя. Получены следующие результаты:

– использование программы многорежимного управления тягой при взлете и начальном наборе высоты вместо программы управления, традиционно применяемой на дозвуковых самолетах, в зависимости от степени двухконтурности двигателей приводит к сни-

жению суммарного уровня шума на 2,3...6,0 ЕРНдБ. При этом основной выигрыш по шуму достигается в контрольной точке «сбоку от ВПП», а шум в контрольной точке «набор высоты» удается сохранить практически неизменным;

– для ТРДД при изменении степени двухконтурности от 2,5 до 5,0 при условии сохранения заданных тактико-технических характеристик взлетная масса самолета должна быть увеличена с 55 до 77 т, взлетная тяга – на 57%, масса силовой установки – на 90%;

– оптимальная по шуму при взлете и начальном наборе высоты программа многорежимного управления тягой должна включать оптимальное расположение на траектории двух режимов дросселирования тяги в районе пролета контрольных точек «сбоку от ВПП» и «набор высоты», оптимальные степени и темпы дросселирования, а также режим полета с тягой максимального режима набора высоты между этими контрольными точками;

– оптимальными по шуму параметрами программы многорежимного управления тягой на взлете и начальном наборе высоты являются: степень первого и второго дросселирования – 20% ($R_{отн} = 0,8$) и 26% ($R_{отн} = 0,74$) соответственно; расстояния, на которых начинается и заканчивается первое и начинается второе дросселирование, – 2300, 4000 и 5800 м соответственно; темп первого и второго дросселирования – 15 и 2,5% тяги в минуту.

Исследование программ управления тягой для снижения уровней шума СПС на местности следует продолжить в направлении поиска рациональных программ управления тягой на режимах захода на посадку, а также учета эффекта экранирования шума элементами планера.

Литература / References

1. Охрана окружающей среды: прил. 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. 1. Авиационный шум / Международная организация гражданской авиации. Изд. 7-е. Монреаль: ИКАО, 2014. Okhrana okruzhaiushchei sredy [Environmental Protection]. Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. 1, Aircraft Noise. ICAO, 7th edition, Montreal, 2014.
2. Noise Certification of Supersonic Airplanes: 14 CFR Parts 21 and 36: [Docket no.: FAA-2020-0316; Notice no. 20-06]: RIN 2120-AL29 / Department of Transportation, Federal Aviation Administration // Federal Register. 2020. Vol. 85, no. 71 (April 13). P. 20431–20447.
3. Noise Predictions for a Supersonic Business Jet Using Advanced Take-Off Procedures / J.J. Berton, S.M. Jones, J.A. Seidel, D.L. Huff // The Aeronautical Journal. 2018. Vol. 122, nr 1250. P. 556–571.
4. Advanced Noise Abatement Procedures for a Supersonic Business Jet / J.J. Berton, S.M. Jones, J.A. Seidel and D.L. Huff. 2017. 13 p. (23rd International Symposium on Airbreathing Engines; ISABE-2017-22538).
5. Mirzoyan A.A. Studies on MDO of Engine Design Parameters with Mission, Noise and Emission Criteria at SSBJ Engine Conceptual Design. 2008. 8 p. (26th International Congress of the Aeronautical Sciences).
6. Mirzoyan A.A., Stoufflet B. Environmental Improvement Potentialities of Optimal Takeoff Thrust Management for Twin Engine Low Boom SSBJ Configuration. 2009. (ICAS 2009 Workshop “Aviation and Environment”).

-
7. Mirzoayn A., Khaletskii I. Potentialities of Noise Reduction Using Low Noise Takeoff Thrust Management for Advanced Supersonic Civil Aeroplanes. 2018. 10 p. (22nd Workshop of the Aeroacoustics Specialists Committee of the CEAS). URL: https://www.nlr.org/wp-content/uploads/2018/09/CEAS-p11_Mirzoyan-Khaletskii-Potentialities-of-Noise-Reduction-Using-Low-Noise-Takeoff-Thrust-Management-For-Advanced-Supersonic-Civil-Aeroplanes.pdf.

Материалы получены редакцией 30.03.2020