

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ЛОПАТКИ ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПРЕССОРА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Батури́н О.В., Ван Чжонань

Самарский национальный исследовательский университет им. Королева, г. Самара,

[oleg.v.baturin@gmail.com](mailto:oleg.v.baturin@gmail.com)

*Ключевые слова:* предварительный проект лопатки, лопатка КВД, линейная регрессия

В данной статье предпринята попытка разработать быстрый метод предварительного проектирования лопаток компрессора высокого давления для двумерного проектирования авиационного двигателя. Этот метод может быть использован для начальной оценки веса двигателя, расчета геометрии вала и вибрации, многопрофильной оптимизации и устранения необоснованных схем проектирования двигателя. Этот метод может генерировать форму лопаток статора и ротора компрессора высокого давления на основе данных контура двумерного канала потока. Шаги этого метода следующие:

1. Использовать модель, описывающую двумерную форму лопатки.

2. На основе чертежей 17 двигателей получить геометрические данные лопатки компрессора высокого давления.

3. Выполнить корреляционный анализ геометрических параметров, выбрать параметры и комбинации параметров с высокой корреляцией и выполнить линейную регрессию.

На рис. 1 показаны основные параметры, определяющие форму лопаток статора и ротора компрессора первой ступени. Эмпирическая формула приведена в таблице 1. Все длины вычисляются в миллиметрах.

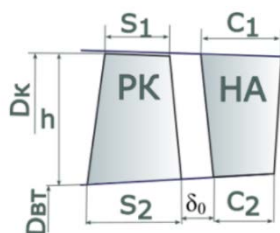


Рис.1 - Схема основных размеров проточной части ступени компрессора

Табл.1. Эмпирические формулы проточной части ступени компрессора

| Формула |                                                                      | P              | R <sup>2</sup> |
|---------|----------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|
| ПК      | $S_2/R_{\text{рк.вт}} = 0.631 - 0.625 * d^-$                         | 0.000          | 0.780          |
|         | $\ln \delta_0/h = -3.967 + 1.523 * d^- + 0.113 * R_{\text{рк.ср}}/h$ | 0.051<br>0.000 | 0.600          |
|         | $S_1 = 5.269 + 0.531 * S_2$                                          | 0.000          | 0.838          |
| НА      | $C_2/d^- = 1.597 + 0.192 * h + 0.815 * S_1$                          | 0.000<br>0.000 | 0.765          |
|         | $C_1 = 2.869 + 0.953 * C_2$                                          | 0.000          | 0.917          |

В табл. 2 приведено сравнение расчетных и фактических значений для компрессора высокого давления двигателя CFM-56. За исключением последней ступени средняя абсолютная процентная погрешность для размера лопатки составляет 8,15%, а средняя абсолютная процентная погрешность для зазора лопатки составляет 20,39%.

На рис. 2 показано сравнение исходного чертежа CFM-56 и сгенерированной лопатки. Для предварительного проекта точность соответствует требованиям. Точность может

быть дополнительно улучшена путем измерения большего количества двигателей и учета зазора между лопаткой и корпусом. Аналогичные методы могут быть применены для генерации лопаток компрессора низкого давления и турбины.

Табл. 2. Сравнение размеров лопаток компрессора высокого давления двигателя CFM56

| № ст | $S_1$ |       | $S_2$  |       | $C_1$  |       | $C_2$  |       | $\delta_0$ |      |
|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|------------|------|
|      | Расч. | Изм.  | Расч.  | Изм.  | Расч.  | Изм.  | Расч.  | Изм.  | Расч.      | Изм. |
| 1    | 26.73 | 28.88 | 40.423 | 41.2  | 30.298 | 26    | 28.781 | 26    | 6.936      | 5.92 |
| 2    | 23.07 | 26.95 | 33.532 | 37.34 | 27.256 | 26    | 25.590 | 26    | 6.312      | 4    |
| 3    | 20.03 | 20.31 | 27.805 | 26.26 | 24.462 | 20.83 | 22.658 | 18.79 | 5.831      | 6.48 |
| 4    | 17.58 | 17.36 | 23.185 | 23.92 | 22.067 | 19.21 | 20.145 | 20.45 | 5.518      | 5    |
| 5    | 15.54 | 16.82 | 19.350 | 19.15 | 19.984 | 19.23 | 17.959 | 20.39 | 5.358      | 5.01 |
| 6    | 14.21 | 12.31 | 16.843 | 14.99 | 18.574 | 17    | 16.480 | 18    | 5.351      | 5    |
| 7    | 13.23 | 12.33 | 15.004 | 15.31 | 17.517 | 16    | 15.370 | 17    | 5.438      | 4.32 |
| 8    | 12.69 | 12.88 | 13.988 | 15.31 | 16.924 | 16    | 14.749 | 17    | 5.540      | 4.33 |
| 9    | 12.71 | 12.88 | 14.024 | 15.31 | 16.946 | 39.03 | 14.771 | 39.96 | 5.536      | 23.5 |

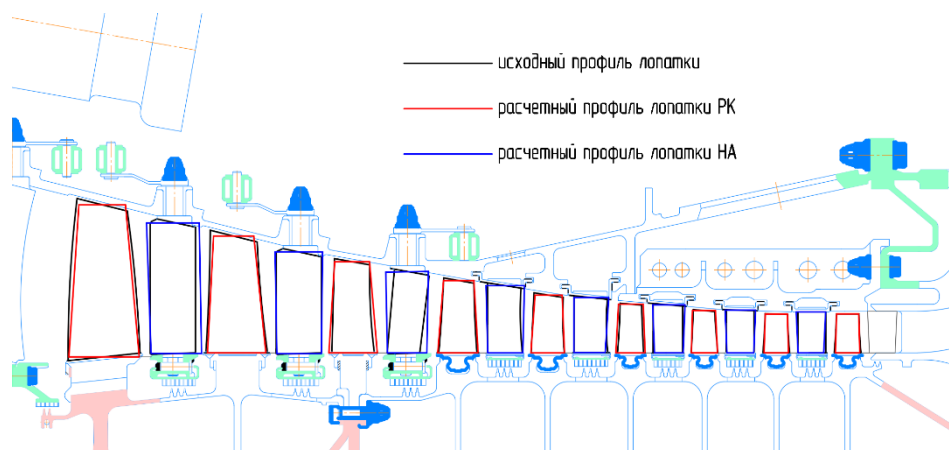


Рис.2 - Проверка полученных уравнений на примере КВД CFM-56

Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки России в рамках государственного задания (номер проекта FSSS-2024-0015 «Изучение закономерностей рабочих процессов нагнетательных машин на базе сопряженных математических моделей»).

### Список литературы

1. The SPSSAU project (2025). SPSSAU. (Version 25.0) [Online Application Software]. Retrieved from <https://www.spssau.com>.
2. Tong, Michael T. "Using Machine Learning to Predict Core Sizes of High-Efficiency Turbofan Engines." Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 141.11 (2019).

### Сведения об авторах

Батулин Олег Витальевич, доцент. Область научных интересов: рабочий процесс газовых турбин и турбомашиностроение.

Ван Чжонань, магистрант. Область научных интересов: предварительный проект двигателя.

## **PRELIMINARY BLADE PROFILE DESIGN METHOD FOR 2D HIGH PRESSURE COMPRESSOR DESIGN**

Baturin Oleg Vitalievich, Wang Zhuonan  
Samara National Research University, Samara, [oleg.v.baturin@gmail.com](mailto:oleg.v.baturin@gmail.com)

*Keywords: preliminary design of the blade, HPC blade, linear regression.*

**Annotation:** A technique has been developed to derive empirical formulas by collecting data on multiple engine dimensions in order to accelerate the design process of the high-pressure compressor blade section during the development of new engines.