

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧИСЛА ЛОПАСТЕЙ И ДИАМЕТРА НА ШУМ ВОЗДУШНОГО ВИНТА

© 2016

П. А. Мошков инженер, Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, moshkov89@bk.ru

В. Ф. Самохин доктор технических наук, главный научный сотрудник, Центральный аэрогидродинамический институт имени проф. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский, samohin_vf@mail.ru

В статье представлены результаты расчётно-экспериментального исследования влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта, работающего при числах Рейнольдса свыше 10^6 . Показано, что увеличение числа лопастей при условии сохранения геометрического и аэродинамического подобия винтов, а также постоянстве числа Маха окружной скорости, приводит к существенному снижению шума от аэродинамической нагрузки. При этом шум вытеснения и широкополосный шум увеличиваются незначительно. Предложены выражения, которые могут быть использованы для оценки влияния диаметра и числа лопастей на шум вращения и шум задней кромки воздушного винта при условии постоянства тяги рассматриваемых винтов. Измерения акустических характеристик лёгкомоторных самолётов Як-18Т с двух- и трёхлопастными винтами: МАИ-223М и F30, выполненные на аэродроме базирования малой авиации в статических условиях, качественно подтвердили расчётные оценки влияния диаметра и числа лопастей на шум воздушного винта. Увеличение числа лопастей приводит к заметному снижению акустического КПД винтомоторных силовых установок.

Воздушный винт, шум воздушного винта, шум лёгких самолётов, шум самолётов на местности.

Цитирование: Мошков П.А., Самохин В.Ф. Оценка влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2016. Т. 15, № 3. С. 25-34. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-25-34

Введение

Задача разработки малошумных винтов и аэроакустическая оптимизация уже эксплуатируемых воздушных винтов представляется актуальной и важной на пути решения в гражданской авиации – экологической проблемы, и в военной авиации – проблемы акустической заметности. В последние годы опубликовано значительное число работ по аэроакустической оптимизации воздушных винтов, основанной на численных исследованиях, например [1-7]. Выполнение расчётов с целью поиска оптимальной геометрии винта связано с большими затратами времени на вычисления и рассмотрением большого количества конструктивных вариантов. Поэтому представляет интерес исследование влияния основных параметров воздушного винта, таких как диаметр и число лопастей, на акустические характеристики воздушного винта на основе полуэмпирических моделей шума.

В общем случае снижение шума воздушного винта является достаточно сложной задачей. Решение её основано на оптимизации геометрических, аэродинамических и акустических характеристик воздушного винта. Интенсивность акустического излучения винта при условии сохранения неизменной тяги можно снизить за счёт оптимизации соотношения между числом лопастей, диаметром винта и величиной окружной скорости по критерию минимальной мощности акустического излучения.

Данная работа является продолжением исследований авторами методов снижения шума воздушных винтов и винтомоторных силовых установок (СУ) [8; 9].

На основании работ [10-12] можно сделать следующие выводы о влиянии числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта.

Увеличение числа лопастей воздушного винта при условии сохранения постоянной тяги на взлётном режиме работы приводит к снижению действующей на лопасть аэродинамической нагрузки и, соответственно, к снижению составляющей гармонического шума от аэродинамической нагрузки. В то же время увеличение числа лопастей приводит к увеличению шума от вытеснения. Поэтому на режимах, когда существенную роль играет шум вытеснения, увеличение числа лопастей может привести к увеличению шума винта. Увеличение числа лопастей приводит к смещению частот гармонических составляющих в высокочастотную область и поэтому при оценке шума самолёта на местности в единицах дБА на взлётном, сертифицируемом по шуму на местности, режиме можно не достигнуть существенного эффекта снижения шума.

При увеличении диаметра винта условие сохранения неизменной тяги может быть выполнено либо за счёт некоторого уменьшения угла установки лопастей, либо за счёт снижения величины окружной скорости лопастей, что в любом случае приводит к уменьшению интенсивности гармонической составляющей шума от аэродинамической нагрузки.

Условия выполнения оценки влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта

Оценка влияния диаметра на акустические характеристики винта выполняется при следующих условиях сравнения:

- принцип равенства тяг сравниваемых винтов;
- принцип сохранения аэродинамического подобия (квазипостоянство числа Рейнольдса на относительном радиусе лопасти $\bar{r} = 0,75(Re_{0,75})$);
- условие сохранения законов распределения по размаху лопасти основных геометрических параметров (хорда, крутка и толщина);
- условие постоянства числа Маха окружной скорости воздушных винтов в концевом сечении лопасти ($M_{окр}$).

Ниже проводится оценка влияния числа лопастей и диаметра винта на его акустические характеристики с помощью экспериментального и расчётного методов. Экспериментальный метод основан на сравнительном анализе измеренных в статических условиях акустических характеристиках силовых установок самолёта Як-18Т различных модификаций и самолётов МАИ-223М и F30 [13-15] (табл. 1). Воздушные винты рассматриваемых самолётов отличаются числом лопастей и диаметрами. Расчётная оценка базируется на полуэмпирическом методе расчёта шума воздушных винтов для оценки тональных составляющих [16; 17], а для оценки широкополосного шума используется модель шума задней кромки, представленная в работах [18-20].

Таблица 1. Основные параметры воздушных винтов исследуемых самолётов Як-18Т, МАИ-223М и F30

| Самолёт | Як-18Т | Як-18Т | МАИ-223М | F30 |
|----------------------|--------|--------|--------------|--------------|
| Двигатель | М-14П | М-14П | ROTAX-912ULS | ROTAX-912ULS |
| Число лопастей винта | 3 | 2 | 3 | 3 |
| Диаметр винта, м | 2,5 | 2,4 | 1,8 | 1,74 |

Расчётная оценка влияния числа лопастей и диаметра винта на его звуковую мощность

Согласно полуэмпирической модели шума воздушного винта [16; 17], составляющие шума винта от аэродинамической нагрузки (W_P) и от вытеснения (W_{u_n}) можно рассчитать, используя нижеприведённые выражения для звуковой мощности данных источников.

Для шума от аэродинамической нагрузки:

$$W_P = c_1 \frac{\rho a^3}{c_0^3} \left[\alpha^2 + \frac{\beta}{(2\pi r)^2} \right] \frac{M_{окр}^2}{z^3 b_s} n^6 d^8. \quad (1)$$

Для шума вытеснения:

$$W_{u_n} = c_2 \frac{\rho a^3}{c_0^3} \left(1 + \frac{M_{II}^2}{M_{окр}^2} \right) \left(1 - \frac{\sin(2\pi a M_{окр} z^{-1})}{2\pi a M_{окр} z^{-1}} \right) \frac{1}{b_s} n^4 d^6 z a^{-2} s^{-2}. \quad (2)$$

Здесь $M_{окр}$ – число Маха окружной скорости воздушного винта, M_{II} – число Маха полёта; α – коэффициент тяги; β – коэффициент мощности; c_1, c_2 – эмпирические коэффициенты пропорциональности; d – диаметр винта, м; a – максимальная толщина аэродинамического профиля лопасти на эффективном радиусе, м; \bar{a} – относительная толщина профиля лопасти; \bar{s} – коэффициент развёрнутой площади лопасти; \bar{r} – относительный радиус винта; c_0 – скорость звука, м/с; z – число лопастей; b_s – хорда лопасти в эффективном сечении, м; ρ – плотность воздуха, кг/м³; n – частота вращения воздушного винта, об/с.

Широкополосный шум можно оценить, используя выражение для спектральных третьоктавных уровней $SPL_{шур}(f)$ [18-20] так называемого шума задней кромки, предположительно являющегося доминирующим в широкополосном шуме тянущих воздушных винтов:

$$SPL_{шур}(f) = 10 \lg \left(u_{окр}^5 z \Phi \frac{\delta l}{R^2} \left(\frac{St}{St_{max}} \right)^4 \left(\left(\frac{St}{St_{max}} \right)^{1,5} + 0,5 \right)^{-4} \right) + K_b, \quad (3)$$

где δ – толщина пограничного слоя, м; $K_b=0$ – коэффициент масштабирования [19]; Φ – фактор направленности; $u_{окр}$ – окружная скорость воздушного винта, м/с; l – длина элемента лопасти, м; R – расстояние от источника до наблюдателя, м; $St = \frac{f \delta}{u}$ – число

Струхаля; $St_{max} = 0,1$ [19].

Отметим, что лопасти рассматриваемых винтов являются геометрически подобными, а режимы работы винтов соответствуют автомодельным режимам. В этом случае, используя выражения (1) и (2), можно, при выполнении условия постоянства тяги, оценить влияние числа лопастей и диаметра на звуковую мощность тональных составляющих шума вращения воздушного винта от аэродинамической нагрузки и от вытеснения, а также на шум задней кромки.

Основным условием сравнения акустических характеристик двух винтов является равенство их тяг на сходственных режимах работы:

$$\frac{z_2 \alpha_2 n_2^2 d_2^4}{z_1 \alpha_1 n_1^2 d_1^4} = 1. \quad (4)$$

Для составляющей шума вращения винта от аэродинамической нагрузки отношение мощностей акустического излучения винтов самолётов на основании выражений

(1) и (4) и с учётом равенства окружных скоростей ($\pi d_1 n_1 = \pi d_2 n_2$) и геометрического подобия профилей лопастей будет равно:

$$\frac{W_{\bar{p}2}}{W_{\bar{p}1}} = \frac{\alpha_2^2 M_{окр2}^2 n_2^6 d_2^8 z_1^3}{\alpha_1^2 M_{окр1}^2 n_1^6 d_1^8 z_2^3} = \frac{d_1^2 z_1^5}{d_2^2 z_2^5}. \quad (5)$$

Для составляющей шума вращения винта от вытеснения отношение мощностей акустического излучения винтов самолётов будет равно:

$$\frac{W_{u_{n2}}}{W_{u_{n1}}} = \frac{(M_{окр2}^2 + M_{n2}^2) n_2^4 d_2^6 z_2}{(M_{окр1}^2 + M_{n1}^2) n_1^4 d_1^6 z_1} = \frac{(M_{окр2}^2 + M_{n2}^2) d_2^2 z_2}{(M_{окр1}^2 + M_{n1}^2) d_1^2 z_1}. \quad (6)$$

Таким образом, получаем расчётное изменение уровня звуковой мощности шума от аэродинамической нагрузки:

$$\Delta L_{W_{\bar{p}}} = L_{W_{\bar{p}2}} - L_{W_{\bar{p}1}} = 20 \lg \frac{d_1}{d_2} + 50 \lg \frac{z_1}{z_2}. \quad (7)$$

Для шума вытеснения:

$$\Delta L_{W_{u_n}} = L_{W_{u_{n2}}} - L_{W_{u_{n1}}} = 20 \lg \frac{d_2}{d_1} + 10 \lg \frac{z_2}{z_1} + 10 \lg \frac{(M_{окр2}^2 + M_{n2}^2)}{(M_{окр1}^2 + M_{n1}^2)}. \quad (8)$$

Для шума вытеснения в статических условиях с учётом равенства окружных скоростей при числе Маха полёта $M_{\Pi} = 0$:

$$\Delta L_{W_{u_n}} = L_{W_{u_{n2}}} - L_{W_{u_{n1}}} = 20 \lg \frac{d_2}{d_1} + 10 \lg \frac{z_2}{z_1}. \quad (9)$$

Для шума задней кромки:

$$SPL_{шур2} - SPL_{шур1} = 10 \lg \frac{z_2}{z_1}. \quad (10)$$

Отметим, что выражения (7) – (10) справедливы только при условиях сравнения, указанных выше.

Экспериментальные исследования влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта

На рис. 1 представлено сравнение измеренных суммарных уровней звуковой мощности СУ самолётов Як-18Т с двух- и трёхлопастными винтами при условии сохранения равенства тяги при одинаковых окружных скоростях. Поскольку на самолётах устанавливается один и тот же двигатель М-14П, то считаем, что на сходственных режимах работы роль поршневого двигателя будет одинаковой для обоих СУ. Поэтому рис. 1 характеризует влияние числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта. Можно видеть, что при пониженных режимах работы ($M_{окр} \sim 0,5$) увеличение числа лопастей приводит к существенному снижению шума силовой установки на величину до 5 дБ. При повышенных режимах работы роль шума вытеснения в суммарном шуме воздушного винта возрастает и поэтому суммарное снижение шума за счёт увеличения числа лопастей и диаметра становится 2 дБ при $M_{окр} > 0,7$.

Для воздушного винта самолёта Як-18Т расчётное суммарное снижение шума от аэродинамической нагрузки при увеличении числа лопастей и диаметра составляет 9 дБ, что согласуется с экспериментальными данными при пониженных режимах работы. Для шума вытеснения расчётное увеличение за счёт увеличения числа лопастей и диаметра составляет 2 дБ. Для шума задней кромки расчётное увеличение за счёт увеличения числа лопастей составляет 2 дБ, но ожидаемая роль этого излучения в суммарном шуме силовой установки невелика [9].

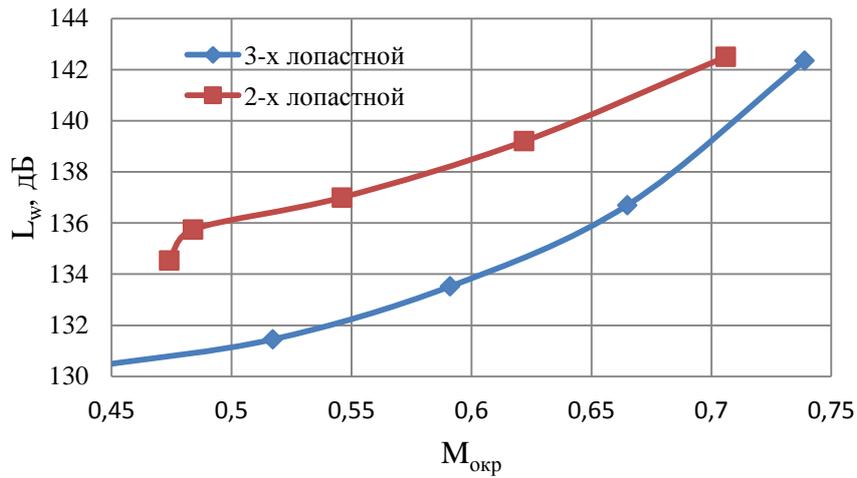


Рис. 1. Сравнение измеренных суммарных уровней звуковой мощности СУ самолёта Як-18Т с двух- и трёхлопастными винтами в зависимости от числа Маха окружной скорости

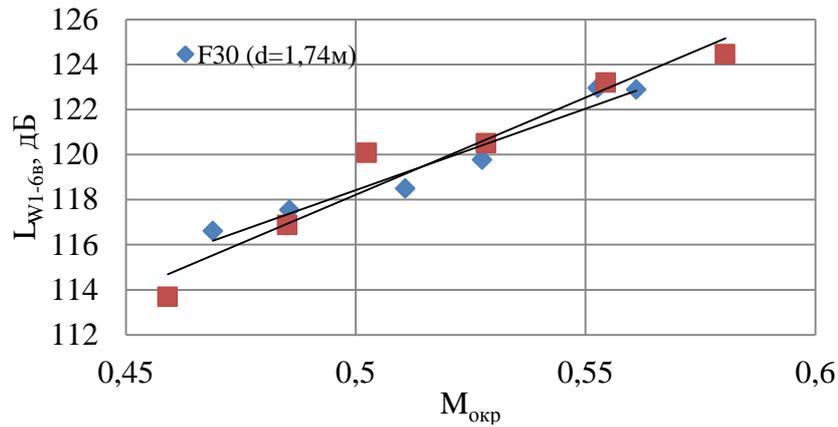


Рис. 2. Сравнение измеренных суммарных уровней звуковой мощности первых шести гармоник шума вращения для винтов самолётов МАИ-223М и F30 в зависимости от числа Маха окружной скорости

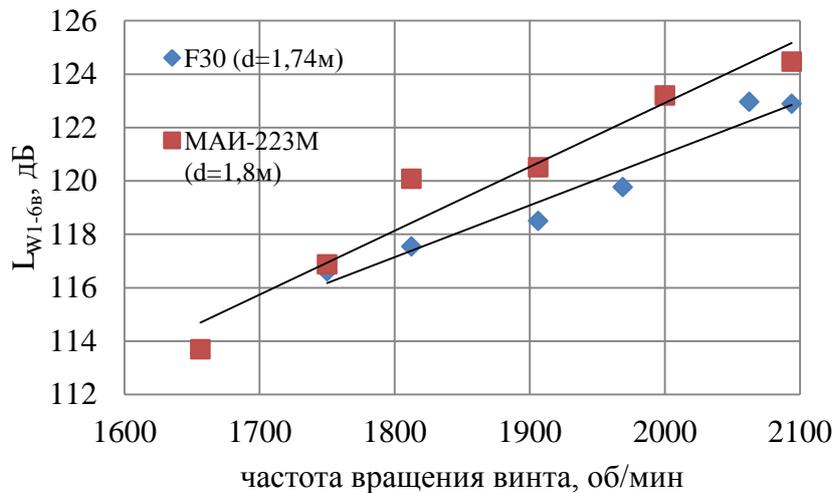


Рис. 3. Сравнение измеренных суммарных уровней звуковой мощности первых шести гармоник шума вращения для винтов самолётов МАИ-223М и F30 в зависимости от частоты вращения винта

Отметим, что экспериментальные данные (рис. 1) хорошо согласуются с расчётным исследованием, выполненным по модели Л.Я. Гутина [21; 22] и представленным в работе [23].

На основе экспериментальных данных об акустических характеристиках самолётов МАИ-223М [24] и F30 (табл. 1) можно определить влияние диаметра на шум воздушного винта. На рис. 2 представлено сравнение измеренных суммарных уровней звуковой мощности первых шести гармоник шума вращения для винтов самолётов МАИ-223М и F30 в зависимости от числа Маха окружной скорости.

Согласно (7) увеличение диаметра должно приводить к снижению тонального шума от аэродинамической нагрузки на 0,3 дБ, что согласуется с экспериментальными данными при числах Маха менее 0,5. При числах Маха свыше 0,5 винт меньшего диаметра является менее шумным, чем винт большего диаметра, поскольку при повышенных режимах работы существенную роль в суммарном гармоническом шуме начинает играть шум вытеснения. При уменьшении диаметра на 0,06 м шум вытеснения должен уменьшиться на 0,3 дБ согласно (9).

Представляет интерес сравнение данных о влиянии диаметра на шум винта либо при постоянном числе Маха окружной скорости, либо при постоянной частоте вращения винтов. Исследование влияния диаметра на шум воздушного винта при постоянной частоте вращения было выполнено в [8] (рис. 3). Можно видеть, что при данном сравнении уменьшение диаметра приводит при повышенных режимах работы к снижению суммарного уровня звуковой мощности первых шести гармоник на 2 дБ. При этом расчётное снижение шума от аэродинамической нагрузки при постоянстве частоты вращения винтов составляет 1,2 дБ [8]. Оба графика (рис. 2, 3) качественно согласуются с расчётными соотношениями при условиях постоянства числа Маха окружной скорости и постоянства частоты вращения. Более показательным было бы выполнение сравнения винтов в зависимости от тяги, но получить такие данные в условиях натурных испытаний легкомоторных самолётов на аэродроме не представлялось возможным.

Влияние числа лопастей на акустический коэффициент полезного действия винтомоторных силовых установок

Наиболее общей характеристикой источника акустического излучения аэродинамического типа является акустический КПД ($\eta_{ак}$) – относительная мера количества механической энергии силовой установки, излучаемой в виде акустической энергии:

$$\eta_{ак} = \frac{W_{СУ}}{N_e} 100\% , \quad (11)$$

где $W_{СУ}$ – суммарная мощность акустического излучения СУ; N_e – эффективная (располагаемая) мощность СУ.

Представляет интерес оценить влияние числа лопастей на акустический КПД СУ. На величину акустического КПД винтомоторной СУ могут влиять и другие факторы, такие как наличие глушителей шума впуска и выхлопа, капотирование и тактность двигателя. В то же время незначительные изменения диаметра винта не должны существенно влиять на акустический КПД СУ, поскольку он является основным параметром при подборе винта к двигателю и существует определённая связь между диаметром винта и располагаемой мощностью СУ.

В табл. 2 представлены данные об акустическом КПД винтомоторных силовых установок самолётов Ан-2 с четырёхлопастным винтом [25], Як-18Т с двухлопастным [26] и с трёхлопастным винтами, рассчитанном для взлётно-го режима работы двигателей. Представленные в табл. 2 зависимости акустического КПД от числа лопастей являются корректными, поскольку в состав СУ рассматриваемых самолетов входят схожие по удельным характеристикам двигателя: 9-цилиндровые звёздообразные, воздушного охлаждения, без глушителей шума выхлопа.

Можно видеть, что увеличение числа лопастей в целом приводит к снижению акустического КПД винтомоторных силовых установок.

Таблица 2. Акустический КПД СУ самолётов Ан-2, Як-18Т с двух- и трёхлопастными винтами для максимального режима работы СУ

| Самолёт | Ан-2 | Як-18Т | Як-18Т |
|---------------------------------|---------|--------|--------|
| Двигатель | АШ-62ИР | М-14П | М-14П |
| Число лопастей воздушного винта | 4 | 3 | 2 |
| Акустический КПД, % | 0,055 | 0,065 | 0,15 |

Заключение

В результате выполненного расчётно-экспериментального исследования влияния числа лопастей и диаметра на шум воздушного винта установлено следующее.

Аэроакустическая оптимизация воздушного винта путём увеличения числа лопастей и изменения диаметра достигается в первую очередь за счёт снижения шума от аэродинамической нагрузки при увеличении числа лопастей.

Экспериментально установлено, что увеличение числа лопастей приводит к снижению акустического КПД винтомоторных силовых установок.

Представляет интерес выполнение подобных расчётных исследований с учётом реальных геометрических и аэродинамических характеристик воздушных винтов в условиях взлёта, а также на режимах крейсерского полёта.

Библиографический список

1. Зленко Н.А., Кедров А.В., Кишалов А.Н. Оптимальное аэроакустическое проектирование воздушного винта // Ученые записки ЦАГИ. 2011. Т. XLII, № 6. С. 92-103.
2. Кедров А.В., Кишалов А.Н. К постановке задачи аэроакустического проектирования винта // Труды ЦАГИ. 1989. Вып. 2508. С. 46-54.
3. Gur O., Rosen A. Optimization of propeller based propulsion system // 49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Schaumburg (USA), 2008. DOI:10.2514/6.2008-1977
4. Gur O., Rosen A. Multidisciplinary design optimization of a quiet propeller // 14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (29th AIAA Aeroacoustics Conference). Vancouver (Canada), 2008. DOI:10.2514/6.2008-3073
5. Pagano A., Frederico L., Barbarino M., Aversano M. Multi-objective aeroacoustic optimization of an aircraft propeller // 12th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference. Victoria (Canada), 2008. DOI: 10.2514/6.2008-6059

6. Pagano A., Barbarino M., Casalino D., Frederico L. Tonal and broadband noise calculations for aeroacoustic optimization of propeller blades in a pusher configuration // 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference. Miami (USA), 2009. DOI: 0.2514/6.2009-3138
7. Lefebvre T., Canard S., Le Tallec C., Beaumier P., David F. ANIBAL: A new aeroacoustic optimized propeller for light aircraft applications // 27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences 2010, ICAS 2010. 2010. V. 4. P. 2705-2719.
8. Мошков П.А., Самохин В.Ф. Оценка влияния диаметра воздушного винта на акустические характеристики силовой установки лёгкого самолёта // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнёва. 2016. Т. 17, № 1. С. 154-160.
9. Мошков П.А. Прогнозирование и снижение шума на местности лёгких винтовых самолётов. Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2015. 143 с.
10. Hubbard H.H. Aeroacoustics of flight vehicles: Theory and Practice. V. 1: Noise sources. NASA References Publication 1258, 1991.
11. Hanson D.B. Influence of propeller design parameters on far field harmonic noise in forward flight // AIAA Journal. 1980. V. 18, Iss. 11. P. 1313-1319. DOI: 10.2514/3.50887
12. Standard AIR 1407. Prediction procedure for near-field and far-field propeller noise. SAE International, 1977. 21 p.
13. Руководство по технической эксплуатации самолёта «МАИ-223М». М.: Московский авиационный институт, 2013. 138 с.
14. Лапшин А.М., Анохин П.И. Авиационный двигатель М-14П: уч. пособие для лётных училищ. М.: Транспорт, 1976. 228 с.
15. Flight manual. «F30 Brio». F. G. model. 147 p.
16. Самохин В.Ф. Об одном подходе к расчёту дальнего акустического поля воздушного винта // Труды ЦАГИ. 1988. Вып. 2355. С. 65-75.
17. Самохин В.Ф. Полуэмпирический метод прогноза шума воздушного винта // Инженерно-физический журнал. 2012. Т. 85, № 5. С. 1064-1072.
18. Brooks T.F., Pope D.S., Marcolini M.A. Airfoil self-noise and prediction. NASA References Publication 1218, 1989.
19. Hubbard H.H., Shepard K.P. Wind Turbine Acoustics. NASA Technical Paper 3057, 1990.
20. Leslie A, Wong K.C., Auld D. Broadband noise reduction on a mini-UAV propeller // 14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (29th AIAA Aeroacoustics Conference). Vancouver (Canada), 2008. DOI: 10.2514/6.2008-3069
21. Гутин Л.Я. О звуковом поле вращающегося винта // Журнал технической физики. 1936. Т. 6, № 5. С. 899-909.
22. Гутин Л.Я. О звуке вращения воздушного винта // Журнал технической физики. 1942. Т. 12, № 2-3. С. 76-85.
23. Авиационная акустика / под ред. А.Г. Мунина, В.Е. Квитки. М.: Машиностроение, 1973. 448 с.
24. Мошков П.А. Некоторые результаты экспериментального исследования акустических характеристик силовой установки сверхлёгкого самолёта в статических условиях // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 265-270.
25. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Экспериментальное исследование акустических характеристик силовой установки самолёта «Ан-2» в статических условиях // Труды МАИ. 2015. № 82. С. 17.
26. Самохин В.Ф., Мошков П.А. Акустические характеристики лёгкого винтового самолёта с двигателем внутреннего сгорания // Труды МАИ. 2012. № 57. С. 6.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE NUMBER OF BLADES AND DIAMETER ON PROPELLER NOISE

© 2016

- P. A. Moshkov** engineer, Central Institute of Aerohydrodynamics named after N.E. Zhukovsky, Zhukovsky, Russian Federation, moshkov89@bk.ru
- V. F. Samokhin** Doctor of Science (Engineering), Senior Research Associate, Central Institute of Aerohydrodynamics named after N.E. Zhukovsky, Zhukovsky, Russian Federation, samohin_vf@mail.ru

The article presents the results of computational and experimental research of the effect of the number of blades and the diameter on the noise of the propeller operating at Reynolds numbers of more than 106. It is shown that an increase in the number of blades while maintaining the aerodynamic and geometric similarity of the propellers and constant Mach number of the circumferential velocity leads to significant reduction of aerodynamic load noise. At the same time the displacement noise and the broadband noise increase insignificantly. Expressions are proposed that can be used to assess the effect of the diameter and the number of blades on the tonal noise and the noise of the trailing edge of the propeller provided the propeller thrust is constant. Measurements of the acoustic characteristics of light aircraft Yak-18T with two- and three-bladed propellers, MAI-223M and the F30, performed at the local aerodrome in static conditions qualitatively confirmed the estimates of the effect of the diameter and number of blades on the propeller noise. Increasing the number of blades leads to a noticeable decrease in the acoustic efficiency of engine-propeller power plants.

Propeller, propeller noise, light aircraft noise, aircraft community noise.

Citation: Moshkov P.A., Samokhin V.F. Evaluation of the influence of the number of blades and diameter on propeller noise. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2016. V. 15, no. 3. P. 25-34. DOI: 10.18287/2541-7533-2016-15-3-25-34

References

1. Zlenko N.A., Kedrov A.V., Kishalov A.N. Optimal Aeroacoustic Propeller Design. *TsAGI Science Journal*. 2011. V. 42, Iss. 6. P.829-844. DOI: 10.1615/TsAGISciJ.2012004802
2. Kedrov A.V., Kishalov A.N. Formulation of the propeller aeroacoustic design problem. *Trudy TsAGI*. 1989. Iss. 2508. P. 46-54. (In Russ.)
3. Gur O., Rosen A. Optimization of propeller based propulsion system. *49th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*. Schaumburg (USA), 2008. DOI:10.2514/6.2008-1977
4. Gur O., Rosen A. Multidisciplinary design optimization of a quiet propeller. *14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (29th AIAA Aeroacoustics Conference)*. Vancouver (Canada), 2008. DOI:10.2514/6.2008-3073
5. Pagano A., Frederico L., Barbarino M., Aversano M. Multi-objective aeroacoustic optimization of an aircraft propeller. *12th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference*. Victoria (Canada), 2008. DOI: 10.2514/6.2008-6059
6. Pagano A., Barbarino M., Casalino D., Frederico L. Tonal and broadband noise calculations for aeroacoustic optimization of propeller blades in a pusher configuration. *15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. Miami (USA), 2009. DOI: 10.2514/6.2009-3138
7. Lefebvre T., Canard S., Le Tallec C., Beaumier P., David F. ANIBAL: A new aeroacoustic optimized propeller for light aircraft applications. *27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences 2010, ICAS 2010*. 2010. V. 4. P. 2705-2719.
8. Moshkov P.A., Samokhin V.F. Evaluation of the influence of diameter propeller on the acoustics characteristic of the power plant by the light aircraft. *Vestnik SibGAU*. 2016. V. 17, no. 1. P. 154-160. (In Russ.)

9. Moshkov P.A. *Prognozirovanie i snizhenie shuma na mestnosti legkikh vintovykh samoletov. Diss. ... cand. tekhn. nauk* [Prediction and reduction of light propeller-driven aircraft community noise. Cand. Sci. (Eng.) Diss.]. Moscow, 2015. 143 p.
10. Hubbard H.H. *Aeroacoustics of flight vehicles: Theory and Practice. V. 1: Noise sources*. NASA References Publication 1258, 1991.
11. Hanson D.B. Influence of propeller design parameters on far field harmonic noise in forward flight. *AIAA Journal*. 1980. V. 18, Iss. 11. P. 1313-1319. DOI:10.2514/3.50887
12. Standard AIR 1407. Prediction procedure for near-field and far-field propeller noise. SAE International, 1977. 21 p.
13. *Rukovodstvo po tekhnicheskoy ekspluatatsii samoleta «MAI-223M»* [Operations manual for «MAI-223 M» aircraft]. Moscow. Moscow Aviation Institute Publ., 2013. 138 p.
14. Lapshin A.M., Anokhin P.I. *Aviatsionnyy dvigatel' M-14P: uch. posobie dlya letnykh uchilishch* [Aircraft engine M-14P: Manual for flight schools]. Moscow: Transport Publ., 1976. 228 p.
15. Flight manual. «F30 Brio». F. G. model. 147p.
16. Samokhin V.F. An approach to the calculation of the propeller distant acoustic field. *Trudy TsAGI*. 1988. Iss. 2355. P. 65-75. (In Russ.)
17. Samokhin V.F. Semiempirical method for estimating the noise of a propeller. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2012. V. 85, no. 5. P. 1157-1166. DOI: 10.1007/s10891-012-0758-y
18. Brooks T.F., Pope D.S., Marcolini M.A. Airfoil self-noise and prediction. NASA References Publication 1218, 1989.
19. Hubbard H.H., Shepard K.P. Wind Turbine Acoustics. NASA Technical Paper 3057, 1990.
20. Leslie A, Wong K.C., Auld D. Broadband noise reduction on a mini-UAV propeller. *14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. Vancouver (Canada), 2008. DOI: 10.2514/6.2008-3069
21. Gutin L.Ya. Acoustic field of a rotating propeller. *Soviet physics: Technical Physics*. 1936. V. 6, no. 5. P. 899-909.
22. Gutin L.Ya. The sound of propeller rotation. *Soviet physics: Technical Physics*. 1942. V. 12, no. 2-3. P. 76-85.
23. *Aviatsionnaya akustika / pod red. A.G. Munina, V.E. Kvitki* [Aviation acoustics. / ed. by A.G. Munin, V.E. Kvitka]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1973. 448 p.
24. Moshkov P.A. Some results of the experimental research of acoustical characteristics power plant extralight aircraft in static conditions. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2014. No. 6. P. 265-270. (In Russ.)
25. Samokhin V.F., Moshkov P.A. Experimental research of acoustical characteristics by power plant of aircraft «An-2» in static conditions. *Trudy MAI*. 2015. No. 82. P. 17. (In Russ.)
26. Samokhin V.F., Moshkov P.A. Acoustic characteristics of an easy propeller airplane with internal combustion engines. *Trudy MAI*. 2012. No. 57. P. 6. (In Russ.)