

Центробежные компрессоры находят широкое применение в химической, нефтехимической, нефте- и газодобывающей, металлургической и других отраслях промышленности. При этом большая единичная энергоемкость центробежного компрессора обуславливает высокие требования к их экономичности и надежности. Одним из основных элементов проточной части центробежного компрессора, который оказывает весьма существенное влияние как на экономичность работы центробежного компрессора, так и на показатели их надежности является выходное устройство. Наиболее широко применяемым в практике компрессоростроения выходным устройством является кольцевая сборная камера (КСК) [1]. В данной статье рассмотрено влияние изменения формы КСК на эффективность работы концевой ступени компрессора. Для оценки влияния изменения формы КСК (отношения ширины (B) к высоте (H) камеры) рассмотрим серию вариантов ступеней КС-52 - КС-57, у которых при сохранении геометрии рабочего колеса и безлопаточного диффузора изменялась лишь форма поперечного сечения КСК. На рис. 1 приведены зависимости коэффициента потерь $\zeta = f(B/H)$, полученные расчетным путем по математической модели [2] для пяти режимов работы. Как видно из этих графиков, наихудшей эффективностью обладают кольцевая камера с формой поперечного сечения, вытянутой в радиальном направлении, у которых отношение $B/H = 1$ (КСК №1 и КСК №2). В этих камерах при уменьшении внутреннего радиуса камеры $R_{вн}$ и ширины B происходит увеличение потерь, а, следовательно, рост потерь КПД на всех режимах работы. Наибольшую аэродинамическую эффективность имеет КСК №3 круглой формы поперечного сечения. Близка к ней по эффективности КСК №4 квадратного поперечного сечения со скругленными углами ($B/H = 1$). Увеличение B/H (КСК №5 и №6) вызывает значительно меньший рост потерь КПД. Следовательно, наиболее существенное влияние на показатели работы КСК при отклонении формы сечения от круглой происходит при отношении $B/H = 1$. ζ B/H Рис. 1 - Влияние отношения B/H на величину коэффициента потерь ζ КСК С уменьшением B/H растет интенсивность обратного течения, усиливается неоднородность потока в начальных сечениях КСК и патрубка, увеличиваются размеры вихревой зоны на его задней стенке. Поскольку при повышенных расходах указанные процессы усиливаются и оказывают существенное влияние на величину потерь, то вполне закономерно, что уменьшение внутреннего радиуса $R_{вн}$ и ширины B камеры ведет к росту потерь. Вместе с тем, переход от круглой формы сечения к прямоугольной вызывает появление дополнительных гидравлических потерь, особенно при течении закрученного потока. Совокупное действие указанных видов потерь, по существу, и является причиной увеличения крутизны характеристик КСК при снижении $R_{вн}$ и B . С увеличением этих геометрических параметров в КСК №5 и №6 происходит некоторое улучшение структуры потока в сечениях патрубка, в основном, из-за менее интенсивного обратного течения,

что улучшает показатели работы КСК. Однако, с другой стороны, ухудшается однородность потока в начальных сечениях КСК, появляются дополнительные потери, обусловленные отклонением формы сечения канала от круглой ($B/H = 1$) и возрастанием потерь от расширения. На оптимальных режимах работы худшие показатели работы имеет КСК с прямоугольным сечением, вытянутым в радиальном направлении ($B/H = 1$). По сравнению с кольцевой камерой круглого сечения, снижение эффективности работы камеры прямоугольного сечения, обусловлено большим гидравлическим сопротивлением сечений и худшей структурой потока в их начальной части и в патрубке из-за имеющегося слабого обратного течения. Для кольцевых сборных камер с сечением, вытянутым вдоль оси ($B/H > 1$), возрастание коэффициента потерь ζ на указанных режимах работы следует отнести как за счет больших потерь на расширение, так и усиления рециркулирующего течения. Следовательно, увеличение отношения B/H приводит к уменьшению потерь и величины площади F . Однако, при величине B/H более 2,5 его влияние на величину потерь и площади незначительно, при этом также могут возрастать габариты центробежного компрессора. Таким образом, рекомендуемые значения параметра B/H находятся в диапазоне $B/H = 1,0 - 1,6$. Показатели работы КСК, наряду с собственными геометрическими характеристиками, во многом определяются параметрами элементов ступени. К таким параметрам относятся: относительный диаметр и относительная ширина диффузора. Исследование влияния величины безлопаточного диффузора в ступенях с кольцевой камерой проводилось на ступенях КС-54, КС-60 и КС-66, в которых относительный диаметр равнялся соответственно 1,56, 1,72 и 1,85. КСК названных ступеней имели круглую форму сечения. На рис. 2 представлена зависимость для КСК №№ 3, 9, 14. По мере увеличения относительного диаметра величина потерь падает. Экспериментальные характеристики КСК №№ 3, 9, 14 [3] также показывают, что увеличение приводит к существенному снижению коэффициента ζ в зоне повышенных значений угла. Это обусловлено тем, что с увеличением растет площадь F_4 , так и расчетная площадь F поперечного сечения КСК. При этом происходит снижение уровня скоростей на входе в КСК и, соответственно, динамического давления. В канале КСК понижение скорости является следствием двух факторов: уменьшения скорости c_4 на входе в КСК и увеличения площади сечения КСК F . Эти факторы в совокупности приводят к тому, что при углах входа потока в камеру снижение абсолютных потерь в КСК, по сравнению с уменьшением динамического давления, происходит более интенсивно, что и вызывает повышение эффективности работы КСК. На режимах, где коэффициент расхода Φ больше оптимальных значений, коэффициент потерь безлопаточного диффузора сравниваемых ступеней одинаков (рис. 3). ζ

Рис. 2 - Изменение величины потерь КСК круглой формы в зависимости от значения относительного диаметра

Рис. 3 - Газодинамические

характеристики ζ с уменьшением коэффициента Φ величина становится тем больше, чем выше значение Φ . Максимальное значение коэффициента получено для ступени КС-54 с наименьшим значением параметра Φ . Увеличение снижает эффективность работы ступени и сдвигает их характеристики в сторону больших расходов. Из этих же графиков видно, что в ступенях КС-54 и КС-60 имеет место рассогласование в работе их элементов. На рис. 4 представлен график изменения величины ζ в зависимости от Φ для КСК с различным значением B/H : $\Phi = 1,56$ ($B/H = 0,5$); $\Phi = 1,72$ и $\Phi = 1,85$ ($B/H = 1$); $\Phi = 1,97$ ($B/H = 3,8$). Как видно из графика увеличение относительного диаметра приводит к снижению величины коэффициента потерь ζ ступени и повышению их эффективности. Таким образом, в результате анализа рекомендовано значение Φ в диапазоне $1,7 - 1,9$. ζ

Рис. 4 - Изменение величины потерь в несоосных КСК с различным значением относительного диаметра. На основании вышеизложенного рекомендовано значение отношения ширины камеры к ее высоте $B/H = 1,0 - 1,6$, значение величины относительного диаметра диффузора рекомендуется выбирать в диапазоне $1,7 - 1,9$, что соответствует минимальному значению величины потерь в рассмотренных кольцевых сборных камерах центробежного компрессора.