

ОПТИМИЗАЦИЯ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Е.В. Дубинин¹, Д.В. Ворошнин², О.В. Маракужева³, А.С. Муравейко²,
Н.Г. Хасанов¹,

¹АО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Казань,
oevgeniy.dubinin@niitk.ru

²ООО «НУМЕКА», Санкт-Петербург, *d.voroshnin@numeca.ru*

³ООО «Инженерный Центр Численных Исследований», Санкт-Петербург,
o.marakueva@numeca.ru

Объектом исследования является первая ступень центробежного компрессора, предназначенного для компримирования углеводородного газа. Работа посвящена оптимизации геометрии данной ступени на новые условия эксплуатации. Проведена предварительная валидация результатов численного моделирования течения, целью которой являлось определение конфигурации расчетной модели, обеспечивающей согласование с экспериментальными данными. На основе таблицы 1 и с учетом наличия перегибов (рис. 1) по ветке у SST и SA, рабочей моделью турбулентности принята k- ϵ .

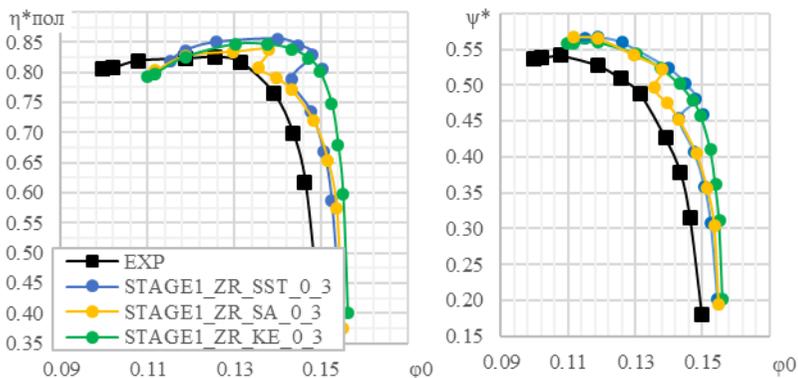


Рис. 1. Интегральные характеристики для различных моделей турбулентности

По ТЗ номинальный коэффициент расхода равен 0.125. Ввиду того, что расчётные характеристики завышают расход относительно экспериментальных, то за номинальный коэффициент расхода принят 0.131. Итоговые параметры в контролируемых точках и требования к параметрам в них представлены в таблице 1. Далее указанные точки представлены на рисунках с характеристиками.

Табл. 2. Параметры в контролируемых точках

Доля расхода	110%	100%	80%	76%
φ_0	0.144	0.131	0.105	0.1
ψ^* , минимум	-	0.502	-	-
$\eta_{\text{пол}}, \text{минимум}$	$\eta_{\text{пол, ном}} - 0.12$	0.86	$\eta_{\text{пол, ном}} - 0.02$	-
Помп. запас, %	-	0	25	31.12
Зап. запас, %	9.09	-	-	-
Гв, кг/с	4.07	3.7	3.96	2.82

Выполнена параметризация геометрии ступени в ПО CONCEPTS NREC AxCent (рис. 2)

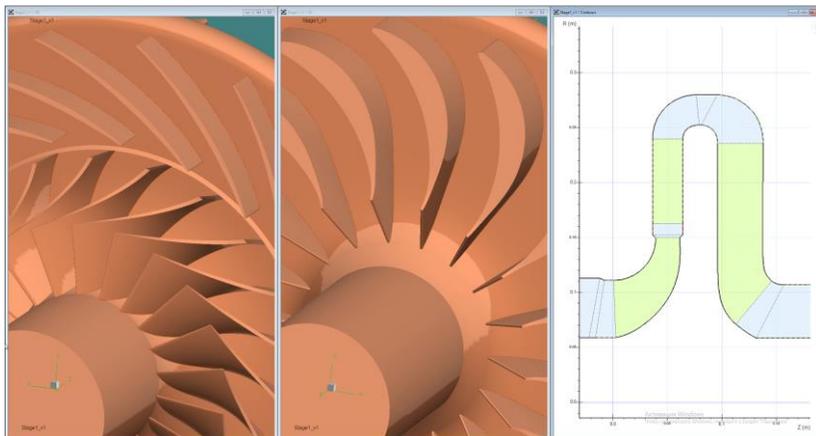


Рис. 2. Параметрическая модель первой ступени в ПО AxCent

Поставлена и решена задача оптимизации. Варьировалось множество различных параметров, отвечающих за обводы, профиля лопаток и другие параметры, итоговое количество параметров – 99. На рисунке 6 представлено сопоставление характеристик модели, с которой начиналась оптимизация (вариант 14 без полостей и галтелей), и финальной (с галтелями и полостями).

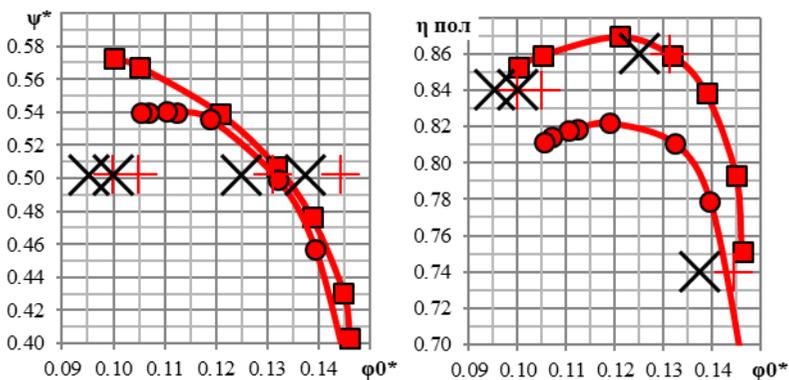


Рис. 3 Расчётные характеристики исходной и оптимизированной ступеней

На стенде АО НИИТК проведены экспериментальные исследования полученной оптимизированной ступени, для упрощения изготовления выполнен ряд упрощений, который сказался на интегральных параметрах (как показали соответствующие расчёты). По результатам испытаний получен недобор КПД относительно ТЗ (рис. 4).

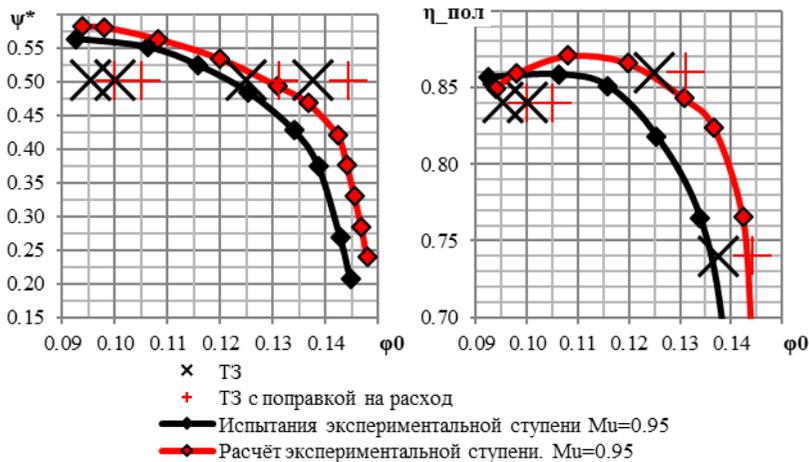


Рис. 4. Сопоставление расчётных и экспериментальных характеристик

Выполнен поиск альтернативной геометрии с послаблением требований ТЗ, в ходе которого найден вариант геометрии с КПД на 1.1% выше, чем у оптимизированного варианта (рис.5).

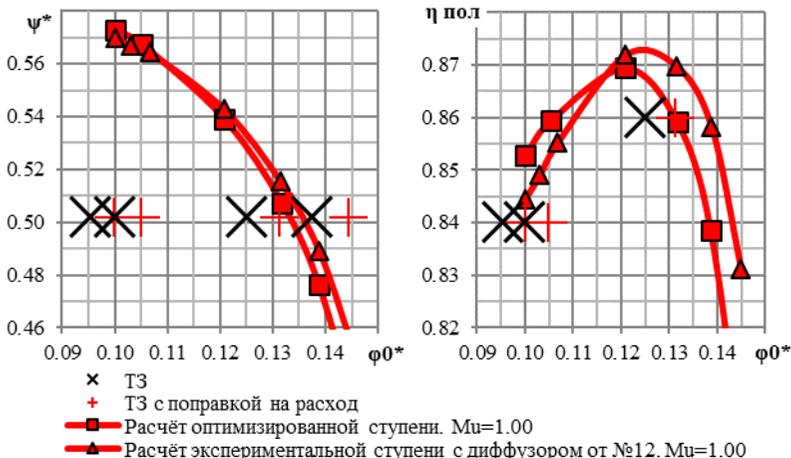


Рис. 5. Расчётные характеристики оптимизированного и альтернативного вариантов геометрии ступени

В ходе работы выполнена оптимизация геометрии ступени центробежного компрессора на новые условия эксплуатации. Ступень обеспечивает удовлетворительный уровень эффективности с учётом ТЗ. Опираясь на результаты моделирования, можно предположить, что в эксперименте КПД ступени на $Mu=0.95$ составит 84.4%, соответственно можно спрогнозировать, что на $Mu=1.00$ КПД составит 84.7%

Литература

1. Japikse D., Marscher W.D., Furst R.B. Centrifugal Pumps Design and Performance
2. C. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows: the Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. Butterworth - Heinemann (Elsevier), 2007
3. Japikse D. Nicholas C. Baines "Introduction to Turbomachinery", Concepts ETI, Inc., 1997
4. NUMECA Int., "Flow Integrated Environment", User Manual, Numeca Int., Brussels, Belgium, 2014.