

УДК 621.45.02

НОВЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ОСЕВЫХ РАЗМЕРОВ КОМПРЕССОРОВ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

© Гагаулина Е.Д., Батурин О.В., Кудряшов И.А., Горячкин Е.С.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева», г. Самара, Российская Федерация

e-mail: gataullina.ed@ssau.ru

Анализируя существующие методики проектирования проточной части многоступенчатых осевых компрессоров, авторы пришли к выводу, что применяемые там зависимости для определения осевых размеров проточной части имеют ограниченное применение. Действительно, они обычно ссылаются на диапазон изменения параметра (относительной высоты лопатки, например). Использование данных из разных участков диапазона позволяет получить компрессоры, отличающиеся по длине в 1,5 раза. По этой причине для повышения качества проектного расчета компрессоров авторы поставили себе цель получить новые, более точные статистические формулы для определения осевых размеров многоступенчатых осевых компрессоров [1].

Для достижения поставленной цели авторы собрали статистику по основным размерам осевых компрессоров высокого давления современных авиационных ГТД. Было измерено 27 российских и зарубежных двигателей (всего более 200 ступеней компрессора). Измеряемые параметры показаны на рис. 1. Полученные размеры были обезразмерены (отнесены к известным в проектном расчете диаметрам, высотам лопаток и т. п.). Для исключения грубых ошибок проточные части компрессора простраивались по измеренным размерам и полученные данные сравнивались с чертежом. Таким образом была сформирована база данных для регрессионного анализа.

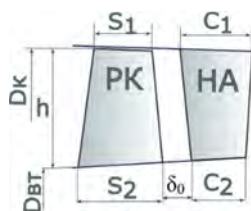


Рисунок 1 – Интересующие размеры ступеней компрессора

На первом этапе регрессионного анализа был проведен отсев выпадающих значений. Были найдены средние значения интересующих параметров в диапазонах, отбракованы все точки, которые отличаются от средних значения более чем на 2 величины среднеквадратичного отклонения σ .

После удаления выбросов произведен корреляционный анализ, в котором были найдены безразмерные величины, известные расчетчику, которые максимально влияют на искомый параметр (значение коэффициента корреляции более 0,7).

Для предварительно выбранных на предыдущем этапе переменных находилось уравнение линейной регрессии вида

$$y = a_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n.$$

Для некоторых параметров также рассматривались нелинейные уравнения регрессии вида

$$y = a_0 + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_n \cdot x_n + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + \dots + b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j.$$

Величины коэффициентов находились с помощью пакета «анализ данных» Excel, там же рассчитывались параметры, характеризующие «качество» уравнения. Качество полученных уравнений оценивалось по следующим параметрам: R^2 – коэффициент детерминации, P – значение вероятности, позволяющей определить значимость найденного коэффициента регрессии.

Пример полученных регрессионных уравнений для оценки осевых размеров осевого компрессора приведен в таблице.

Таблица – Примеры полученных регрессионных уравнений для оценки осевых размеров осевого компрессора

Формула	P	R^2
$\frac{S_2}{R_{вт}} = 0,5102 - 0,4892 \cdot \underline{d}$	4,7E-56	0,8614
	2,7E-47	
$\frac{C_2}{R_{вт}} = 0,2678 - 0,0041 \cdot i + 0,1012 \cdot \frac{i}{z} - 0,3027 \cdot \underline{d} + 0,3286 \cdot \frac{S_2}{R_{сп}}$	1,5E-11	0,7711
	0,0033	
	2,9E-10	
	9,2E-13	
	0,0002	

Качество полученных формул было проверено путем расчета известных компрессоров существующих двигателей и сравнения полученных результатов с их чертежами. Пример сравнения показан на рис 2.

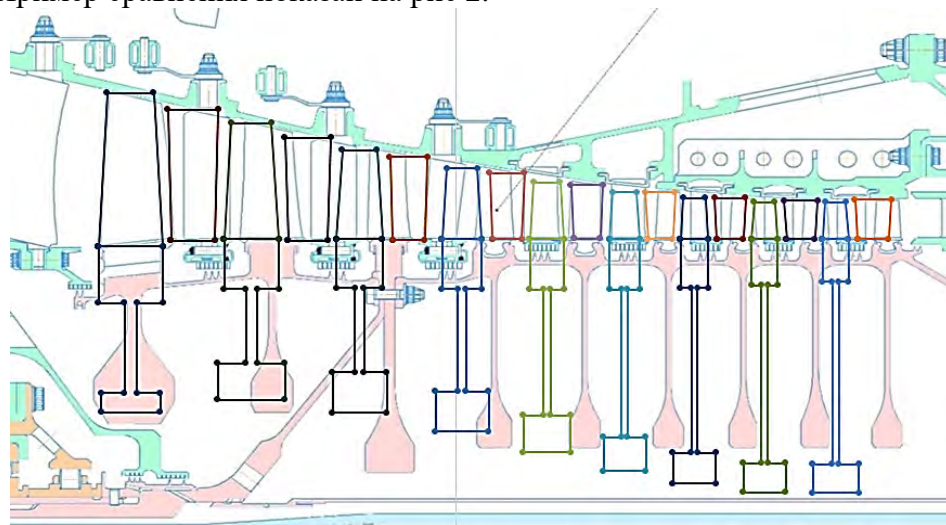


Рисунок 2 – Сравнение расчетной схемы с исходной схемой

Из приведенных данных видно, что регрессионные уравнения с высокой точностью описывают осевые размеры существующего компрессора. Таким образом, они позволят при первоначальном проектировании вычислять осевые размеры компрессоров, близкие к реальным, что в итоге повысит качество проектирования и сократит его время.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-00210, <https://rscf.ru/project/22-79-00210>.

Библиографический список

1. Булоусов А.Н., Мусаткин Н.Ф., Радько В.М. Теория и расчет авиационных лопаточных машин: учебник для вузов. 2-е изд., испр., доп. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2003. 344 с.