

УДК 534.836.2:629.735.036.34 (045)

*Проведено розрахунок залежності акустичних і аеродинамічних характеристик лопаточного вінця вентилятора ГТД від геометрії лопаток. Розглянуто варіанти вентилятора з різними кутами нахилу передньої і задньої кромки лопаток відносно перпендикуляра осі двигуна*

*Ключові слова: акустичні характеристики, вентилятор, обчислювальний експеримент*

*Проведен расчет зависимости акустических и аэродинамических характеристик лопаточного венца вентилятора ГТД от геометрии лопаток. Рассмотрены варианты вентилятора с различными углами наклона передней и задней кромки лопаток относительно перпендикуляра оси двигателя*

*Ключевые слова: акустические характеристики, вентилятор, вычислительный эксперимент*

*Calculation of dependence of acoustic and aerodynamic characteristics of a blade crown of turbine engine fan from geometry of the fan blades is carried out. The variants with different fan angles front and rear edge of the blades on the perpendicular axis of the engine are considered*

*Keywords: acoustic characteristics, the fan, computing experiment*

# ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ, КОНСТРУКЦИОННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛОПАТОЧНОГО ВЕНЦА НА АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ СТУПЕНИ

**Е. В. Дорошенко**

Аспирант

Кафедра авиационных двигателей

Аэрокосмический институт Национального авиационного университета

просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03058

Контактный тел.: 068-351-30-39

E-mail: Kiki\_ua@ukr.net

## 1. Введение

При проектировании и создании авиационных двигателей одной из важных задач является проблема снижения шума. Для акустического совершенствования авиадвигателей требуется понимание физических процессов генерации шума, а также выявление основных факторов, определяющих его уровень. Для современных двухконтурных авиационных двигателей с большой степенью двухконтурности, значительный вклад в суммарный уровень шума на всех режимах работы вносит шум вентиляторной ступени.

Шум вентилятора обусловлен источниками аэродинамического происхождения, которые связаны с преобразованием части энергии потока в энергию гидродинамических возмущений. В основе аэродинамического шума вентилятора турбореактивного двигателя лежат детерминированные и случайные процессы, характеризующие силовое взаимодействие лопаток рабочего колеса с потоком воздуха. Это взаимодействие осуществляется в процессе преобразования энергии вращения лопаток рабочего колеса в энергию движения среды через рабочее колесо. Для оценки шума в настоящее время существует несколько подходов. С полужемпирическими теориями можно ознакомиться в [1,2]. Очень интересную методику

предлагают японские ученые, суть которой заключается в том, что лопатка рассматривается как дипольный акустический источник, характеристикой которого является разность давлений между спинкой и корытом [3]. Одним из основных подходов определения уровня шума является решение уравнения Фокс Вильямса – Хоукинга [4].

Приведены результаты расчетного исследования влияния аэродинамических и конструктивных особенностей лопаточного венца рабочего колеса на акустические характеристики вентиляторной ступени. Расчет проводился на основе трехмерного газодинамического моделирования течения в вентиляторной ступени, акустические характеристики считаются с помощью уравнения Фокс Вильямса – Хоукинга.

## 2. Вычислительный эксперимент

### 2.1. Методика расчета

Шум вентилятора зависит от многих факторов. Одним из основных является конструкция вентиляторной ступени. В данной работе рассматривалось влияние геометрии лопатки на акустические характеристики вентиляторной ступени. Методика расчета будет разбита на несколько этапов:

- а) построение геометрической модели
- б) построение сетки
- в) задание начальных условий (граничных)
- г) газодинамический расчет
- д) расчет шума вентиляторной ступени.

Лопатка рассматривается как дипольный источник шума [4]. В то же время она является также монополюсным и квадрупольным акустическим источником. Это следует из уравнения Фокс Вильямса Хоукинга:

$$\rho = \frac{1}{4\pi c_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \int_V \frac{T_{ij} dV}{r} + \frac{1}{4\pi c_0^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \int_S \frac{\rho u_i u_n + p_i}{r} dS - \frac{1}{4\pi c_0^2} \int_S \frac{\partial}{\partial t} (\rho u_n) \frac{dS}{r}$$

где объемный интеграл соответствует источникам типа квадруполь, распределенным по объему поля течения вдали от жесткой границы; второй интеграл описывает излучение источниками типа диполь, распределенными по обтекаемой поверхности S, эти источники определяются пульсациями давления и вязкими напряжениями; третий интеграл описывает акустическое излучение источниками монополюсного типа, которые расположены на поверхности S и отражают собой вытеснение среды из области пространства, обусловленное движением поверхности S.

Для оценки аэродинамических характеристик лопатки проведено численное решение полной системы уравнений Навье – Стокса с использованием модели турбулентности SST.

**2.2 Объект исследования**

В качестве объекта исследования был взят прототип вентиляторной ступени авиационного двигателя Д-436 (рис. 1). Для всех исследованных вентиляторных ступеней с разной геометрией лопатки были использованы одинаковые входные параметры: расход воздуха, скорость вращения, одинаковые углы входа и выхода потока, и одинаковый профиль.

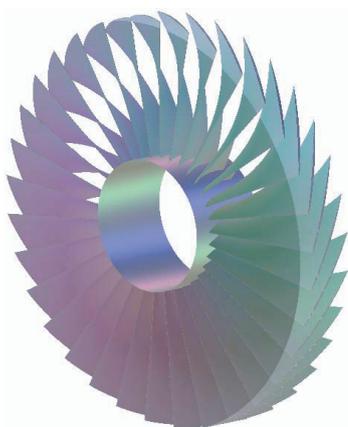


Рис. 1. Трехмерная модель исследуемой вентиляторной ступени

Варианты № 1-8 были получены путем различного изменения наклона передней и задней кромки лопатки относительно перпендикуляра оси двигателя. Геометрия всех вариантов лопаток вентилятора представлена на рис. 2.

Вариант №1, №2, №3, №4 получены путем наклона передней и задней кромки лопатки на 5°, 10°, 15°, 20° в направлении от перпендикуляра оси двигателя соответственно; варианты №5, №6, №7, №8 получены путем наклона передней и задней кромки лопатки на -5°, -10°, -15°, -20°, в направлении от перпендикуляра оси двигателя соответственно.

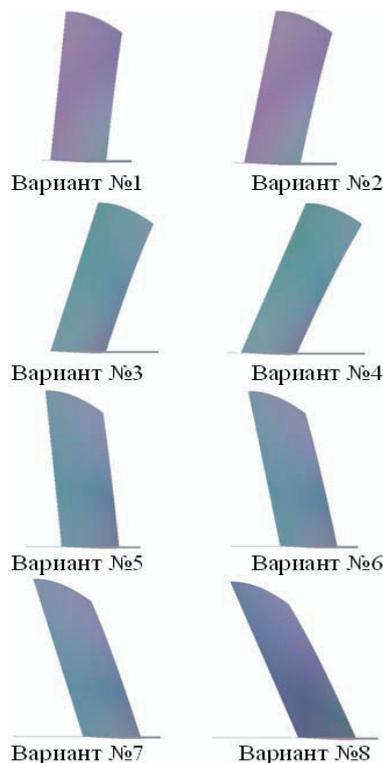


Рис. 2. Исследуемые формы лопаток вентилятора

**2.3 Газодинамические расчеты**

Для возможности корректно поставить условия периодичности расчетная область состоит из межлопаточного канала и лопатки ротора (рис. 3). Для рассматриваемых вариантов были построены расчетные сетки одинаковой топологии и размерности, содержащие порядка 1 – 1,4 млн. узлов, а затем проведены трехмерные газодинамические расчеты в пакете CFX-5.7. Данный пакет основан на методе контрольных объемов. Для моделирования турбулентности использовалась стандартная SST модель.



Рис. 3. Расчетная область

Для расчета акустических источников использовано уравнение Фокс Вильямса – Хоукингса.

### 3. Анализ результатов

Результаты расчетов представлены на рис. 4-6. Все варианты вентиляторной ступени имеют достаточно высокий КПД (рис. 4), однако варианты №1,2 и 6 имеют наибольшие значения КПД, а №4 и 8 – наиболее низкие. Из графика изменения значений акустических источников (рис. 5-6) прослеживается тенденция уменьшения квадрупольного источника у вариантов №5-8, имеющих лопатки с отрицательным углом наклона в направлении от перпендикуляра оси двигателя.

С акустической точки зрения также интересен вариант №3. Он имеет наименьшее значение дипольного источника, но наибольшее значение квадрупольного источника. И если следовать дипольной теории шума [1,4], то этот вариант из исследуемых вариантов является самым лучшим с точки зрения акустической эмиссии.

Однако существует еще и квадрупольная теория шума [1,4], и в этом случае вариант №5 является наиболее предпочтительным.

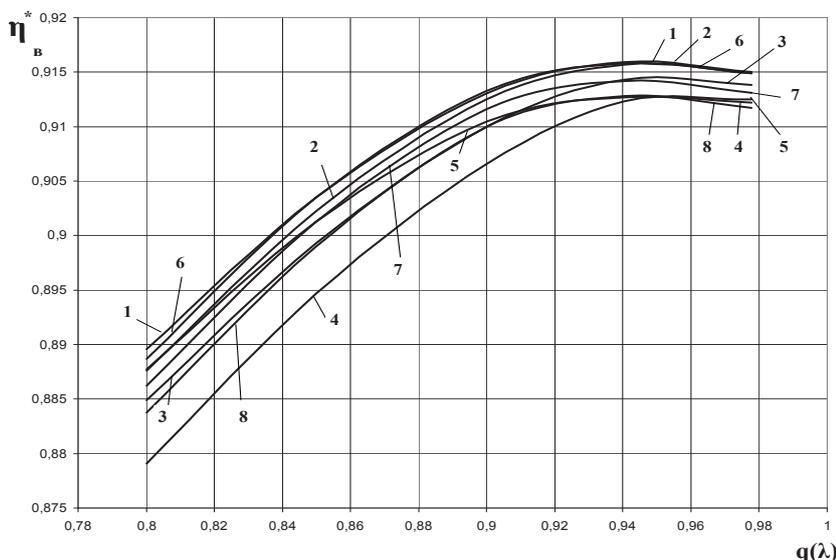


Рис. 4. Характеристика вентиляторов вариантов 1-8

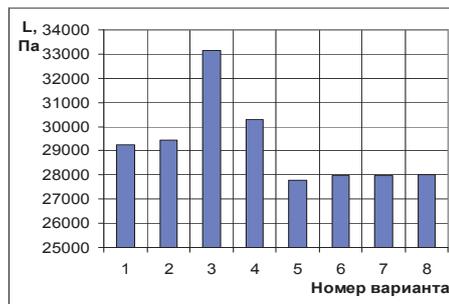


Рис. 5. Значение квадрупольного источника шума

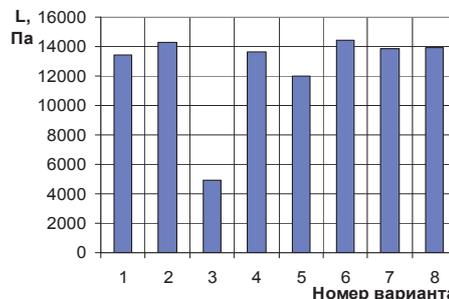


Рис. 6. Значение дипольного источника шума

### 4. Выводы

Результаты проведенного исследования восьми вариантов геометрии вентиляторной ступени по возможности улучшения акустических характеристик показали, что все вентиляторные ступени имеют высокий КПД, но разные акустические характеристики.

С точки зрения дипольной теории шума наилучшие характеристики имеет вариант №3, с точки зрения квадрупольной теории - №5. Планируется дальнейшее исследование различных вариантов геометрий венцов вентиляторных ступеней.

### Литература

1. А.Г. Муниин, В.Е. Квитка Авиационная акустика, М, «Машиностроение», 1973.- 448с.
2. В.И. Токарев и др. Снижение шума при эксплуатации пассажирских самолетов, - К., «Техника», 1990.- 127с.
3. Yamagata A., Kodama H., Tsuchiya N. CFD Prediction of Unsteady Pressures due to Fan Rotor-Stator Interaction, ISABE 2003, №2003-1130.
4. Е. Голдстейн Аэроакустика, М, «Машиностроение», 1981.- 295с.