ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТОКА В ДИФФУЗОРЕ ДЛЯ СТУПЕНИ С НИЗКОЙ РЕАКТИВНОСТЬЮ

А.М. Ахметзянов, Е.В. Дубинин, **Н.Г. Хасанов**
АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», Казань, niitk@niitk.ru

Потребности как мирового, так и отечественного рынка центробежного компрессоростроения обуславливают неизбежное применение высокорасходных ступеней сжатия для увеличения удельной производительности технологических линий в которых они задействованы [1, 2].

Проводимый в АО НИИТК комплекс мероприятий по созданию нового унифицированного ряда ступеней сжатия для центробежных компрессоров с межопорным расположением рабочих колёс высокой динамической стабильности, направлен на расширение диапазона применения по расходу и увеличению энергетической эффективности ныне используемых при проектировании проточных частей. Ограничение применимости существующей базы ступеней на уровне коэффициента расхода Фо*=0.09 не отвечает современным требованиям по расходности корпусов сжатия и влечёт за собой необходимость проектирования высокорасходных центробежных ступеней в диапазоне до Фо*=0.15-0.16.

Малый осевой размер ступени и высокое втулочное соотношение рабочего колеса, обеспечивающие повышенную динамическую стабильность ротора, совместно с высоким коэффициентом расхода приводят к быстрому развороту потока из осевого в радиальное. При работе на высоких условных числах Маха, данный колеса проявляют склонность к раннему помпажу, что неприемлемо для многоступенчатого компрессора [3]. Один из очевидных путей повышения помпажного запаса – применение колес с низкой степенью реактивности:

$$\rho = H_{0-2}/H_{0-6},$$

то есть отношение работы рабочего колеса (РК) к работе всей ступени, так как колесо с меньшей нагрузкой на лопатку склонно к меньшему вихреобразованию ввиду повышенных объемных расходов на выходе из колеса.

Недостатком такого подхода является необходимость тщательного проектирования последующих за РК статорных элемен-

тов, которым необходимо преобразовать в полезную работу повышенный динамический напор.

До текущего момента, в НИИТК данная проблема решалась тщательно профилированным развитым лопаточным диффузором (ЛД), пример ступени показан на рисунке 1:

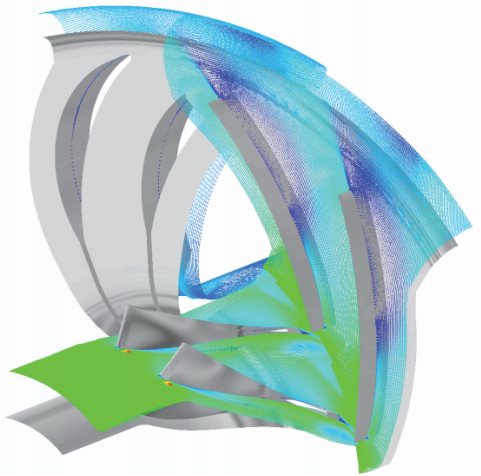

Рис. 1. Проточная часть с коэффициентом расхода $\varphi_0 = 0{,}142$

Ступень с ЛД, несмотря на высокую эффективность в рабочей точке, имеет более короткую характеристику ввиду запирания диффузора. В настоящей работе описан опыт применения безлопаточного диффузора (БЛД) к колесу с низкой степенью реактивности.

Применение классических рекомендаций к проектированию БЛД не дало положительных результатов. Задача решалась численно. На первом этапе, исследовано влияние различных геометрических параметров на эффективность БЛД с помощью автоматической оптимизации в программном комплексе Numeca Fine/Design 3D. Целевой функцией являлся максимум политропного КПД при коэффициенте расхода $\varphi_0 = 0.13$, параметрами оптимизации положение точек, задающих сплайны распределения лопаточных углов и меридиональных обводов по длине проточной части. Так же проведен реверс-инжиниринг отсканированных проточных частей зарубежных компрессоров с высоким коэффициентом расхода. Исследование газодинамических характеристик осуществлено CFD-

Rans методом, с учётом притрактовых полостей в стационарной постановке.

Результаты исследования показали, что ключевое влияние на эффективность ступени с БЛД оказывает контроль меридиональной скорости в рабочем колесе, а именно, её равномерность, что позволяет ожидать более равномерной и симметричной относительно центра канала эпюры потока на выходе из рабочего колеса. Так же, профилирование колеса на выходе, должно прижимать поток к передней стенке диффузора, что позволяет осуществить обтекание поворотного колена по большему радиусу с меньшими потерями.

Профилирование колеса с контролем эпюры потока на выходе возможно осуществить только по трем сечениям (втулочное, промежуточное, периферийное). При этом образующая лопатки является нелинейной («bowed blade»), что требует проверки на технологичность и прочность. На рисунке 2 приведены струйки тока в разработанной ступени на оптимальном режиме, исследования продолжаются.

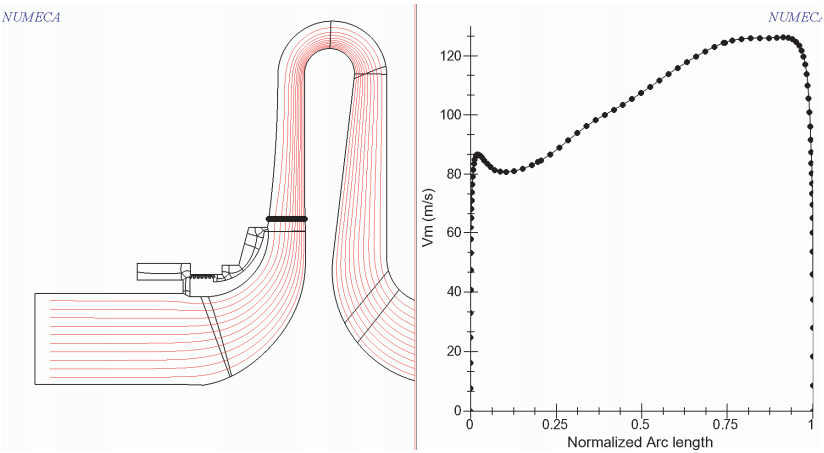

Рис. 2. Струйки тока в ступени с БЛД и эпюра меридиональной скорости на выходе из РК

Вывод: проектирование ступени с БЛД для ступени с низкой реактивностью требует тщательного контроля меридиональной скорости, возможного путем профилирования РК по трем сечениям.

Литература

1. Санитиро Токуяма и др. Реализация разработки высокоэффективного компрессора нового поколения для газоперекачивающей установки. (Труды 16 Международной научно-технической конференции по компрессоростроению). Т1. - СПб. АСКОМП, 2014 – с:. 44-53.
2. Юн В.К., Рейдер А.С. Унифицированные центробежные компрессоры для ОАО «Газпром». (Труды 16 Международной научно-технической конференции по компрессоростроению). Т1. - СПб. АСКОМП, 2014. – с: 132-140.
3. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров: Пер. с англ. – М.: Мир, 2000. – 688 с., ил.