

Области применения мультипликаторных центробежных компрессоров производства ОАО «Казанькомпрессормаш»

И.Г. Хисамеев (ОАО «Казанькомпрессормаш»), А.Г. Сафиуллин, Я.З. Гузельбаев,
С.Г. Коханов, Р.Ф. Муртазин, В.В. Старцев (ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»),
Г.Г. Петросян (ОАО «Спецнефтегазпроект»)

В результате 25-летней практики по разработке мультипликаторных центробежных компрессоров создана единая элементная база для конструкций различного назначения и компоновочных решений. Приведены описания элементной базы, конструкций, создаваемых на их основе, и области их применения.

Ключевые слова: мультипликаторный центробежный компрессор, корпус сжатия, мультипликатор, охладитель газа, ряд, база, типоразмер.

Applications of centrifugal compressors with step-up gears, produced by JSC «Kazancompressormash»
I.G. Khisameev, A.G. Safiullin, Ya.Z. Guzelbaev, S.G. Kokhanov, R.F. Murtazin, V.V. Startsev, G.G. Petrosyan
Unified components for various-purpose designs and arrangement solutions have been created as a result of 25 years of practice in development of centrifugal compressors with step-up gears. Description of components, designs created on their basis and their applications have been presented.

Key words: centrifugal compressors with step-up gear, compression body, step-up gear, gas cooler, series, component type, standard size.

Мультипликаторные центробежные компрессоры (МЦК) – это конструктивно объединенные в одно целое повышающая зубчатая передача (мультипликатор) и рабочие ступени компрессора. Валы роторов компрессора снабжены шестернями и одновременно выполняют функции шестерен зубчатой передачи, а рабочие колеса ступеней установлены на консолях валов-шестерен.

По сравнению с одновальными центробежными компрессорами МЦК имеют более высокий уровень эффективности (КПД) и более широкую зону рабочей характеристики за счет выгодной (с термодинамической точки зрения) схемы сжатия. Кроме того, габаритные размеры МЦК существенно меньше, а заводская готовность при монтаже и пусконаладочных работах выше.

За последние годы значительно увеличилась номенклатура компримируемых газов и расширился диапазон параметров компрессоров по давлению и производительности. Накопленный опыт в области разработки и изготовления МЦК позволил ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» и ОАО «Казанькомпрессормаш» создать МЦК для сжатия фреона, пропилена, хлора, углеводородов. Поле параметров МЦК, разрабатываемых ЗАО «НИИтурбокомпрессор», охватывает диапазон производительностей $V = 30 \dots 3\,300 \text{ м}^3/\text{мин}$ и обеспечивает степень сжатия газа π_k до 60.

Разработка и изготовление компрессоров осуществляется на основе унифицированных типоразмерных рядов функционально обособленных элементов конструкции: корпусов сжатия, мультипликаторов, охладителей газа и т.п. Параметры и характеристики этих элементов взаимосвязаны, экспериментально изучены и проверены практикой. На их основе выполняются про-

ектировочные расчеты компрессора на заданные условия эксплуатации, по результатам которых определяются необходимые для этого состав и типоразмеры конструктивных элементов.

Работы по усовершенствованию, повышению надежности и эффективности функциональных составных частей осуществляются специализированными подразделениями параллельно и независимо от процесса проектирования компрессоров. Внедрение новых разработок проводится по завершению испытаний и получения эмпирических данных, необходимых для достоверного прогноза характеристик компрессоров.

МЦК komponуются из трех основных функциональных составных частей: корпуса сжатия, мультипликатора и охладителя газа. Каждая составная часть представлена параметрическим рядом.

Ряд корпусов сжатия (рис. 1), применяемый в разработках института, представляет ряд геометрически

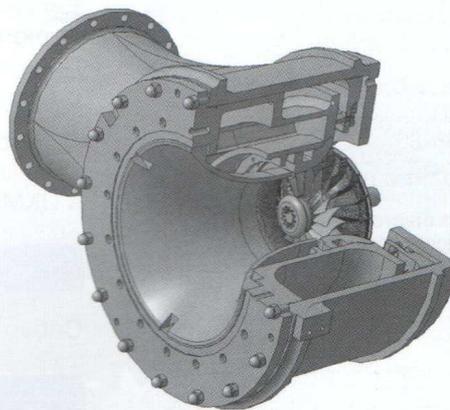


Рис. 1. Корпус сжатия

подобных центробежных ступеней концевой типа и включает девять типоразмеров с рабочими колесами диаметром $D_{2\text{НОМ}} = 180...1200$ мм, обеспечивая возможность вариации производительности $V_{\text{НОМ}}$ от 30 до 3300 м³/мин:

Типоразмер	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{2\text{НОМ}}$, мм	180	240	300	380	480	600	750	950	1200
$V_{\text{НОМ}}$, м ³ /мин	30...80	140	220	350	560	900	1400	2200	3300

Основу проточной части ступеней составляют высокорасходные и высокопрочные осерадиальные полуоткрытые рабочие колеса с окружными скоростями $u_2 \leq 400$ м/с.

Испытания четырехзвенных концевых ступеней с рабочими колесами диаметром $D_{2\text{НОМ}} = 282...300$ мм на аттестованном экспериментальном стенде института показали их высокую эффективность. При условном числе Маха $M_{u_2} = 1,1$ политропный КПД $\eta_{\text{пол}}$ в рабочей точке составил 0,84, а коэффициент напора $\psi^* = 0,61$.

Ряд зубчатых передач включает четыре типоразмера конструктивно подобных одноступенчатых мультипликаторов:

Типоразмер	A	B	C	E
Диаметр делительной окружности зубчатого колеса D , мм	700	1 000	1 400	2 000
Частота вращения зубчатого колеса n , об/мин	3 000	3 000	1 500	1 500

Диаметры делительных окружностей зубчатых колес $D = 700...2000$ мм, что обеспечивает возможность создания многоступенчатых МЦК в диапазоне производительности 30...3300 м³/мин с применением всей номенклатуры ряда корпусов сжатия. Частота вращения зубчатых колес первых двух баз ряда $n = 3000$ об/мин, вторых двух баз – $n = 1500$ об/мин, частота вращения валов-шестерен может варьироваться от 5000 до 60000 об/мин.

Общий вид мультипликатора с двумя валами-шестернями для МЦК с выносными охладителями газа показан на рис. 2. Опыт создания МЦК на основе этих мультипликаторов показал их надежность и высокую динамическую устойчивость.

Для отвода теплоты от сжимаемого газа в МЦК применяют теплообменные аппараты с водяным или воздушным охлаждением. Аппараты воздушного охлаждения устанавливаются на открытом воздухе и оснащаются вентиляторами с частотными преобразователями для регулирования температуры сжимаемого газа в зависимости от производительности МЦК и температуры окружающего воздуха.

В конструкциях многоступенчатых МЦК ЗАО «НИИ-турбокомпрессор» применяются водяные охладители газа двух типов – встроенные и выносные. Первый

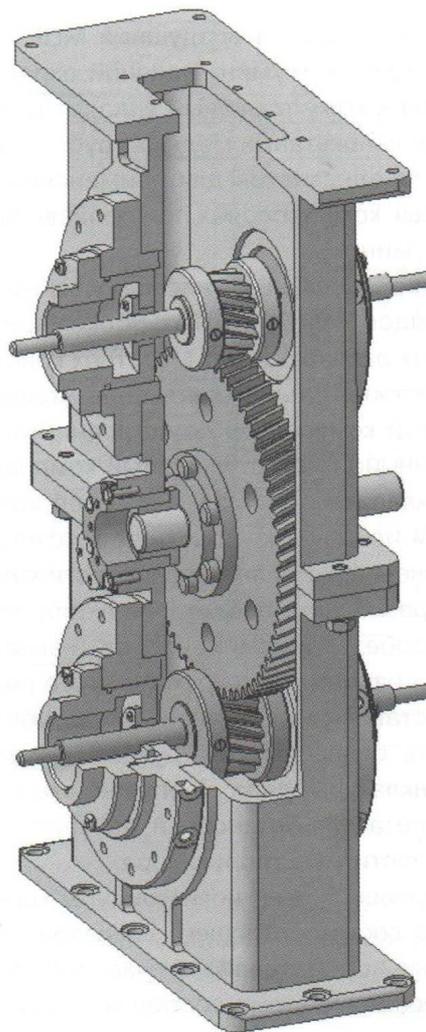


Рис. 2. Мультипликатор

тип охладителя основан на применении трубок с внутренним оребрением и представляет собой аппарат (рис. 3), который встраивается в корпус, выполненный заодно с корпусом ступени и мультипликатора. Ряд охладителей этого типа состоит из трех типораз-



Рис. 3. Встраиваемый газоохладитель с внутренним оребрением трубок

меров и применяется в воздушных МЦК производительностью до 170 м³/мин. Водяной охладитель газа второго типа – кожухотрубный аппарат с трубной батареей из цельнокатаных медных трубок, оребренных снаружи, – предназначен для применения в воздушных и газовых компрессорах при производительности до 3 300 м³/мин.

На основе описанных унифицированных типоразмерных рядов ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» разрабатывает МЦК трех конструктивных типов: одноступенчатый нагнетатель, модульный многоступенчатый компрессор со встроенными охладителями и блочный многоступенчатый компрессор с выносными охладителями газа. Целесообразность применения той или иной конструкции обусловлена областью применения и степенью серийности компрессора.

МЦК первого типа представляет ряд одноступенчатых центробежных компрессоров (нагнетателей) с $\pi_k \leq 2,5$. Три базовые конструкции этого ряда, основу которых составляют мультипликаторы, обеспечивают возможность создания конструкций с применением всей номенклатуры ряда корпусов сжатия. Корпус сжатия нагнетателя установлен на передней торцевой поверхности мультипликатора.

Для применения всей номенклатуры корпусов сжатия и охвата соответствующего диапазона производительности ряд нагнетателей включает три базовые конструкции, основу которых составляют мультипликаторы.

В первой базовой конструкции нагнетателя (Н) применяется специальный малоинерционный двухступенчатый мультипликатор (рис. 4) мощностью до 500 кВт и частотой вращения приводного вала 3 000 об/мин. На его основе могут разрабатываться нагнетатели производительностью по условиям всасывания 30...220 м³/мин.

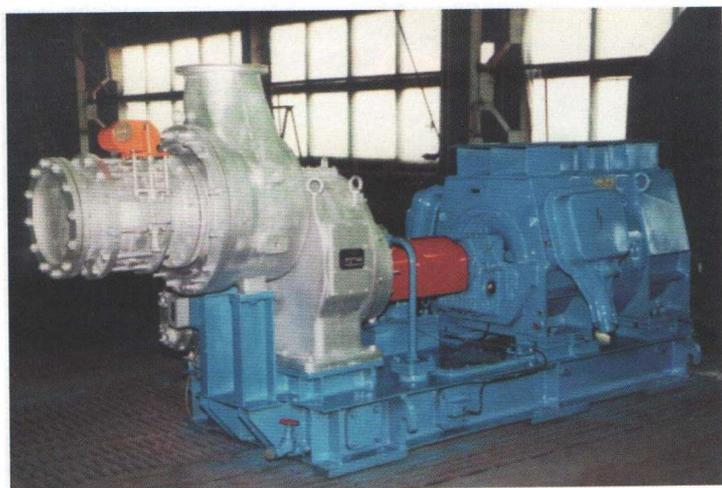


Рис. 4. Нагнетатель с двухступенчатым малоинерционным мультипликатором

Во второй и третьей базовой конструкциях применяются мультипликаторы типов А и С с частотой вращения приводного вала соответственно 3 000 и 1 500 об/мин. Максимальная производительность нагнетателей (НА и НС) на этих базах составляет соответственно 900 и 3 300 м³/мин.

Область применения ряда многоступенчатых МЦК со встроенными охладителями газа: по производительности – от 60 до 170 м³/мин, по давлению – до 1,7 МПа. За основу конструкции МЦК этого типа принят модуль – литой корпус, в котором компактно размещены зубчатое зацепление, две ступени сжатия с рабочими колесами, установленными на консолях валов-шестерен, и два охладителя газа из трубок с внутренним оребрением, размещенные по горизонтали, по бокам ступеней. Такая конструкция при сравнительно низких адаптивных свойствах выгодна при серийном производстве и обеспечивает максимально возможную компактность и заводскую готовность.

Ряд компактных многоступенчатых МЦК со встроенными охладителями (ряд КА) построен на основе модулей трех типоразмеров с применением мультипликаторов ряда А с частотой вращения зубчатого колеса 3 000 об/мин. Проточная часть модулей унифицирована с проточной частью, применяемой в ступенях ряда корпусов сжатия, и соответствует 1–3-му типоразмерам.

Благодаря унифицированному горизонтальному разъему модули могут стыковаться с крышкой мультипликатора или попарно между собой, образуя в зависимости от требуемого напора двух-, трех- и четырехступенчатые конструкции (рис. 5). Область применения МЦК ряда КА показана на рис. 6.

Ряд многоступенчатых МЦК (базы АА, АВ, АС, АЕ) с выносными охладителями газа охватывает область применения по производительности 30...3 300 м³/мин и по π_k – до 60. Конструкция компрессоров этого ряда



Рис. 5. МЦК со встроенными охладителями газа

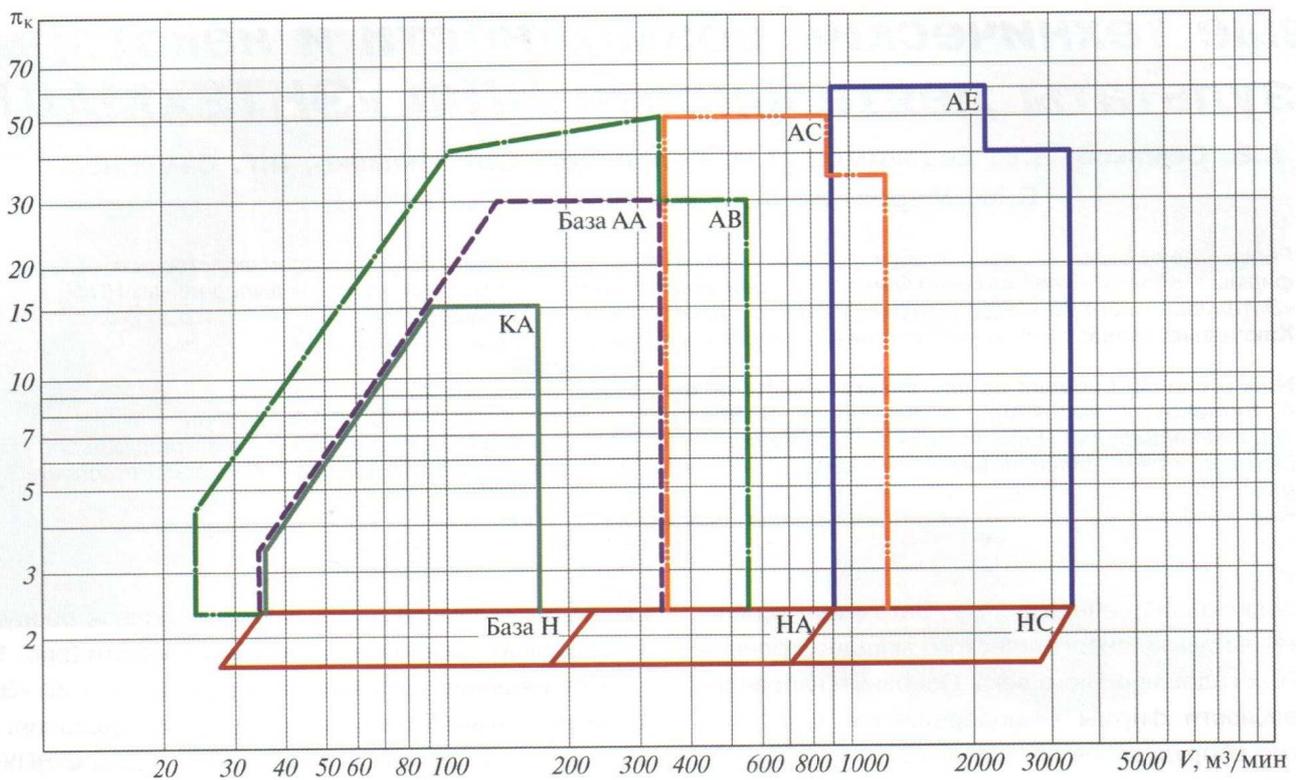


Рис. 6. Параметрическая область применения МЦК ряда КА

составная и комплектуется из мультипликатора, корпусов сжатия и охладителей газа (по возможности, в единый блок), рис. 7.

Основа конструкции – мультипликатор одноступенчатый многопоточный с числом валов-шестерен до трех, на консолях которых размещены центробежные рабочие колеса. Статорная часть ступеней – корпуса сжатия – крепятся на торцовых стенках с обеих сторон мультипликатора. Водяные охладители газа с трубками с внешним оребрением располагаются, как правило, по бокам компрессорного агрегата и соединяются с патрубками корпусов сжатия перепускными трубами.

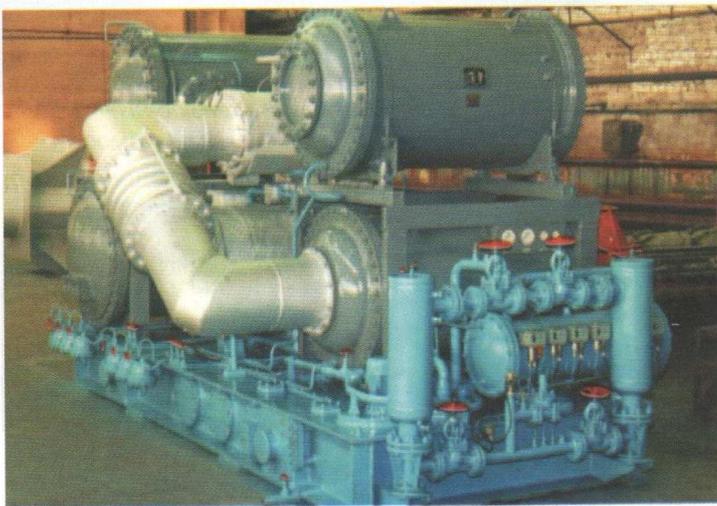


Рис. 7. МЦК с выносными охладителями газа

Такая конструкция позволяет осуществлять практически любые варианты сочетания унифицированных элементов, что значительно расширяет область применения, в том числе по номенклатуре сжимаемых газов, и экономически выгодна при создании компрессоров единичного и мелкосерийного производства. Ряд состоит из четырех базовых конструкций, основу которых составляют мультипликаторы типоразмеров А, В, С и Е, обеспечивающие возможность создания компрессоров с применением всей номенклатуры ряда корпусов сжатия.

В настоящее время уже разработаны и освоены в производстве базовые модели АА, АВ и АС производительностью до 1 200 м³/мин. В перспективе освоение базовой модели АЕ производительностью до 3 300 м³/мин.

ОАО «Казанькомпрессормаш» готово предоставить инженеринговые услуги при заказе МЦК. В этом случае в проработке заявки заказчика принимают участие и проектировщики промышленных предприятий, осуществляющие привязку компрессорного оборудования к месту его установки и к существующему объекту. Инженеринговые услуги предполагают и сдачу объекта «под ключ».

Современные МЦК – это высокий технический уровень, относительно низкие затраты на капитальное строительство и эксплуатацию, оптимальная стоимость изделия, что подтверждает более чем 25-летний опыт ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» и ОАО «Казанькомпрессормаш» в области разработки, изготовления и поставки МЦК.