

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ГУСТОТЫ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

### DECISION OF OPTIMAL SOLIDITY FOR CENTRIFUGAL COMPRESSOR BLADE ROW

Бубнов А. Д., Винтер М. Ю., Блинов В. Л., Комаров О. В.  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
alexandrbubnov21@rambler.ru

Bubnov A. D., Vinter M. Yu., Blinov V. L., Komarov O.V.  
Ural Federal University, Ekaterinburg

**Аннотация:** В работе описан реализованный подход к определению оптимальной густоты лопаточного аппарата центробежного компрессора природного газа. Представлен сравнительный анализ двух вариантов компрессоров.

**Abstract:** The implemented approach to determine the optimal solidity for the blade row of centrifugal compressor running on natural gas is described in the paper. Comparative analysis of the two compressor variants is present there.

**Ключевые слова:** центробежный компрессор; лопаточный аппарат; проточная часть; густота.

**Key words:** centrifugal compressor; blade row; flow part; solidity.

Центробежные компрессоры (ЦБК) нашли широкое применение в области транспорта природного газа. В качестве привода ЦБК в основном применяются газотурбинные установки, использующие в качестве топлива часть природного газа, перекачиваемого по магистральному газопроводу. Одним из путей снижения затрат при этом является повышение коэффициента полезного действия эксплуатируемых ЦБК.

Одним из факторов, влияющим на эффективность ступени, является выбор оптимальной густоты лопаточной решетки. Это в свою очередь при неизменности геометрических размеров меридиональных обводов проточной части ЦБК определяет оптимальное число лопаток. Густотой лопаточной решетки ЦБК  $B/t$  называется отношение длины лопатки  $B$  к среднему шагу лопаток  $t$ .

Настоящая работа посвящена выбору оптимальной густоты лопаточного аппарата двухступенчатого центробежного компрессора. Для этой цели проводилась однорежимная оптимизация исходной геометрии с изменением числа лопаток рабочего колеса (РК) и лопаточного диффузора (ЛД) первой и второй ступеней, а также лопаток обратного направляющего аппарата (ОНА). В качестве исследуемого выбран ЦБК, спроектированный в собственном

программном коде [1]. Анализ проводился на номинальном режиме работе ЦБК с массовым расходом 295,6 кг/с. Критерием оптимизации выбрана максимизация политропного КПД, как по статическим, так и по полным параметрам. При решении задачи были наложены ограничения по выходным параметрам. Степень сжатия по полным параметрам ограничивалась в пределах одного процента, как для верхней, так и для нижней границы. Для объемного расхода по условиям входа задавалось ограничение  $\pm 5\%$ . Кроме того задавались ограничения по максимальному местному числу Маха в рабочем колесе и лопаточном диффузоре  $M_{РК} < 0,6$  и  $M_{ЛД} < 0,5$  соответственно. Количество лопаток исходного и оптимизированного вариантов ЦБК, а также диапазоны изменения переменных оптимизации, сведены в таблице. Сравнение характеристик исходного и оптимизированного ЦБК представлено на рис. 1.

Параметры оптимизированного варианта проточной части

№ п/п	Параметр	Исходная геометрия	Нижняя граница ограничения	Верхняя граница ограничения	Оптимизированная геометрия
1	2	3	4	5	6
2	$(B/t)_{РК1}$	2,60	1,90	3,11	1,90
3	$(B/t)_{ЛД1}$	2,20	1,44	2,51	1,58
4	$(B/t)_{ОНА}$	2,15	1,56	2,60	2,43
5	$(B/t)_{РК2}$	2,50	1,83	2,99	2,16
6	$(B/t)_{ЛД2}$	2,20	1,31	2,30	1,84

Оптимизированный вариант проточной части характеризуется меньшими значениями густоты лопаточных решеток РК и ЛД по сравнению с исходным вариантом. Уменьшение числа лопаток снижает стеснение потока газа во входных сечениях элементов ступени компрессора, а также приводит к снижению потерь трения в межлопаточном канале. Но при этом может увеличиваться угол отставания потока на выходе из лопаточного аппарата, что негативно сказывается на пологости характеристики ЦБК.

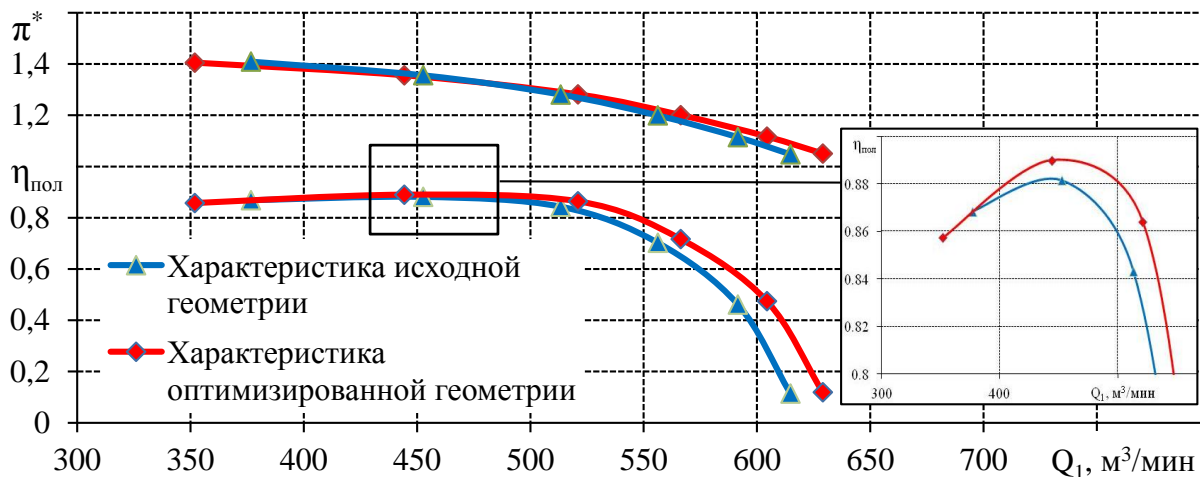


Рис. 1. Сравнение характеристик исходного оптимизированного вариантов ЦБК

На основании анализа характеристик двух вариантов ЦБК установлено, что в ходе оптимизации удалось повысить политропный КПД компрессора на номинальном режиме работы на 1 % (абсолютный). Значение политропного КПД ЦБК по полным параметрам также возросло от 92,0 до 93,2 %. Политропный КПД рабочих колес по полным параметрам для первой и второй ступени за счет выбора иной густоты увеличился. Так для первой ступени исходной конструкции  $\eta_{пол PK1}^* = 96,5 \%$ , для второй –  $\eta_{пол PK2}^* = 93,5 \%$ . В результате многокритериальной оптимизации КПД увеличился до 97,4 и 94,6 % для первой и второй ступени соответственно. При анализе эффективности работы диффузора определяющим параметром является коэффициент повышения статического давления  $C_P$ . Стоит отметить, что величина данного параметра для исходной конструкции ЦБК имеет достаточно высокий уровень, так для первой ступени  $C_{P.ЛД1} = 73,5 \%$ , для второй ступени –  $C_{P.ЛД2} = 67,7 \%$ . После оптимизации эти параметры стали равными 73,4 и 68,8 % соответственно. Помимо повышения эффективности ЦБК наблюдается незначительное увеличение ширины его характеристики в сравнении с характеристикой исходного варианта. Линии тока проанализированных двух вариантов представлены на рис. 2. Как видно из сравнения линий тока, существенных изменений в картине течения на номинальном режиме не наблюдается.

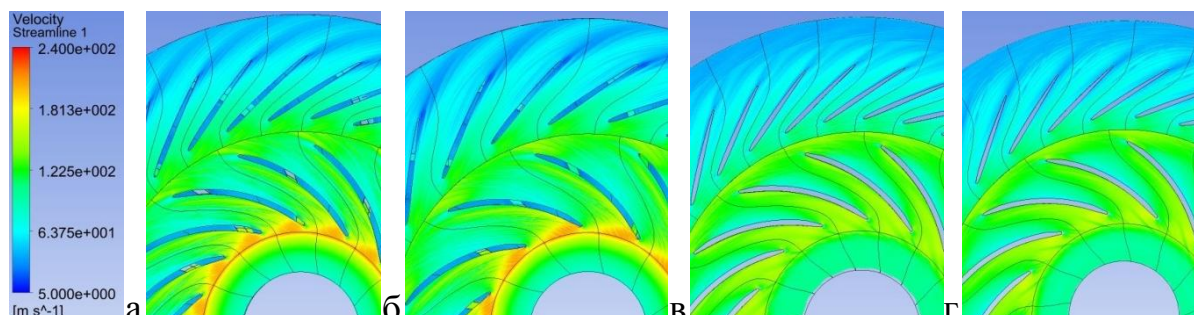


Рис. 2. Линии тока в исходной и оптимизированной геометрии:  
а, в – первая и вторая ступень исходной геометрии;  
б, г – первая и вторая ступень оптимизированной геометрии

Для дальнейшего повышения эффективности ЦБК необходимо проводить оптимизационную доводку формы лопаточного аппарата с учетом пространственных эффектов в проточной части ЦБК, а также осуществить анализ согласованности всех элементов и ступеней компрессора в широком диапазоне режимов работы.

#### Список использованных источников

1. Бубнов А.Д., Винтер М.Ю., Блинов В.Л., Комаров О.В. Проектирование проточной части центробежного нагнетателя природного газа // Энергетика, электромеханика и эффективные технологии глазами молодежи: материалы VI российской молодежной науч. школы-конференции. В 2 т. Томск: Изд-во ООО «ЦРУ», 2016. Т.2. С. 235-238.

2. Галеркин Ю.Б., Козаченко Л.И. Турбокомпрессоры: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 374 с.

УДК 697.922.26 + 532.559.5 + 004.942

## ВЕРИФИКАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ СХЕМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ЦЕЛЕВОГО СТОКА КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ

### VERIFICATION OF NUMERICAL SOLVING A PROBLEM OF PRESSURE LOSSES DETERMINATION OF FINITE WIDTH SLOT SINK

Валеев Б. Р., Мухаметзянов И. Р., Полукеев К. В., Зиганшин А. М.  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет, г.  
Казань, amziganshin@kgasu.ru

Valeev B. R., Muhametzjanov I. R., Polukeev K. V., Ziganshin A. M.  
Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan

**Аннотация:** В работе представлены результаты численного моделирования течения к щелевому стоку. Показан ход исследования зависимости решения от размеров ячеек расчетной сетки. Определено сочетание моделей турбулентности и пристеночных функций, наиболее адекватно моделирующих сопротивление такого стока.

**Abstract:** The results of numerical simulation of flow to slot sink is presented. Showing the course of research of solution depending on the size of the cells of the computational grid. Determined the combination of turbulence models and wall functions, the most adequate simulating the resistance of such flow.

**Ключевые слова:** численные методы; щелевой сток; потери давления; верификация.

**Key words:** numerical methods; slot sink; pressure losses; verification.

В настоящее время при исследовании течений различного рода хорошо себя зарекомендовал численный эксперимент с применением методов вычислительной гидродинамики (ВГД, *Computational Fluid Dynamics*). Программные комплексы, реализующие методы ВГД, применяются также и при моделировании процессов течения воздуха в системах вентиляции [1-3]. Использование компьютерного моделирования, в том числе, сокращает материальные затраты при выборе вариантов наиболее рациональных конструкций вновь разрабатываемых элементов систем вентиляции [4]. Тем не менее, при моделировании новой конструкции элемента, на первом этапе всегда