

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

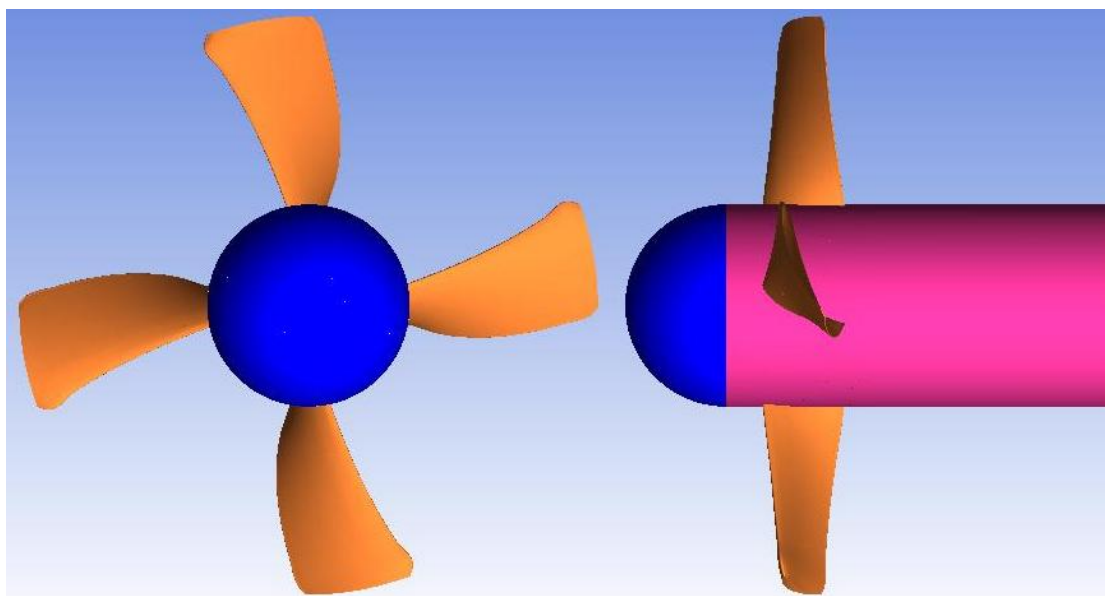
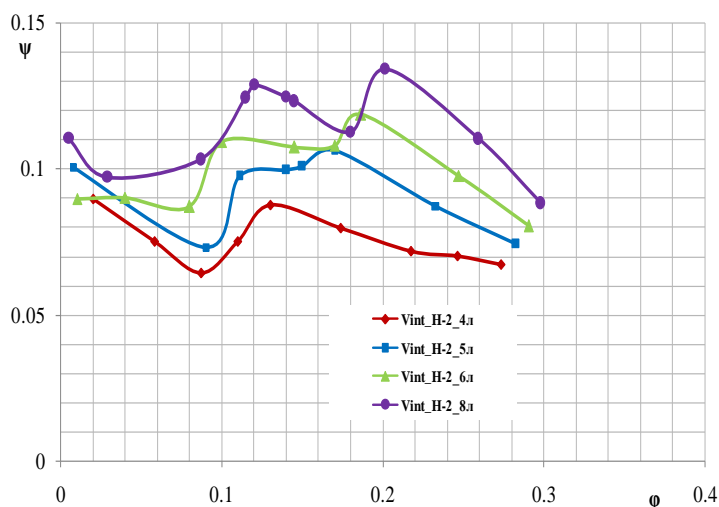
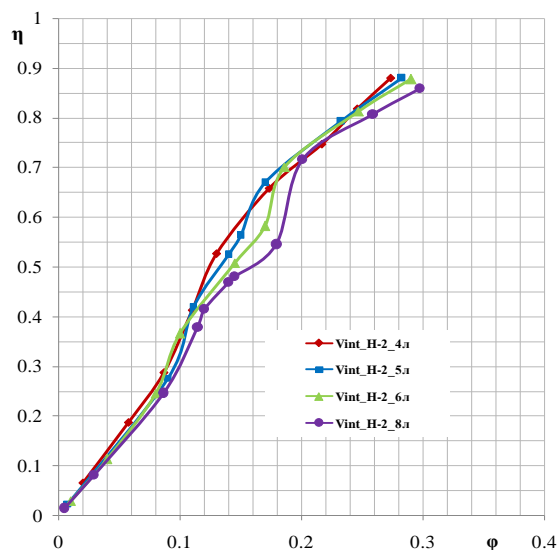


Рис. 1. Общий вид вентилятора Н-2

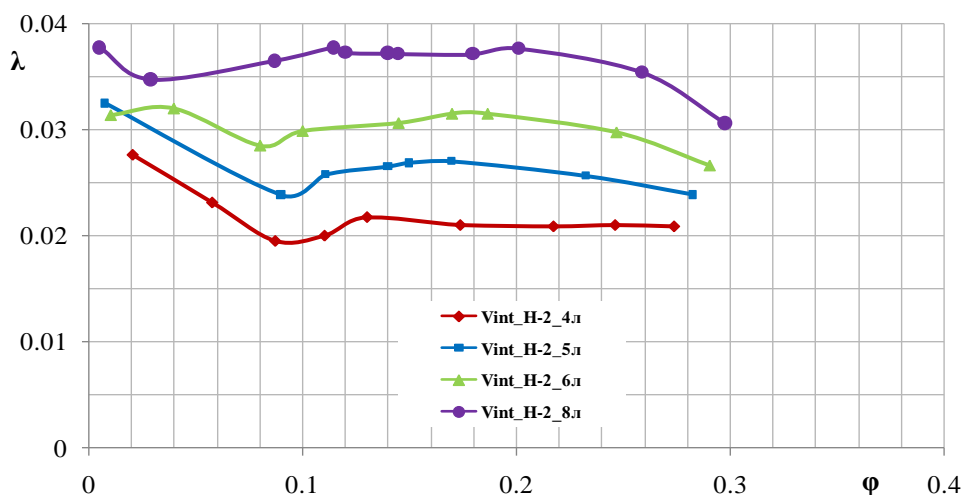
На рис. 2-4 представлены суммарные характеристики перспективного вентилятора с лопастями обратной стреловидности Н-2. Из них видно, что с увеличением количества лопастей без изменения их размера, т.е. с ростом дискового отношения, существенно возрастают коэффициенты полного давления и мощности при одной 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

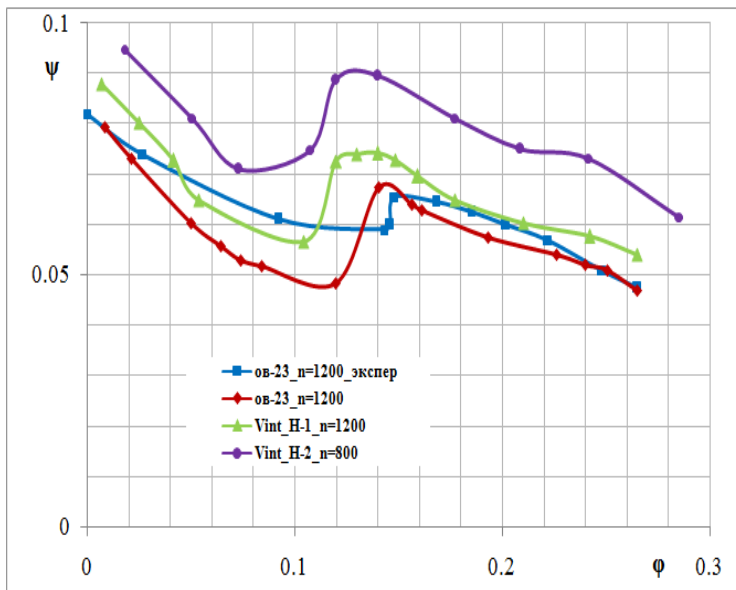


**Рис. 4.** Зависимость коэффициента мощности от коэффициента производительности

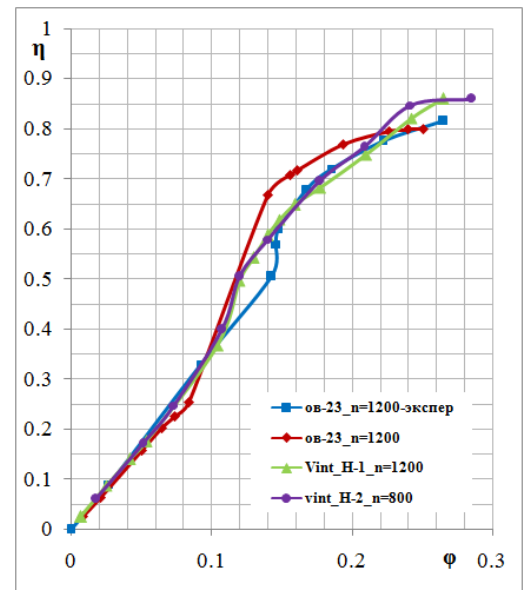
### Сравнение характеристик вентиляторов

#### Четырехлопастные вентиляторы

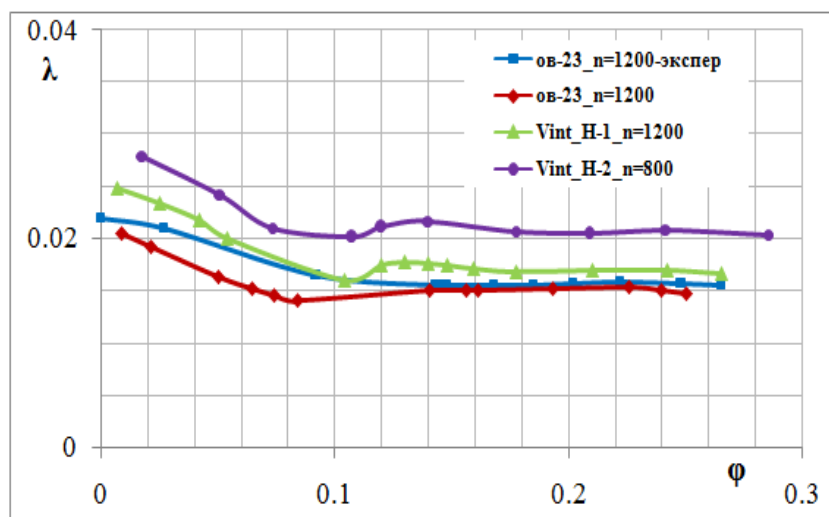
Из рис. 5 и 7 видно, что не только коэффициенты полного давления и мощности у четырехлопастного вентилятора Н-2 больше, чем у вентилятора ОВ-23, но и зона его устойчивой работы шире. На рис. 6 заметно, что коэффициент полезного действия у вентилятора Н-2 в целом соизмерим с характеристикой вентилятора 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



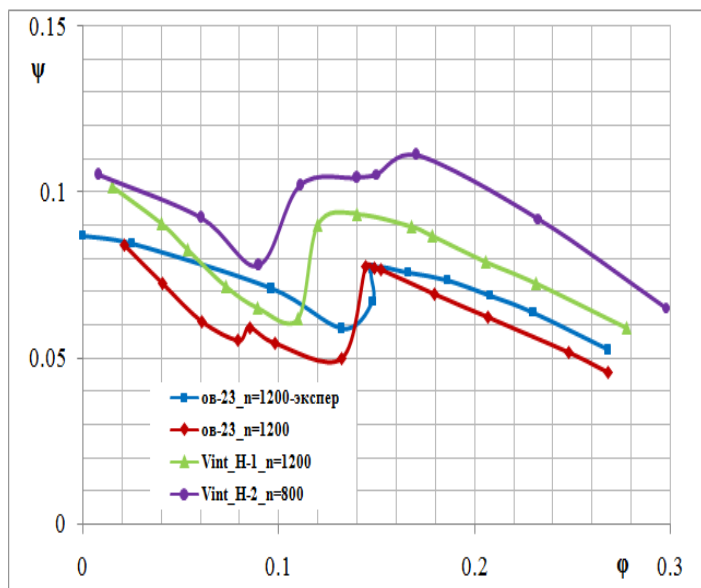
**Рис. 6.** Зависимость коэффициента полезного действия от коэффициента производительности



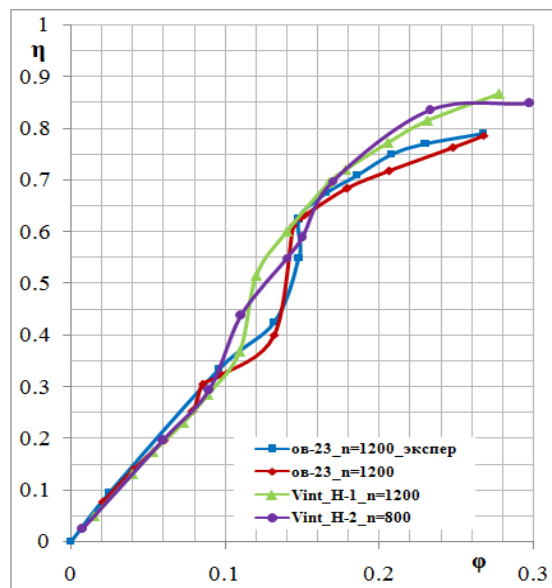
**Рис. 7.** Зависимость коэффициента мощности от коэффициента производительности

### Пятилопастные вентиляторы

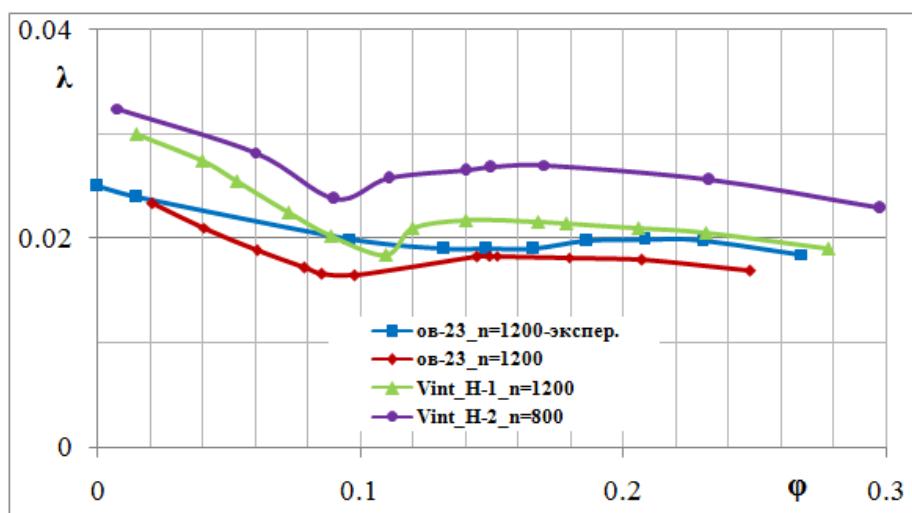
На рис. 8, 10 мы видим ту же картину, что и на рис. 5, 7. Однако на рис. 9 видно, что коэффициент полезного действия у перспективного пятилопастного вентилятора Н-2 больше, чем у вентилятора ОВ-23 и соизмерим с КПД вентилятора Н-1 почти во всем диапазоне рабочих режимов. Следовательно, что для обеспечения 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.