

А.В. Смирнов, к.т.н., главный конструктор-начальник СКБ ТКМ, А.М.Бороденко, В.Г. Кравец, Л.Е. Наумов, В.М. Татаринев, инженеры (ПАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе»)

Новая конструкция многокорпусного турбокомпрессора с газотурбинным приводом

Представлено новое центробежное компрессорное оборудование для нефтяной и нефтегазовой промышленности с высоким конечным давлением, создаваемым в мультипликаторных многокорпусных установках.

Ключевые слова: центробежный компрессор, модульные блочные установки, корпус секции, разъем, компоновка, агрегат.

Представлено нове відцентрове компресорне устаткування для нафтової і нафтогазової промисловості з високим кінцевим тиском, що створюється в мультипликаторних багатокорпусних установках.

Ключові слова: відцентровий компресор, модульні блокові установки, корпус секції, роз'єм, компоновання, агрегат.

A new centrifugal compressor equipment is presented for petroleum and oil and gas industry with the high eventual pressure created in multiple-furrow options.

Keywords: centrifugal compressor, module sectional options, corps of section, socket, arrangement, aggregate.

В последние годы ПАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе» наряду с традиционно поставляемыми газоперекачивающими агрегатами (ГПА) для линейных, дожимных компрессорных станций (КС), а также для станций подземного хранения газа, реализовало ряд заказов на создание компрессорного оборудования для нефтяной и нефтехимической промышленности. Такое оборудование, отличающееся высокими отношениями давлений, а зачастую, и высокими конечными давлениями компримируемого газа, потребовало разработки мультипликаторных многокорпусных схем компрессоров, применения нетрадиционных подходов к проектированию и расчетам, а также создания новых корпусных баз компрессоров.

По техническим требованиям ОАО «Сургутнефтегаз» в 2007 году ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе» был спроектирован турбокомпрессорный агрегат (ТКА) для компримирования нефтяного газа. Турбокомпрессорные агрегаты ТКА-Ц-16/0,37-14,2, представ-

ляющие собой блочно-модульные автоматизированные установки, созданные на основе газотурбинных двигателей НК-16СТ (рис. 1), предназначены для применения на компрессорной станции Талаканского месторождения. Исходные данные для проектирования центробежного компрессора (ЦК) представлены в табл. 1, а расчетный состав нефтяного газа в – табл. 2.

Для определения конструктивной схемы ЦК по методике разбивки многокорпусного компрессора на секции выполнен расчет количества и параметров секций при заданном распределении давлений. В результате определено, что ЦК включает в себя три корпуса (табл. 2):

- корпус низкого давления (КНД) 193ГЦ1-270/3,6-16М26;
- корпус среднего давления (КСД) 173ГЦ1-67/15-50М26;
- корпус высокого давления (КВД) 184ГЦ2-19/48-150М245.

Для обеспечения требуемых параметров компрессора потребовалась разработка нового мультипликатора в существующем базовом корпусе М40. После определения базовых размеров корпусов и мультипликатора, разработаны компоновочные схемы агрегата и турбоблока (рис. 1 и 2).

Компоновка и выбор конструкции ЦК проводились с учетом современных тенденций развития турбомашин, а также опыта создания многокорпусных компрессоров зарубежными фирмами.

Таблица 1. Основные параметры ЦК

Параметр	Значение
Давление начальное (абс), МПа	0,36
Давление конечное (абс), МПа	14,40
Начальная температура, °С (К)	30 (303)
Производительность, приведенная к температуре 293 К и давлению 0,101 МПа, (млн.м ³ /сутки)	1,37
Температура газа после промежуточных охладителей, °С (К)	40 (313)

Таблица 2. Расчетные параметры секций ЦК

Параметр	Значение		
	КНД	КСД	КВД
Производительность, отнесенная к температуре 293К (+20°С) и давлению 0,101 МПа (1,033 ата), м ³ /с (млн. м ³ /сутки)	15,85 (1,37)		
Производительность по условиям входа, м ³ /с (м ³ /мин)	4,60 (276,25)	1,15 (69,33)	0,32 (19,03)
Давление начальное, расчетное, МПа (кгс/см ²)	0,36 (3,65)	1,43 (14,58)	4,72 (48,07)
Давление конечное, расчетное, МПа (кгс/см ²)	1,58 (16,11)	4,86 (49,59)	14,40 (152,27)
Отношение давлений	4,41	3,40	3,05
Температура газа на входе, К	303	313	313
Расчетная частота вращения ротора компрессора, 1/с (об/мин)	191,7 (11500)		
Мощность секции, МВт	4,01	3,60	3,41

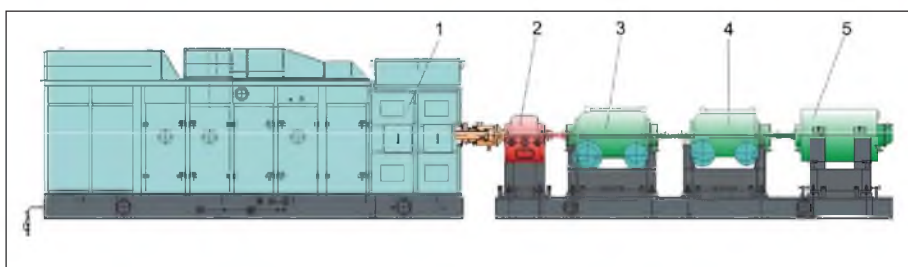


Рис. 1. Турбоблок агрегата ТКА-Ц-16/0,37-14,2: 1 – блок силовой; 2 – мультипликатор; 3 – КНД; 4 – КСД; 5 – КВД

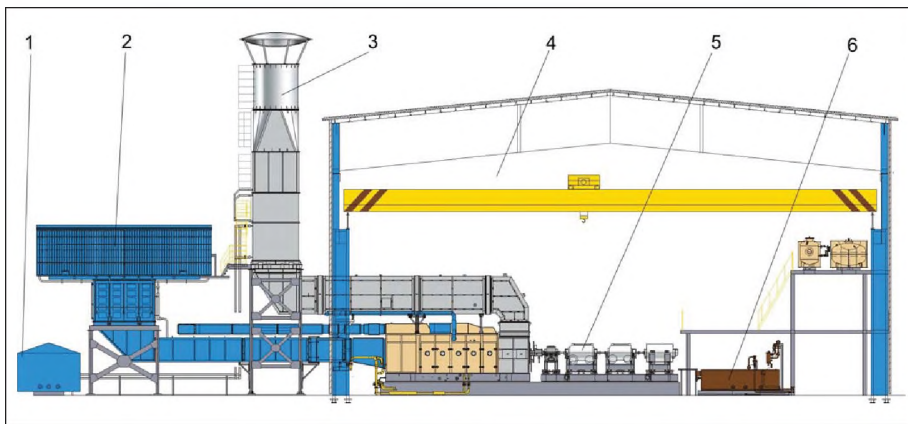


Рис. 2. Общий вид агрегата ТКА-Ц-16/0,37-14,2: 1 – блок арматуры; 2 – всасывающий тракт; 3 – выхлопной тракт; 4 – ангар; 5 – турбоблок; 6 – масляная система

При создании трехкорпусного ЦК руководствовались принципами:

- преимущество конструкции корпусов ЦК;
- возможность унификации узлов и деталей;
- технологических и производственных возможностей предприятия,
- ремонтпригодности и удобства эксплуатации.

В связи с вышеизложенным был модернизирован корпус компрессора низкого давления в части изменения диаметров входного и выходного патрубков, корпуса КСД и КВД из-за их малорасходности были спроектированы вновь. Трехкорпусный ЦК (типовое обозначение 193ГЦ1 + 173ГЦ1 + 184 ГЦ2) выполнен с горизонтальным разъемом КНД

и КСД и вертикальным разъемом КВД.

Базовые диаметры внутренней расточки корпусов составляют 950, 850 и 900мм. Унифицированными у всех трех корпусов являются приводные концы роторов, муфты, концевые уплотнения роторов; одинаковыми во всех корпусах выполнены узлы опорного и опорно-упорного подшипников. Количество ступеней в КНД, КСД и КВД – 5, 6 и 7 соответственно.

При проектировании, подборе материалов, изготовлении, а также при проведении испытаний ЦК учитывались требования стандартов АРІ 617, АРІ 614 и ряда других стандартов.

Продольные разрезы корпусов ЦК представлены на рис. 3, 4, 5.

Мультипликатор М40-16-5,3/11,6 одноступенчатый, горизонтальный с цилиндрической шевронной зубчатой передачей предназначен для передачи крутящего момента от газотурбинного двигателя к ЦК с повышением частоты вращения последнего. Передаточное отношение – 2,19. Проектирование и изготовление мультипликатора выполнено на основании лицензии фирмы «Graffenstaden» (Франция). Мультипликатор состоит из следующих основных узлов: корпуса, подшипников и зубчатой пары.

Зубчатая пара состоит из колеса ведущего и ведомого (шестерни). Профиль зуба зубчатой передачи представляет собой эвольвенту с углом профиля 20°. Материал зубчатых колес – высоколегированная сталь. Для обеспечения поверхностной прочности на зубьях колеса и шестерни выполнена цементация, закалка и отпуск. В мультипликаторе применены подшипники скольжения гидродинамического типа. Мультипликатор в процессе сборки представлен на рис.6.

При проектировании трехкорпусного компрессора выполнены варианты расчеты и спроекти-

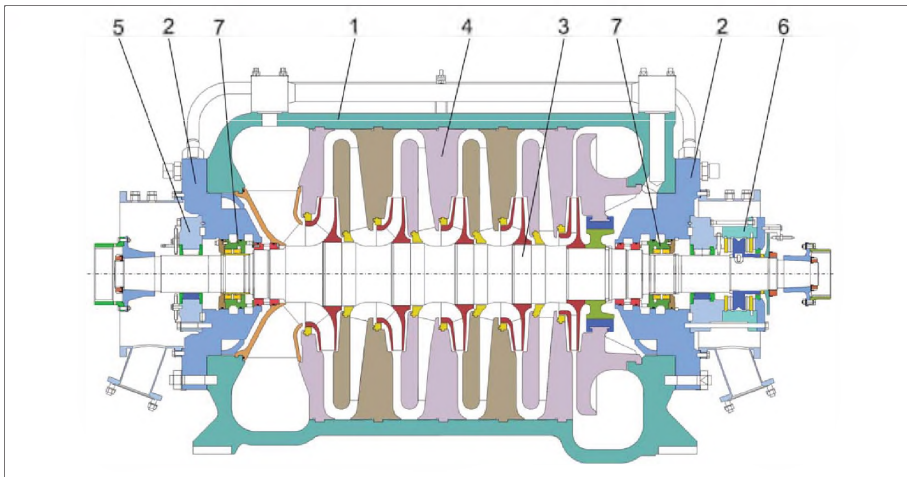


Рис. 3. Компрессор 193ГЦ1-276/3,6-16М26: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ротор; 4 – статорные элементы проточной части; 5 – подшипник опорный; 6 – подшипник опорно-упорный; 7 – уплотнение

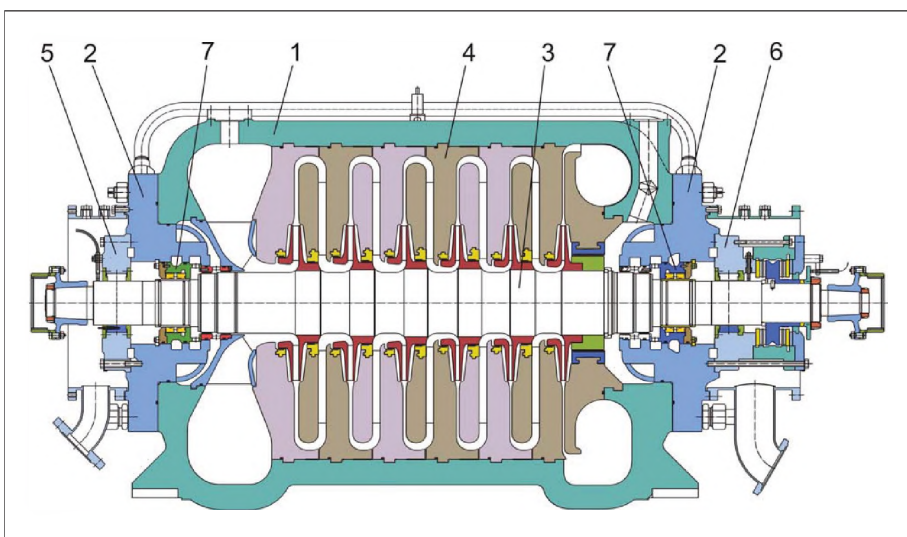


Рис. 4. Компрессор 173ГЦ1-67/15-50М26: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ротор; 4 – статорные элементы проточной части; 5 – подшипник опорный; 6 – подшипник опорно-упорный; 7 – уплотнение

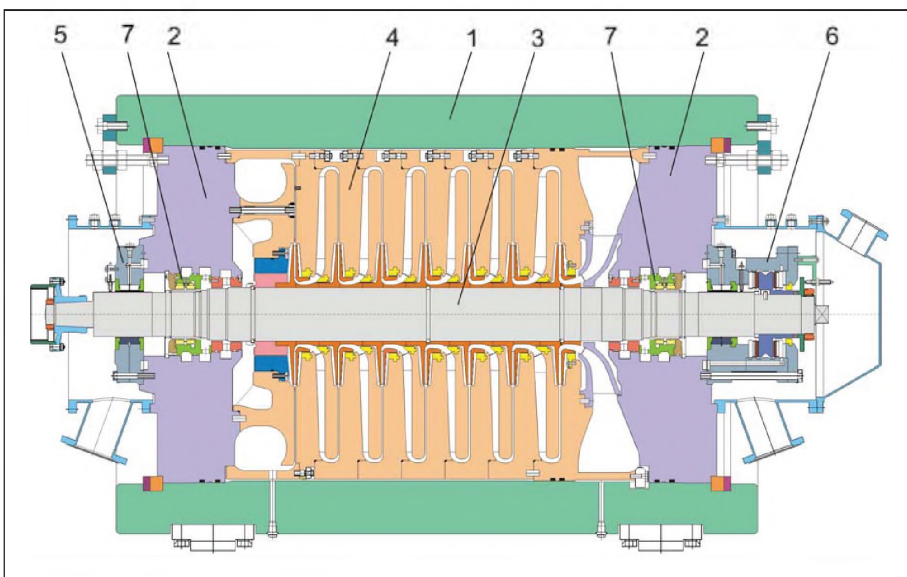


Рис. 5. Компрессор 184ГЦ1-19/48-150М25: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – ротор; 4 – статорные элементы проточной части; 5 – подшипник опорный; 6 – подшипник опорно-упорный; 7 – уплотнение

рованы проточные части (ПЧ) ЦК. Диаметры рабочих колес получены 482; 381 и 298 мм соответственно корпусам. После уточнения конструктивных параметров ПЧ был произведен поверочный расчет ЦК в соответствии с программой поверочного расчета ПЧ компрессора.

В процессе проектирования КНД, как указывалось выше, была изменена конструкция серийного корпуса 193 базы в части изменения диаметров патрубков. Внутренняя расточка и остальные элементы корпуса остались прежними. КСД был спроектирован вновь, новая корпусная база 173 с горизонтальным разъемом и внутренним диаметром 850 мм – самая малая из ранее разработанных в ОАО. Сложности при создании нового базового корпуса заключались в высоком для корпуса с горизонтальным разъемом, вмещающего до 6-ти ступеней, конечном рабочем давлении ($P_k \text{ max} > 5,0 \text{ МПа}$). Горизонтальный разъем КСД, размещаемого между двумя другими корпусами, был необходим для удобства сборочных работ, проводимых на месте эксплуатации. Решение задач прочности и герметичности КСД решалось путем проектирования усиленных фланцев горизонтального разъема, оптимизации контактных поверхностей плоскости разъема, а также конструктивным исполнением шпилек и гаек.

Конструктивной особенностью КВД (184 база с вертикальным



Рис. 6. Мультипликатор М40-16-5,3/11,6 при сборке

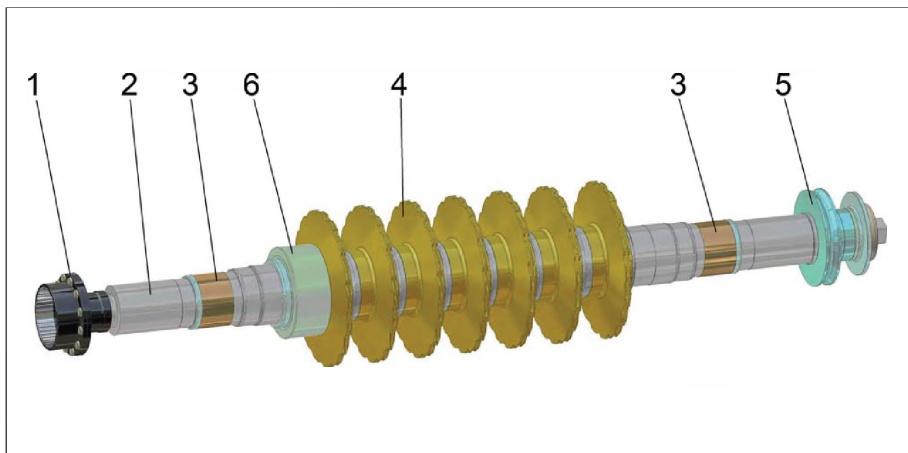


Рис. 7. Ротор КВД: 1 – полушар; 2 – вал; 3 – втулки уплотнения; 4 – рабочее колесо; 5 – диск упорный; 6 – думмис

разъемом), вследствие его мало-расходности, явилась малая ширина каналов рабочих колес (8...4,6 мм) и безлапчатых диффузоров (5,1...3,2 мм). Конструкция потребовала высокой точности при изготовлении внутреннего корпуса и ротора (рис. 7) в части ширины каналов колес и диффузоров, а также совпадения их каналов при сборке КВД. Повышенные требования предъявляются также к шероховатости поверхностей рабочих каналов ПЧ.

Для обеспечения точности геометрических размеров и совпадения каналов ПЧ была изменена технология изготовления, сборки ротора и внутреннего корпуса, а также изменена конструктивная схема установки ПЧ в компрессоре (по сравнению с ранее применяемой в серийных ЦК), при которой тепловые расширения ротора и статорной части происходят в одном направлении.

Еще одной особенностью КВД является установка внутренних уплотнений ПЧ комбинированного типа – лабиринтов, сочетаемых с лунками. Такая конструкция связана с прочностью элементов уплотнений при высоких перепадах давления, а также повышенными демпфирующими свойствами уплотнений, необходимых для ЦК с высокими давлениями газа.

Разработка ЦК, его отдельных узлов и деталей производилась с

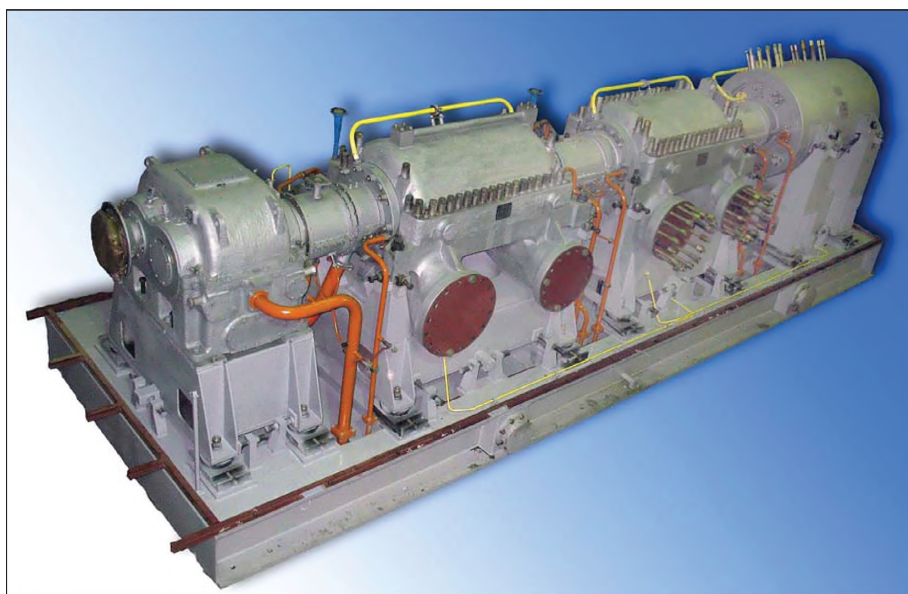


Рис. 8. Общий вид блока компрессоров

использованием программного комплекса Pro/Engineer, прочностные расчеты твердотельных виртуальных моделей – в программном комплексе ANSYS. Общий вид блока компрессоров в сборе с мультипликатором представлен на рис. 8.

В процессе изготовления все роторы ЦК подвергались высоко-точной балансировке при рабочих частотах вращения на испытательно-балансирующем стенде фирмы «Шенк» с вакуумной камерой. Каждый корпус ЦК проходил приемо-сдаточные механические испытания на воздушном стенде завода – изготовителя со снятием газодинамических характеристик.

Разработка, изготовление и испытания компрессоров прове-

дены в соответствии с требованиями API STANDARD 617 «Осевые и центробежные компрессоры и экспандер-компрессоры для применения в нефтяной, химической и газовой промышленности», что признано Сертификатом одобрения (Certificate № ODC 0550-0010/1.2), выданным SGS Group (Societe Generale de Surveillance) 01.12.2005г. Качество разработки, изготовления, ремонта, установки и обслуживания компрессоров заводом-изготовителем гаранти-

руется Сертификатом соответствия системы менеджмента качества международному стандарту ISO 9001:2000, номер 203218, выданным международным сертификационным органом Bureau Veritas Qualiti International 30 октября 2006 г. Изготовление испытание и отгрузка ЦК проведены в первом полугодии 2008 года.

Выводы

Многолетний опыт проектирования, изготовления и пусконаладочных работ, а также проведение всесторонних испытаний компрессоров, их узлов и систем на стендах ПАО и на КС обеспечивают производство надежной, экономичной и удобной в эксплуатации компрессорной техники.