

УДК 519.688+629.7.035.7

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОКОНАПОРНОГО ОСЕВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Ю.А. РЫЖОВ, С.А. ПОПОВ, МАНЬ ХИЕУ ВУ

В работе приводятся результаты численных исследований течения в высоконапорном осевом вентиляторе Н-2, геометрические параметры которого разработаны автором. Получены коэффициенты производительности, полного давления, полезного действия и мощности. Показаны преимущества вентилятора Н-2 над некоторыми другими вентиляторами, выраженные в повышении КПД при равных габаритных размерах и углах установки лопасти.

Ключевые слова: осевой вентилятор, лопасть обратной стреловидности, осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, метод SIMPLEC, коэффициенты полного давления и производительности, КПД и коэффициент мощности вентилятора.

Использование искривленных и стреловидных по передней кромке лопаток вытекает из аналогий применения подобных конструктивных подходов для крыльев самолетов. С тех пор как эти новшества были введены в область турбомашин, они сыграли значительную роль в повышении их эффективности, увеличении диапазона стабильной работы, а также в снижении аэродинамического шума турбомашин. Бейлер и Каролус [1] изучали аэродинамические характеристики низкоскоростных осевых вентиляторов с лопастями прямой и обратной стреловидности. Результаты исследований показали, что обратная стреловидность лопасти улучшает ее аэродинамические характеристики и имеет широкий потенциал для применения. В то же самое время применение лопастей прямой стреловидности было изучено недостаточно. В работе [2] представлены результаты физического и вычислительного экспериментов по моделированию течений в окрестности осевого вентилятора со стреловидными лопастями.

Результаты показали, что производительность вентилятора с лопастями обратной стреловидности при более высоком давлении увеличивается на 13,1%. При этом на 5% увеличивается скорость потока и на 3% повышается эффективность вентилятора. Аэроакустические исследования практически во всей области частот показали снижение шума от 2 до 4 дБ. В работе [3] изучались срывные режимы работы первой ступени осевого дозвукового компрессора. Было обнаружено, что применение лопаток с обратной стреловидностью по передней кромке увеличивает пределы регулирования расхода газа и позволяет снизить концевые потери. В работе [4] было доказано, что дозвуковые осевые вентиляторы с лопастями обратной стреловидности работают более эффективно, в частности, при низком расходе газа в области отсроченного срыва.

Таким образом, результаты приведенных работ показывают, что эта техника имеет некоторые преимущества в производительности больших дозвуковых компрессоров и вентиляторов, но также видно, что эти работы далеко не достаточные. В настоящей работе проведен глубокий сравнительный анализ на основе данных вычислительного эксперимента характеристик перспективного высоконапорного вентилятора с лопастями обратной стреловидности Н-2 и вентилятора ЦАГИ ОВ-23 [5], а также вентилятора Н-1 (разработан автором) [8].

В этой работе проводилось моделирование течения в осевом перспективном вентиляторе Н-2. Испытуемый вентилятор имел диаметр $D=0,7$ м, угол установки лопасти $\theta_k=25^\circ$ и вращался с фиксированной частотой $n=800$ об/мин. Модели перспективного вентилятора Н-2 с 4, 5, 6, 8 лопастями задавались по сечениям и строились на основе булевых операций в геометрическом препроцессоре газодинамического пакета программ ANSYS 14. Основные геометрические характеристики вентилятора с лопастями обратной стреловидности приведены в табл. 1, а общий вид – на рис. 1.

Таблица 1

Параметры для построения лопатка вентилятора Н-2

Сечение	\bar{r}	\bar{b}	$\bar{\rho}$	\bar{c}
<i>I</i>	1	0,4	1,01	0,06
<i>II</i>	0,95	0,428	1,045	0,103
<i>III</i>	0,85	0,406	1,105	0,111
<i>IV</i>	0,75	0,386	1,11	0,119
<i>V</i>	0,65	0,367	1,04	0,126
<i>VI</i>	0,55	0,348	0,9	0,134
<i>VII</i>	0,45	0,331	0,732	0,142
<i>VIII</i>	0,35	0,314	0,533	0,15

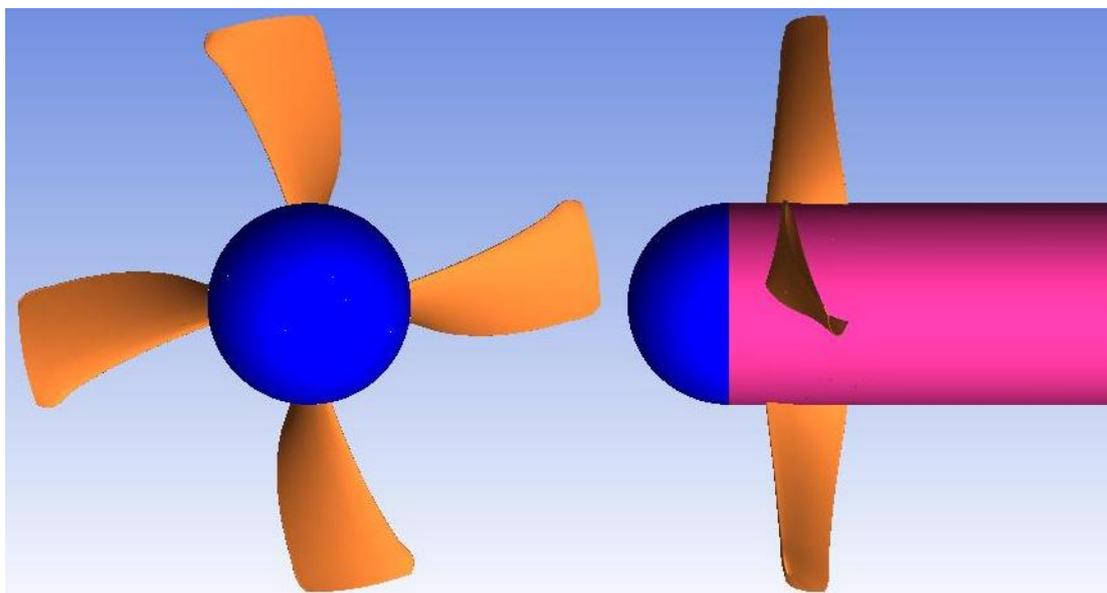


Рис. 1. Общий вид вентилятора Н-2

На рис. 2-4 представлены суммарные характеристики перспективного вентилятора с лопастями обратной стреловидности Н-2. Из них видно, что с увеличением количества лопастей без изменения их размера, т.е. с ростом дискового отношения, существенно возрастают коэффициенты полного давления и мощности при одной и той же производительности вентилятора. Выполненные исследования показывают, что чем больше количество лопастей у вентилятора, тем при больших значениях коэффициента производительности происходит срыв потока, а область устойчивой работы становится уже. Это значит точка срыва и зона устойчивой работы сдвигаются в область большей производительности. Это объясняется следующим образом: до срыва при уменьшении производительности увеличиваются полное давление, создаваемое вентилятором, и угол атаки. При некотором критическом значении угла атаки происходит отрыв потока на лопатках, и при этом полное давление достигает максимального значения. Из-за повышенного давления за колесом возникает обратный поток. Так как вентилятор с большим числом лопастей создает большее давление, поэтому срыв на его характеристиках происходит раньше, чем у вентилятора с меньшим числом лопастей.

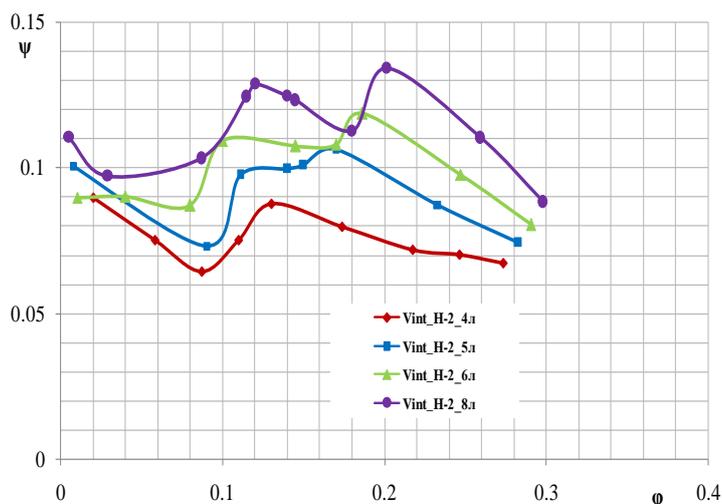


Рис. 2. Зависимость коэффициента давления от коэффициента производительности

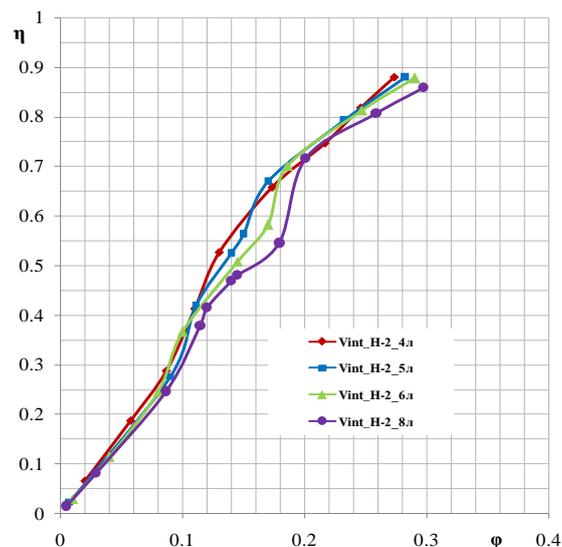


Рис. 3. Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента производительности

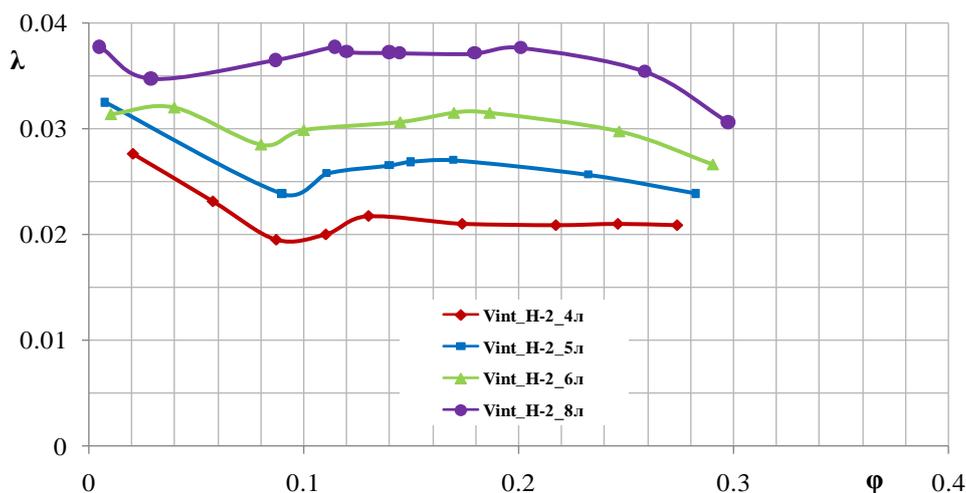


Рис. 4. Зависимость коэффициента мощности от коэффициента производительности

Сравнение характеристик вентиляторов

Четырехлопастные вентиляторы

Из рис. 5 и 7 видно, что не только коэффициенты полного давления и мощности у четырехлопастного вентилятора Н-2 больше, чем у вентилятора ОВ-23, но и зона его устойчивой работы шире. На рис. 6 заметно, что коэффициент полезного действия у вентилятора Н-2 в целом соизмерим с характеристикой вентилятора ОВ-23, хотя и незначительно выше в крайне правой части графика, но несколько меньше в его центральной части. Все характеристики вентилятора Н-2 соизмеримы с характеристиками вентилятора Н-1.

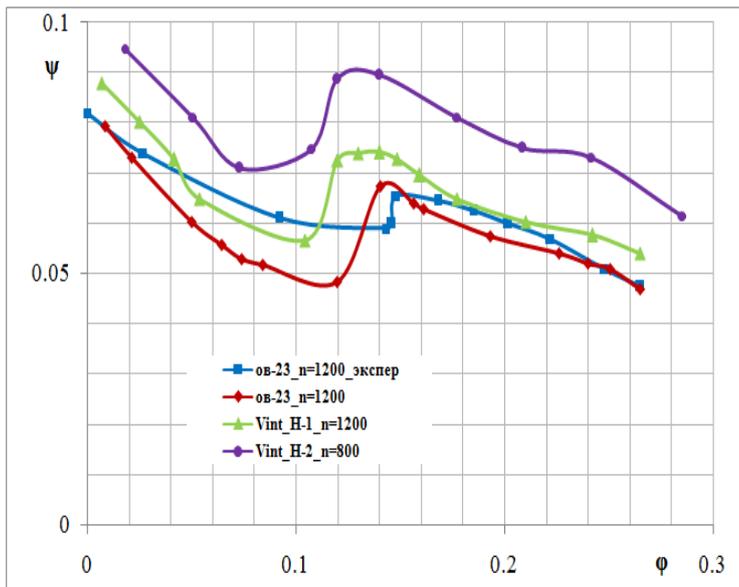


Рис. 5. Зависимость коэффициента давления от коэффициента производительности

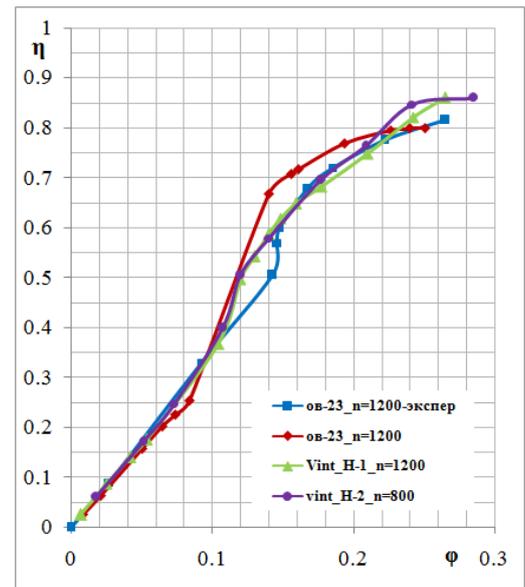


Рис. 6. Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента производительности

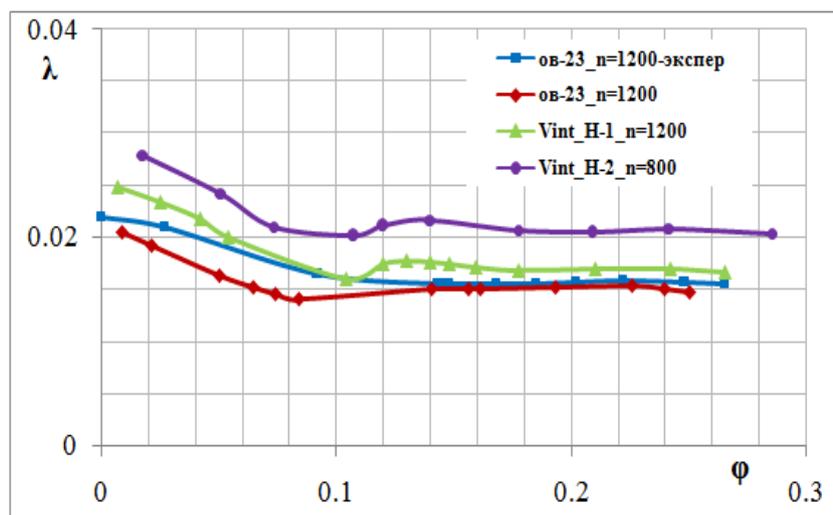


Рис. 7. Зависимость коэффициента мощности от коэффициента производительности

Пятилопастные вентиляторы

На рис. 8, 10 мы видим ту же картину, что и на рис. 5, 7. Однако на рис. 9 видно, что коэффициент полезного действия у перспективного пятилопастного вентилятора Н-2 больше, чем у вентилятора ОВ-23 и соизмерим с КПД вентилятора Н-1 почти во всем диапазоне рабочих режимов. Следовательно, что для обеспечения заданного расхода при фиксированном сопротивлении канала, частоту вращения вентилятора Н-2 придется понизить примерно на 25% по сравнению с вентилятором ОВ-23. Снижение частоты вращения вентилятора естественным образом снизит уровень шума, производимый им.

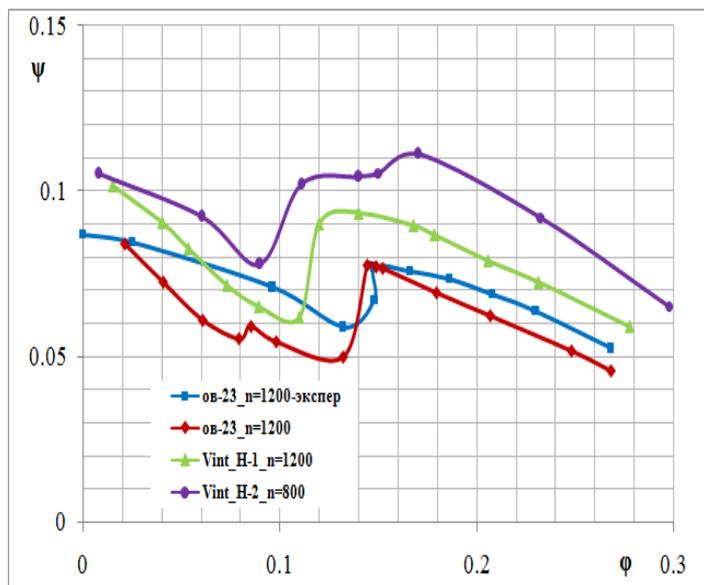


Рис. 8. Зависимость коэффициента давления от коэффициента производительности

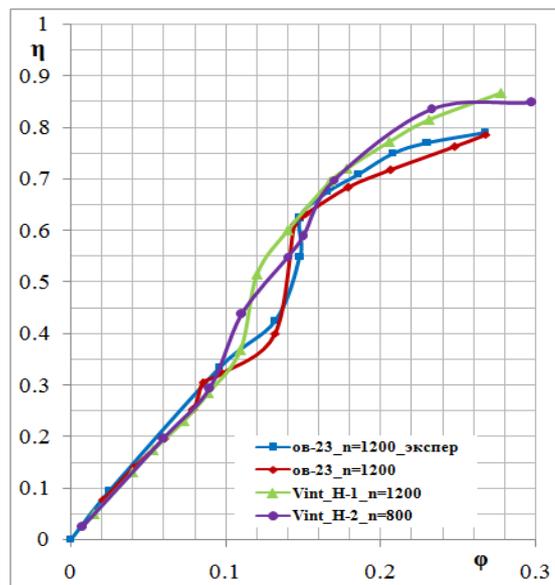


Рис. 9. Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента производительности

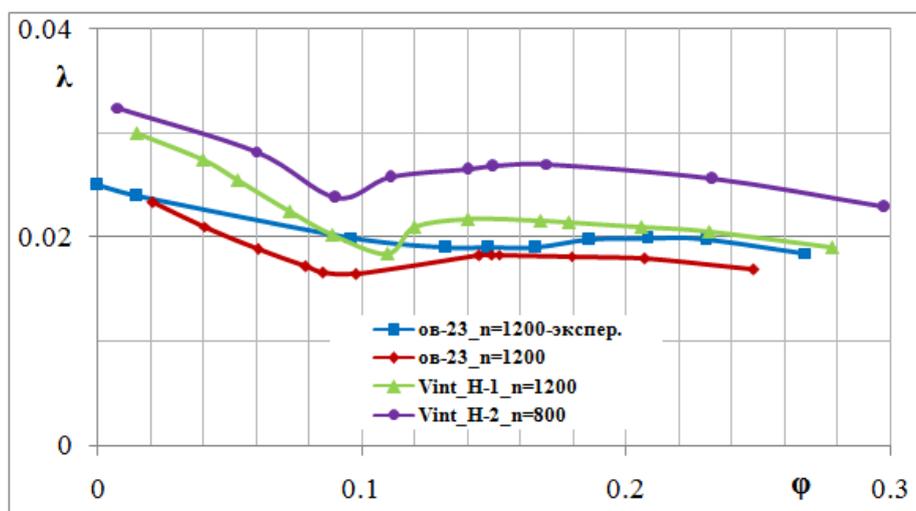


Рис. 10. Зависимость коэффициента мощности от коэффициента производительности

ЛИТЕРАТУРА

1. Beiler M.G., Carolus T.H. Computation and measurement of the flow in axial flow fans with skewed blades. - Journal of Turbomachinery, vol. 121, no. 1, pp. 59-66, 1999.
2. Cai N., Xu J., Benaissa A. Aerodynamic and aeroacoustic performance of a skewed rotor. - Proceedings of ASME Turbo Expo, International Gas Turbine Institute Conference (IGTI '03), vol. 6A, pp. 497-504, Atlanta, Ga, USA, June 2003.
3. Outa E. Rotating stall and stall controlled performance of a single stage subsonic axial compressor. - Journal of Thermal Science, vol. 15, no. 1, pp. 1-13, 2006.
4. Corsini A., Rispoli F. The role of forward sweep in subsonic axial fan rotor aerodynamics at design and off design operating conditions. - Proceedings of ASME Turbo Expo, International Gas Turbine Institute Conference (IGTI '03), vol. 6A, pp. 543-553, Atlanta, Ga, USA, June 2003.

5. **Брусиловский И.В.** Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов, ЦАГИ. - М.: Недра, 1978.
6. **Ву М.Х., Попов С.А., Рыжов Ю.А.** Проблемы моделирования течения в осевых вентиляторах аэродинамических труб: труды МАИ. - 2012. - Вып. 53.
7. **Юн А.А.** Теория и практика моделирования турбулентных течений. - М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009.
8. **Попов С.А., Ву М.Х., Рыжов Ю.А.** Физические аспекты применения лопастей обратной стреловидности на осевых вентиляторах: труды МАИ. - 2013. - Вып. 64.

AERODYNAMIC DESIGN OF HIGH PRESSRE AXIAL FAN

Ryzhov Y.A., Popov S.A., Man Hieu Vu

The paper presents the results of numerical studies of flow in a high axial fan of H-2, the geometric parameters are carefully designed by the author. The coefficients of performance, the total pressure, efficiency and capacity. Shows the benefits of fan of H-2 on several other fans, expressed in increased efficiency with equal dimensions and angles of blade setting.

Key words: axial fan, the blade-swept, the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations, the method SIMPLEC; total pressure ratios and performance, efficiency and power factor fan.

Сведения об авторах

Рыжов Юрий Алексеевич, 1930 г.р., окончил МФТИ (1954), доктор технических наук, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой аэродинамики летательных аппаратов МАИ, автор более 100 научных работ, область научных интересов – аэродинамика сверхзвуковых скоростей, динамика разреженного газа, взаимодействие частиц атомного масштаба с поверхностью, неравновесные процессы в потоке газа, нестационарный теплообмен.

Попов Сергей Александрович, 1967 г.р., окончил МАИ (1989), кандидат физико-математических наук, доцент МАИ, зам. заведующего кафедрой аэродинамика летательных аппаратов МАИ, автор 15 научных работ, область научных интересов – динамика разреженного газа и вычислительная гидродинамика.

Мань Хиеу Ву, 1983 г.р., окончил МАИ (НИУ) (2009), аспирант МАИ (НИУ), автор 6 научных работ, область научных интересов – аэродинамика летательных аппаратов.