

Ю. А. Фирсова

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ КОЛЬЦЕВЫХ СБОРНЫХ КАМЕР ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Ключевые слова: кольцевая сборная камера, центробежный компрессор, коэффициент потерь.

Рассмотрено влияние геометрических параметров на величину потерь КПД.

Keywords: ring collection chamber, a centrifugal compressor, the loss factor.

The influence of geometric parameters on the efficiency losses.

Центробежные компрессоры находят широкое применение в химической, нефтехимической, нефте- и газодобывающей, металлургической и других отраслях промышленности. При этом большая единичная энергоёмкость центробежного компрессора обуславливает высокие требования к их экономичности и надёжности. Одним из основных элементов проточной части центробежного компрессора, который оказывает весьма существенное влияние как на экономичность работы центробежного компрессора, так и на показатели их надёжности 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 $B/H < 1$.

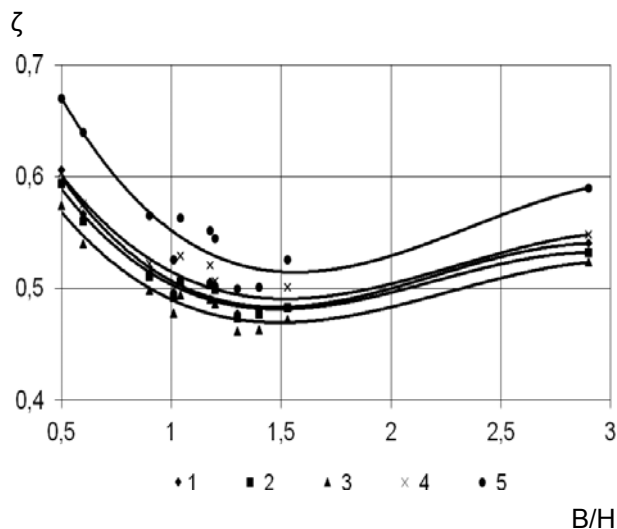


Рис. 1 – Влияние отношения B/H на величину коэффициента потерь ζ КСК

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 несущественно, 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 $\bar{D}_4 = D_4 / D_2$ и относительная ширина $\bar{b}_4 = b_4 / b_2$ диффузора.

Исследование влияния величины $\bar{D}_4$ безлопаточного диффузора в ступенях с кольцевой камерой проводилось на ступенях КС-54, КС-60 и КС-66, в которых относительный диаметр $\bar{D}_4$ равнялся соответственно 1,56, 1,72 и 1,85. КСК названных ступеней имели круглую форму сечения.

На рис. 2 представлена зависимость $\zeta = f(\bar{D}_4)$ для КСК №№ 3, 9, 14. По мере увеличения относительного диаметра $\bar{D}_4$ величина потерь падает.

Экспериментальные характеристики КСК №№ 3, 9, 14 [3] также показывают, что увеличение $\bar{D}_4$ приводит к существенному снижению коэффициента ζ в зоне повышенных значений угла α_4 . Это обусловлено тем, что с увеличением $\bar{D}_4$ 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 $\alpha_4 > \alpha_{4\text{опт}}$ 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 ζ_{3-4}^* безлопаточного диффузора сравниваемых ступеней одинаков (рис. 3).

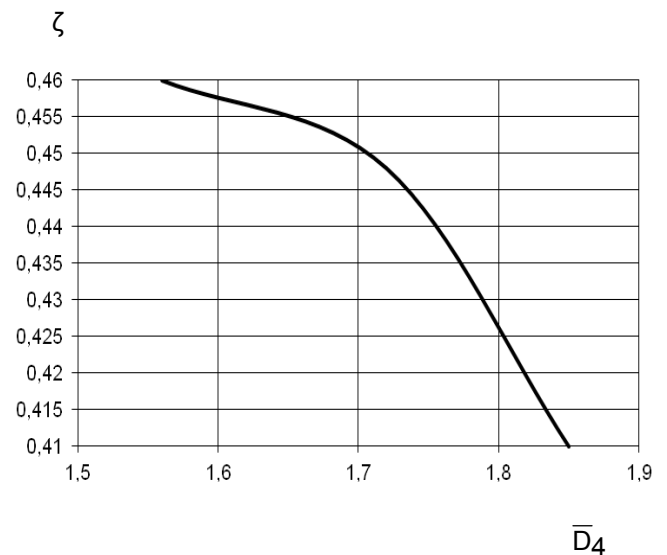


Рис. 2 – Изменение величины потерь КСК круглой формы в зависимости от значения относительного диаметра $\bar{D}_4$

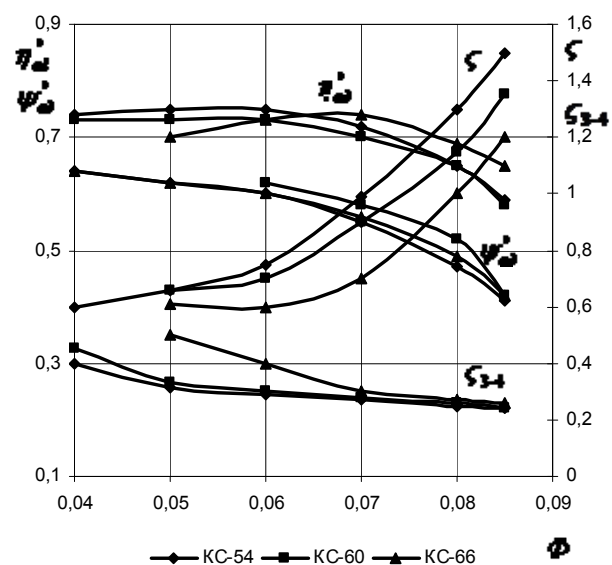


Рис. 3 – Газодинамические характеристики

С уменьшением коэффициента Φ величина ζ_{3-4}^* становится тем больше, чем выше значение $\bar{D}_4$. Максимальное значение коэффициента $\eta_{ад}^*$ получено для ступени КС-54 с наименьшим значением параметра $\bar{D}_4$. Увеличение $\bar{D}_4$ 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 $\bar{D}_4$ для КСК с различным значением B/H : $\bar{D}_4 = 1,56$ ($B/H = 0,5$);

$\bar{D}_4 = 1,72$ и $\bar{D}_4 = 1,85$ ($B/H = 1$); $\bar{D}_4 = 1,97$ ($B/H = 3,8$). Как видно из графика увеличение относительного диаметра $\bar{D}_4$ приводит к снижению величины коэффициента потерь ζ ступени и повышению их эффективности. Таким образом, в результате анализа рекомендовано значение $\bar{D}_4$ в диапазоне 1,7 – 1,9.

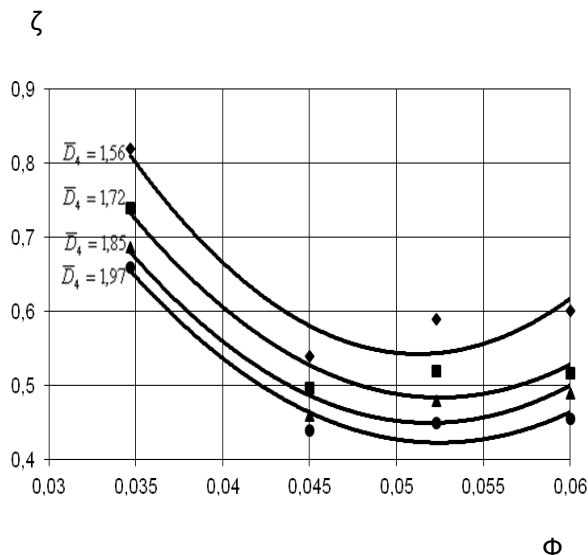


Рис. 4 – Изменение величины потерь в несоосных КСК с различным значением относительного диаметра $\bar{D}_4$

На основании вышеизложенного рекомендовано значение отношения ширины камеры к ее высоте $B/H = 1,0 - 1,6$, значение величины относительного диаметра диффузора $\bar{D}_4$ рекомендуется выбирать в диапазоне 1,7 – 1,9, что соответствует минимальному значению величины потерь в рассмотренных кольцевых сборных камерах центробежного компрессора.

Литература

1. Фирсова, Ю.А. Влияние окружной неравномерности, создаваемой выходным устройством, на работу центробежного компрессора/ Ю.А. Фирсова, И.Г. Хисамеев//Труды XV Международной научно-технической конференции по компрессорной технике. Том I/ЗАО «НИИтурбо-компрессор им. В.Б. Шнеппа». – Казань: Изд-во «Слово». – 2011. – С. 353-362.
2. Фирсова, Ю.А. Выходные устройства центробежного компрессора. Потери в них и их математическое описание/Ю.А. Фирсова, И.Г. Хисамеев // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2010. – № 9. – С. 483-489.
3. Фирсова, Ю.А. Сравнение расчетных и экспериментальных значений окружной неравномерности давления, создаваемой кольцевой сборной камерой/ Ю.А. Фирсова, Э.Р. Хабибуллина, И.Г. Хисамеев//Вестник Казан. технол. ун-та, том 15. – 2012. – № 12. – С. 164-166.

© Ю. А. Фирсова - к.т.н., доц. каф. холодильной техники и технологий КНИТУ, firsovay@mail.ru.

© I. A. Firsova – Ph.D, Associate Professor at the department “Refrigeration equipment and technologies”, telephone number, firsovay@mail.ru.