

Исследование влияния геометрических параметров осерадиальных рабочих колес ЦК с использованием численных методов

Р.Ф. Муртазин, В.А. Футин, А.Г. Сафиуллин (ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»)

Проведено численное моделирование течения в межлопаточных каналах осерадиальных полуоткрытых рабочих колес с помощью программного комплекса FlowVision. Изучено несколько вариантов колес с различными геометрическими параметрами. На основании анализа результатов моделирования из числа изученных отобраны варианты для дальнейшего экспериментального исследования.

Ключевые слова: центробежные компрессоры, осерадиальные рабочие колеса, численное моделирование

Investigation of the influence of geometrical parameters of CC axial-radial impellers based upon digital methods

R.F. Mountazin, V.A. Foutin, A.G. Safiullin

Digital modelling of the flow in the inter-blade channels of semi-covered axial-radial impellers based upon FlowVision program complex has been undertaken. Several impellers with varying geometrical parameters have been treated. The analysis of the modelling results made it possible to select the variants for the further experimental investigation.

Key words: centrifugal compressors, axial-radial impellers, digital modelling.

К настоящему времени в ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» создан ряд многовальных центробежных компрессоров (ЦК) типа «Аэроком» на основе типовых осерадиальных полуоткрытых рабочих колес (РК), который представлен в каталоге продукции «Выпуск центробежных компрессоров ОАО «Казанькомпрессормаш» и ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа». РК имеют составную конструкцию, включающую входной вращающийся аппарат и основной диск. Лопатки двух элементов стыкуют по линии, проходящей через ось [1]. Такая конструкция продиктована технологией изготовления на момент ее разработки и прочностью. Трех типов РК должно было быть достаточно для создания ЦК, работающих в диапазоне условных коэффициентов расхода $\Phi_0 = 0,04...0,145$. Получение заданного Φ_0 достигают подрезкой РК в меридиональном сечении. Однако экспериментальные исследования характеристик элементов типовых ступеней

показали необходимость создания нового РК с $\Phi_0 = 0,04...0,055$, так как при подрезке третьего колеса (рис. 1) при $\Phi_0 = 0,055$ начинает резко падать его КПД.

Резкое падение КПД, вероятно, вызвано увеличением площади участка лопатки с углом $\beta_l = 90^\circ$ (рис. 2) по отношению ко всей площади лопатки. В связи с этим основной целью при проектировании нового РК стало уменьшение площади участка с $\beta_l = 90^\circ$. Изменению подвергли меридиональный контур РК. Более десяти вариантов исполнения РК были исследованы по программе расчета квазитрехмерного потока [2], т.е. при разложении трехмерного течения на два двухмерных (осредненное осесимметричное течение и течение на осесимметричных поверхностях тока). Эти две задачи взаимосвязаны. Первая задача позволяет определять осесимметричные поверхности и переменную толщину слоя, необходимые для расчета обтекания решеток профилей. В рамках второй задачи определяют поле



Рис. 1. Исходный вариант рабочего колеса

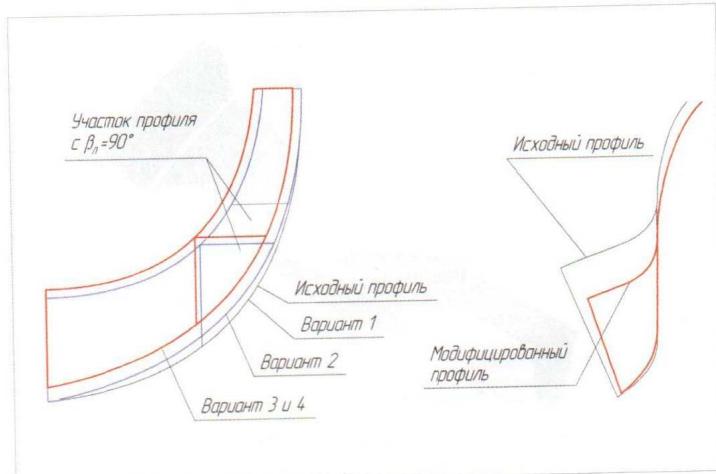


Рис. 2. Варианты форм каналов исследуемых колес

скоростей и давлений на контурах лопаток и в межлопаточных каналах. Анализ течения на осесимметричных поверхностях тока позволяет определить геометрические параметры формы канала, оказывающие благоприятное влияние на характер потока. В результате выбраны четыре варианта перспективной формы канала РК (рис. 2) для дальнейшего исследования на основе численных методов.

Меридиональные контуры исходного варианта и варианта 1 совпадают. При этом у варианта 1 участок с $\beta_l = 90^\circ$ на 23% меньше, чем у исходного. Варианты 1 и 2 отличаются по втулочному контуру. Угол направления касательной на входе в канал по втулочному контуру у варианта 2 на 5° больше. Поэтому контур втулочной поверхности варианта 2 «поджат». Разница между контурами в месте максимального прогиба около 3 мм. У варианта 3 по сравнению с вариантом 2 увеличены диаметр втулки d_0 и диаметр лопаток на периферии D_0 на входе в колесо соответственно на 9 и 3% и уменьшен осевой размер на 3%. При этом сохранены углы направления касательных на входе и на выходе втулочных и периферийных поверхностей. Меридиональные контуры вариантов 3 и 4 одинаковы по геометрическим параметрам, отличие заключается в числе лопаток (соответственно 17 и 19).

Численное моделирование течения в межлопаточных каналах осерадиальных полуоткрытых РК осуществляли с помощью программного комплекса FlowVision, в котором реализовано численное решение системы уравнений Навье–Стокса [3].

Трехмерная модель (рис. 3) включала межлопаточный канал РК с входным участком в виде кольцевого канала и выходным участком в форме безлопаточного диффузора, заканчивающимся диаметром четвертого сечения ступени. При создании расчетной модели предполагали течение газа в теплоизолированном кор-

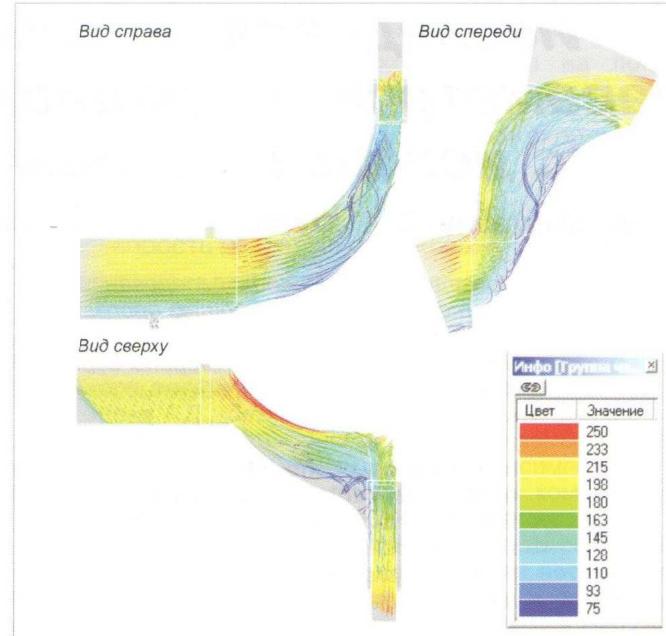


Рис. 4. Относительная скорость. Исходный вариант

пусе, т.е. без учета теплообмена, без протечек и перетечек, причем зазор между передней стенкой и торцами лопаток равен нулю. При расчете использовали прямоугольную сетку с измельчением на поверхностях канала РК. Варианты конструкции межлопаточного канала РК близки по форме расчетной области. В связи с этим для создания расчетной модели последующего варианта проводили замену трехмерной модели, а параметры модели, методы расчета, граничные условия и начальную сетку оставляли прежними.

Применили расчетную модель «Полностью сжимаемая жидкость», предполагающую пространственный вязкий поток [4]. В качестве опорных величин внешних условий на входе определены давление $p_0 = 101\ 330$ Па и температура $T_0 = 293$ К при нормальных составляющих скорости, т.е. без закрутки. Задана SST-модель турбулентности, рекомендаемая разработчиками программы для околозвуковых и сверхзвуковых течений. Рабочая среда – воздух. Частота вращения n соответствует числу Маха $M_u = 1,1$ и составляет 24 088 об/мин. Начальная расчетная сетка задана с размером ячейки по осям X , Y , Z , близким к нормальной толщине лопатки на периферии. Для граничного условия «вращающаяся стенка» введен первый уровень адаптации с двукратным измельчением начальной сетки на вращающихся поверхностях лопатки и втулки. Течение в расчетной области определено как стационарное. Режим работы ступени, определяемый массовым расходом, задавали нормальной массовой скоростью на выходе из ступени, кратной числу лопаток колеса, так как исследовали один канал РК.

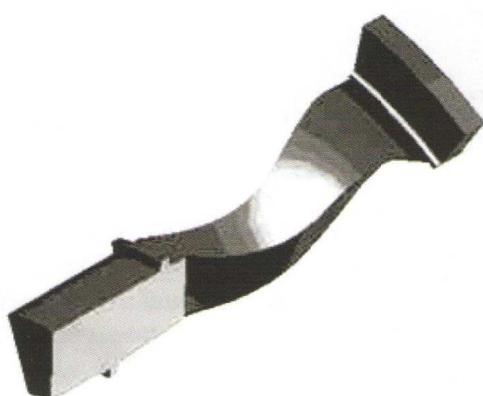


Рис. 3. Модель межлопаточного канала



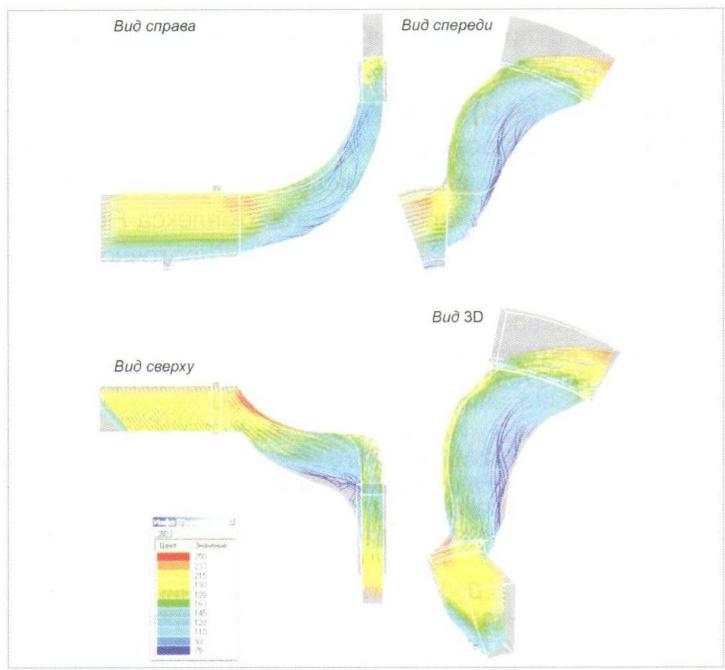


Рис. 5. Относительная скорость. Вариант 1

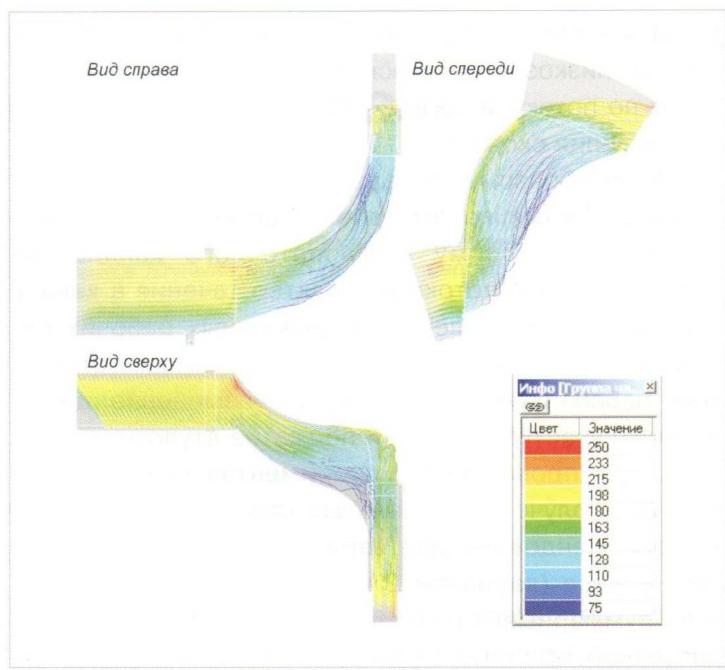


Рис. 7. Относительная скорость. Вариант 3

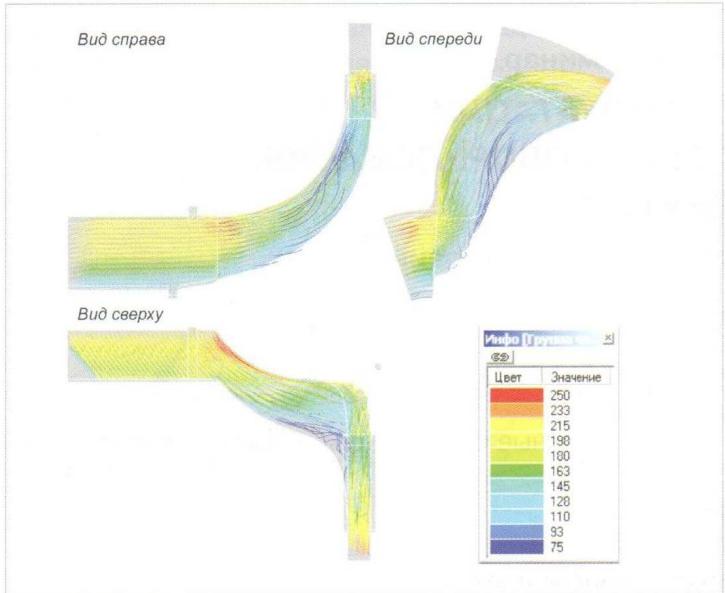


Рис. 6. Относительная скорость. Вариант 2

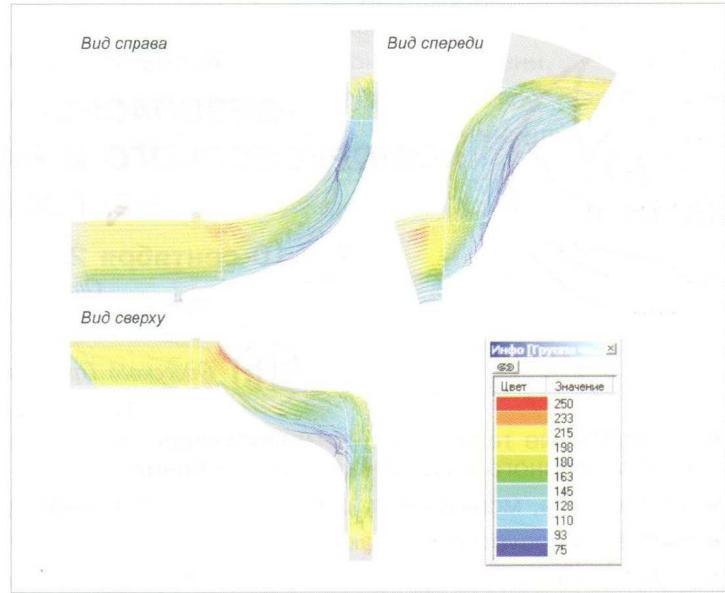


Рис. 8. Относительная скорость. Вариант 4

Возможности программного комплекса FlowVision позволяют получить визуальную картину течения. Один из методов визуализации можно использовать для представления пространственных линий тока относительной скорости в межлопаточном канале. На рис. 4 – 8 показана структура течения в трех проекциях и в трехмерном виде, с указанием уровня скоростей вдоль линий тока. Для всех вариантов рассматривается одинаковый режим по расходу в области рабочей точки.

Как видно, в каждом из вариантов присутствует низкоэнергетическая область, образующаяся у передней стороны лопатки, со скоростями около 75 м/с. В общей картине течения в большей степени выделяет-

ся данная область у исходного варианта. При этом в низкоэнергетической области имеет место резкое изменение направления скоростей во всех проекциях, что усиливает неравномерность потока и является источником возникновения вторичных течений. У варианта 1, имеющего укороченный прямой участок лопатки, картина течения чуть более сглажена при небольшом увеличении количества линий тока, составляющих низкоэнергетическую область. Поджатие втулочного контура в варианте 2 оказывает благоприятное воздействие на течение в межлопаточном канале. Линии тока с низкими скоростями сглаживаются и «встраиваются» в структуру потока. Близки картины течения у варианта 2 и варианта 3. Увеличение числа

лопаток в варианте 4 приводит к увеличению составляющих низкоэнергетической области и смещению ее вверх по потоку, а также к более резкому изменению направления скоростей.

Таким образом, проведено исследование влияния геометрических параметров, определяющих пространственную форму межлопаточного канала, на структуризацию потока и характер течения в канале осерадиального колеса для различных рабочих режимов. Наиболее существенными из рассматриваемых параметров можно считать изменение длины прямого участка лопатки и поджатие втулочного контура. Для проведения экспериментальных исследований и получения модельных характеристик ступени, рекомендованы два варианта исполнения рабочего колеса (варианты 2 и 3), имеющие равнозначные суммарные газодинамические характеристики расчетной области. Оба варианта имеют укороченный прямой участок лопатки и поджатый втулочный

контур, но отличаются по втулочному отношению и осевому размеру.

Выполненные расчеты вариантов конструкции межлопаточного канала осерадиального колеса показали целесообразность применения численных методов газовой динамики на основе программного комплекса FlowVision в расчетных исследованиях элементов проточной части центробежного компрессора.

Список литературы

1. Пат. РФ 2109172 RU. МПК F 04 D 17/08. Центробежный компрессор.
2. Поташев А.В., Поташева Е.В. Разработка методики и программы расчета осредненного осесимметричного потока с учетом переменности стеснения потока//Компрессорная техника и пневматика. 2005. № 2.
3. FlowVision. Руководство пользователя. Версия 2.5.2-2008.
4. Афанасьев Б.В. Расчетные исследования параметров потока в рабочем колесе центробежного компрессора с пространственными лопатками двух типов на основе программного комплекса FlowVision//Тр. Всерос. науч.-практ. конф. «Инженерные системы–2008» М.: 2008.



X научно-технический семинар «БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОМПРЕССОРНОГО И НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

7 – 10 сентября 2010 года, г. Одесса, Украина

Организатор семинара



«ТРИЗ» ЛТД ООО, г. Сумы



при участии
Одесского Припортового завода, г. Южный

Тематика семинара:

- современные технологии, комплектующие, материалы и вспомогательные системы для повышения надежности компрессорного и насосного оборудования;
- диагностика, мониторинг, определение остаточного ресурса;
- энерго- и ресурсосберегающие технологии;
- модернизация оборудования с целью повышения производительности и экономичности;
- усовершенствование системы обслуживания и управления ремонтами;
- деловое общение.

На семинар по традиции приглашаются ведущие специалисты технических служб предприятий химической, газовой и нефтехимической промышленности.

Для предприятий-поставщиков имеется возможность организации выставок и презентаций.

Место проведения семинара: оздоровительный комплекс «Чабанка», пгт. Черноморское, Коминтерновский район, Одесская обл., Украина.

Информационные спонсоры: журнал «Химическая техника» (Москва); журнал «Компрессорная техника и пневматика» (Москва); журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение» (Москва); журнал «Мир техники и технологий» (г. Харьков).

Стоимость участия в семинаре – эквивалент \$300 за каждого участника.

Оргкомитет семинара: «ТРИЗ» ЛТД ООО, Украина, 40020 г. Сумы, ул. Машиностроителей, 1.

Тел.: (0542) 700-076, 700-075, **факс:** (0542) 786-801, 700-075,

e-mail: economist@triz.sumy.ua, marketing@triz.sumy.ua, triz@triz.sumy.ua

*Приглашаем главных механиков и представителей технических служб,
а также заинтересованные компании и фирмы к участию в семинаре.*

