

УДК 621.512

А.В. Смирнов, Н.П. Гринь, Ю.Б. Наталуха

ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», ул. Горького, 58, г. Сумы, Украина, 40004

e-mail: tkm@frunze.com.ua

РАЗРАБОТКА ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА БЛОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ 4VM10-55/71M1 ДЛЯ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

НПО им. М.В. Фрунзе (Сумы, Украина) — изготовитель компрессоров для воздухо-разделительных установок (ВРУ) средней производительности. На их основе создаются производства технических газов в Украине, России и других государствах. Большим спросом пользуется компрессор среднего давления 4VM10-55/71, обеспечивающий ВРУ воздухом с давлением 7 МПа. Сообщается о разработке и изготовлении этого компрессора в блочном исполнении. При создании компрессорной установки применена оптимальная компоновочная схема, которая позволила обеспечить высокую степень её компактности и заводской готовности. Рассматривается также альтернативная компоновка компрессора в легкосборном здании.

Ключевые слова: Поршневой компрессор. Воздухоразделительная установка. Блочное исполнение.

A.V. Smirnov, N.P. Grin, Yu.B. Nataluha

DEVELOPMENT PISTON COMPRESSOR BLOCK DESIGN 4VM10-55/71M1 FOR AIR SEPARATION PLANTS MEDIUM PRESSURE

NPO, named by M.V. Frunze (Sumy, Ukraine) is a manufacturer of compressors for air separation units (ASU), average productivity. On their basis the production of technical gases in Ukraine, Russia and other countries are making. Great demand is used a medium pressure compressor 4VM10-55/71 providing ASU air from the pressure of 7 MPa. Reported about the development and manufacture this compressor in the block design. When you create a compressor plant used optimal layout scheme, which will enable a high degree of compactness and prefabrication. Was looking also an alternative layout of the compressor in light building construction.

Keywords: Piston compressor. Air separation unit. Block design.

1. ВВЕДЕНИЕ

Выпускаемые нашим предприятием поршневые компрессоры имеют различное исполнение: оппозитные (на базах с поршневым усилием 25, 16, 10, 4, 2,5, 1,6, 1 тс); V и W-образные (1,6 тс); со смазкой и без смазки поршневых и штоковых уплотнений; с воздушным и водяным охлаждением; с приводом от электродвигателя или газового двигателя; с воздушным и жидкостным охлаждением. В общей сложности освоено более 50 типов компрессоров с производительностью от 15 до 100 тыс. нм³/ч, мощностью привода от 7 до 5000 кВт и на конечное давление до 250 МПа.

Объединением производится ряд поршневых компрессоров для криогенных воздуходелительных установок (ВРУ) [1-3]. Среди них наиболее востребованный предприятиями кислородного и криогенного машиностроения компрессор 4VM10-55/71.

В настоящей статье рассмотрим новые компоновочные решения, используемые при разработке этого компрессора.

2. ОСОБЕННОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ БЛОЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ ДЛЯ ВРУ

С целью снижения затрат на проведение монтажных работ при сборке компрессорной установки 4VM10-55/71 у заказчика перед нами была поставлена задача изготовления её в блочном исполнении с максимальной заводской готовностью. В 2010 г. нами на основе этого компрессора была создана установка блочного исполнения, в которой компрессор установлен на раме совместно с газоохладителями и трубопроводной обвязкой. На время транспортировки газоохладители приходится снимать (рис. 1). Характеристики компрессора приведены в табл. 1.

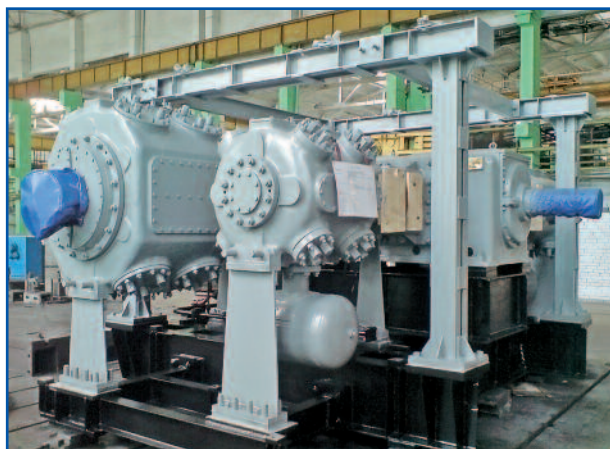


Фото 1. Компрессорный агрегат на раме перед отправкой заказчику

Ранее компрессор выпускался с установкой на отметке 2,3 м до оси коленчатого вала (фото 2) с площадкой обслуживания на отметке 1,4 м.

На Полтавском заводе медицинского стекла смонтирована и введена в эксплуатацию компрессорная установка агрегатной сборки (фото 3). Отметим основные преимущества агрегатной сборки компрессора: упрощается конструкция фундамента, уменьшается объём заливаемого бетона; сокращаются сроки подготовки фундамента к сборке; отпадает необходи-

мость в применении специальных инструментов при установке рамы на фундамент; нет надобности в выполнении специальных проверок коленчатого вала после установки станины на фундамент; исключается необходимость в обвязке газоохладителей и буферных ёмкостей, так как всё это выполняется на заводе; снижение высоты установки даёт возможность уменьшить высоту здания цеха; не нужно устанавливать металлоёмкую площадку обслуживания; улучшается доступ к аппаратам и трубопроводам установки; сокращаются сроки и сметная стоимость монтажных и строительных работ.

Можно указать на один из недостатков компрессора 4ВМ10-55/71М1, заключающийся в увеличении массы наиболее тяжёлой сборочной единицы до 21 т.

Блочное изготовление дало возможность уменьшить габариты установки, например, её длина снижена на 1 м по сравнению с базовой конструкцией.

3. НОВЫЕ ВАРИАНТЫ КОМПЛЕКТАЦИИ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

Наше предприятие имеет большой опыт изготовления и размещения компрессорных установок в легкосборных зданиях ангарного типа, разработанных совместно с Сумским ООО «Укрхимпроект» (рис. 4).

Таблица 1. Технические характеристики поршневого компрессора 4ВМ10-55/71М1

№№ п/п	Наименование параметров	Вид сжимаемого газа	
		Атмосферный воздух	Азот с содержанием кислорода не более 3 %
1	Производительность, приведённая к начальным условиям, при номинальном режиме, м ³ /с (м ³ /мин)	0,92±0,05 (55,00±2,80)	0,93±0,05 (55,93±2,80)
2	Давление начальное абсолютное, МПа (кгс/см ²):		
	– номинальное	0,096 (0,98)	0,102 (1,04)
	– минимальное	0,094 (0,96)	0,100 (1,02)
3	– максимальное	0,098 (1,00)	0,104 (1,06)
	Давление конечное, абсолютное, МПа (кгс/см ²):		
4	– номинальное	6,38 (65)	
	– максимальное	6,97 (71)	
4	Температура газа начальная, К (°С)		
	– номинальная	293 (20)	293 (20)
	– минимальная	233 (-40)	263 (-10)
5	– максимальная	313 (40)	313 (40)
	Мощность на валу компрессора при номинальных значениях параметров, кВт	586	616
6	Мощность максимальная, потребляемая из сети, кВт	615,3	628
7	Частота вращения вала, с ⁻¹ (мин ⁻¹)	8,33 (500)	
8	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч		
	– при температуре 30 °С	86±0,5	
9	– при температуре 15 °С	71±0,5	
	Унос масла, г/ч	80±5	
10	Объём масла, заливаемого в маслблок, м ³ (л)	0,33 (330)	
11	Срок службы масла для смазки механизма движения до его замены (по браковочным показателям), ч, не менее	4400	
12	Масса установки компрессорной без приводного электродвигателя, кг, не более	30000	
13	Масса наиболее тяжёлой сборочной единицы, кг, не более	21000	

Здание спроектировано с металлическим каркасом, металлическими прогонами покрытия и фахверга, стенами и кровлей из трёхслойных панелей типа «сэндвич» с утеплением из минераловатных плит. В покрытии здания предусмотрены легкосбрасываемые участки. Окна — металлопластиковые с двойными стеклопакетами; двери — также металлопластиковые, снабжённые механизмом самозакрывания.



Фото 2. Компрессор 4BM10-55/71 с площадкой обслуживания



Фото 3. Вид компрессорной установки 4BM10-55/71М1 блочного исполнения на Полтавском заводе медицинского стекла

Здание оборудовано подвесным краном грузоподъёмностью 5 т. К зданию пристроены блок пожаротушения и блок отопления и вентиляции, представляющие собой модули полной заводской готовности. Здание по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории А, имеет третью степень огнестойкости. Пристроенные модульные помещения по характеристикам соответствуют категории Д.

В базовом варианте для охлаждения компрессора предусмотрена вода. Газ охлаждается водой в кожухотрубчатых газоохладителях (рис. 5). Согласно требованиям нормативной документации (ПБ-03-581-03) к её качеству предъявляются следующие требования: общая жёсткость должна быть не более 7 мг-экв/л; содержание растительных и механических

примесей не более 40 мг /л.

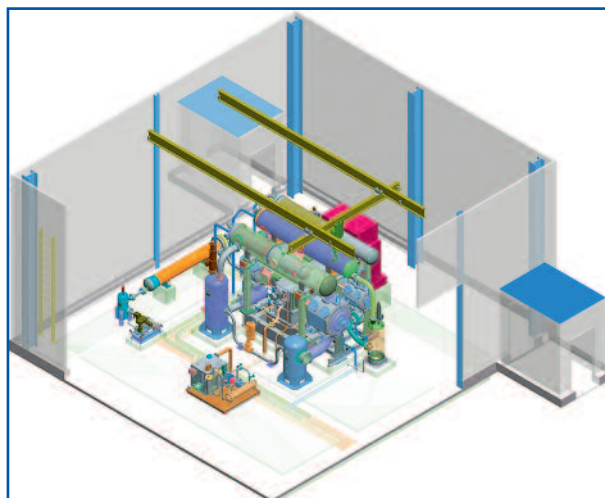


Рис. 4. Размещение компрессорной установки 4BM10-55/71M1 в легкосборном здании

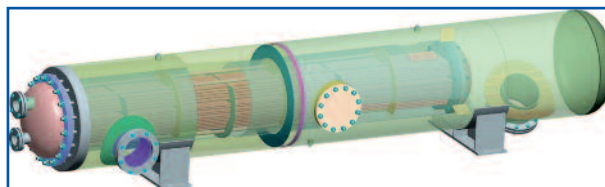


Рис. 5. Кожухотрубчатый газоохладитель

Для выполнения этих требований необходима специальная водоподготовка, что не всегда возможно при эксплуатации компрессора.

Нами предложена альтернативная схема охлаждения компрессора, в которой газ охлаждается, как показано на рис. 6, в аппаратах воздушного охлаждения (АВО). В качестве охлаждающей жидкости для цилиндров, масляного холодильника и теплообменника главного электродвигателя применяется антифриз.

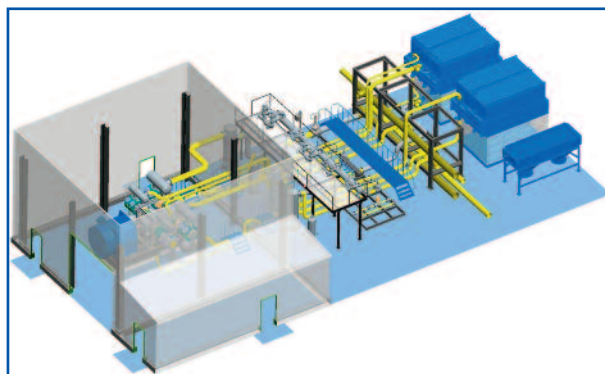


Рис. 6. Общий вид компрессорной установки с АВО

При этой схеме охлаждения расход охлаждающей жидкости снижается до 25 м³/ч. В базовом же варианте, согласно табл. 1, расход воды составляет 86 м³/ч.

Блок АВО может быть использован в районах умеренного и холодного климата. Блок не требует специального помещения для размещения, так как может эксплуатироваться на открытом воздухе.

Аппарат воздушного охлаждения с рециркуляционными камерами по охлаждающему воздуху состоит

из следующих основных частей: контейнер, две секции АВО, камера рециркуляции, четыре секции жалюзи, два привода жалюзи.

Секция АВО горизонтального типа устанавливается на контейнере и представляет собой сварную двухходовую по газу конструкцию прямоугольной конфигурации, состоящую из смонтированного в корпусе пучка стальных труб с оребрением из алюминия. Камера циркуляции предназначена для изменения направления потока воздуха, подаваемого вентиляторами через секции АВО, с целью обеспечения требуемого технологического режима в зависимости от температуры окружающего воздуха.

При эксплуатации компрессорных установок в континентальном климате с ярко выраженными перепадами температуры в летнее время наблюдается резкое изменение плотности воздуха. Повышение температуры всасывания на 3 °С снижает массовую производительность на 1 %. Для компрессорной установки 4ВМ10-55/71 снижение массовой производительности при $t_{вс} = 35$ °С составляет 200 кг/ч [4].

Жаркое лето 2010 г. привело к тому, что даже в условиях умеренного климата высокие температуры воздуха распространились на регионы, в которых данная проблема была менее актуальна.

Для снижения потерь производительности целесообразно подавать либо подмешивать холодный воздух ещё на входе в буфер всасывания первой ступени с помощью экологически чистых прямоточных охладителей, которые работают без использования хладагентов. Данные охладители обеспечивают подачу воздуха на всасывание компрессорной установки с температурой не выше 20 °С даже при температуре атмосферного воздуха 40 °С.

В резонансных охладителях газов используются пульсационные трубы Гиффорда, где вместо механических поршней, цилиндров и т.п. применяется динамический газовый поршень, формируемый периодическими ударными волнами, создаваемыми в рабочем объёме системой специальных клапанов. Формирование такого газового поршня, за которым происходит адиабатическое охлаждение воздуха, осуществляется с минимальными энергетическими затратами.

При работе эти устройства создают перепад температур между входящим и выходящим воздухом, который может изменяться в широких пределах. При этом также может регулироваться и объёмная производительность установки.

В эксплуатации резонансные охладители существенно проще и дешевле. При работе на безвредных газах или воздухе отсутствуют какие-либо факторы риска, способные привести к аварийным ситуациям с негативными последствиями для окружающей среды и здоровья людей.

4. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВРУ

При каждом текущем ремонте согласно регламенту для контроля износа направляющих колец про-

веряется зазор между поршнем и зеркалом цилиндра. Для получения постоянной информации о состоянии зазора между поршнем и зеркалом цилиндра введена система мониторинга, которая уменьшает вероятность незапланированных остановок и возникновения аварийных ситуаций. Указанная цель достигается за счёт применения датчиков контроля прогиба штока (рис. 7). С использованием прикладного программного обеспечения можно на экране монитора отображать текущие и зарегистрированные значения входных сигналов в виде временных графиков.

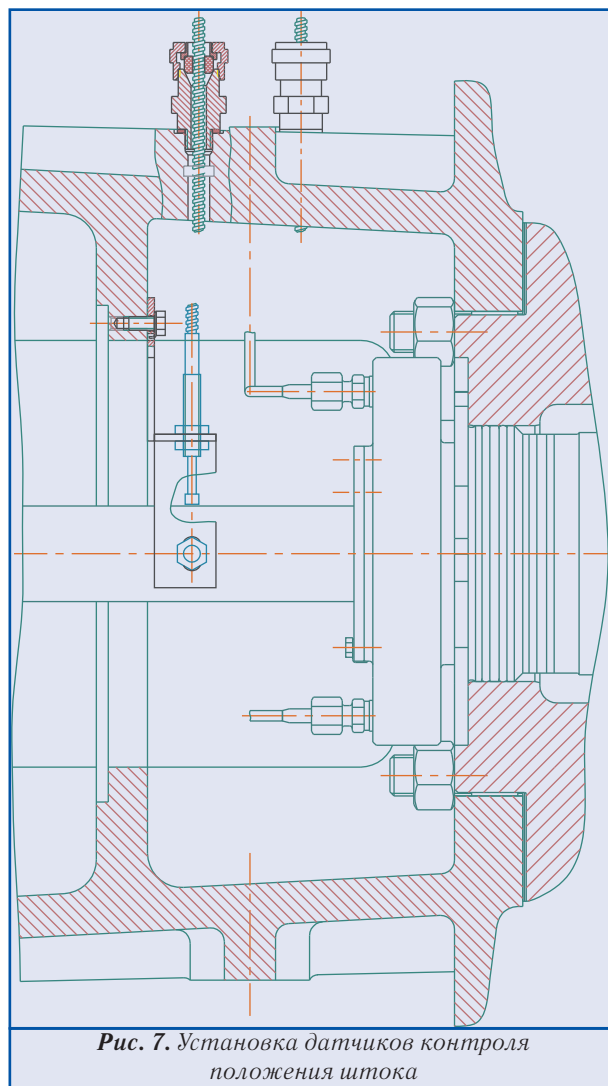


Рис. 7. Установка датчиков контроля положения штока

При всасывании влажного воздуха в межступенчатых влагомаслоотделителях выделяется много водомасляной эмульсии. С появлением фильтров «Гриф» на базе волоконно-пористого фторопласта появилась возможность более эффективно улавливать водомасляные аэрозоли. На основе этих фильтров нами разработан аппарат, который поставляется в виде дополнительного оборудования. Он устанавливается на линии всасывания газопровода третьей ступени (рис. 8).

Отделение влаги при помощи фильтров «Гриф» позволит уменьшить нагарообразование, увеличить

Таблица 2. Свойства композитов на основе Ф-4 при температуре 20 °С

Свойства	Композиты		
	Ф4К20	Флувис 20	Суперфлувис
Плотность, кг/м ³	2050	1950-1980	1980-2080
Прочность при сжатии, МПа		90-100	120-125
Нагрузка при 10 % деформации сжатием, МПа	14-20	27-30	35-36
Предел текучести при сжатии, МПа	15	18-21	22-25
Прочность при растяжении, МПа	16-17	21-26	28-33
Модуль упругости при сжатии, МПа	300	300-500	650-1000
Износ, 10 ⁻⁷ мм ³ /Нмм	5-10	2,2-4,5	0,95-1,5
Твёрдость НВ, МПа	59-64	58-63	62-74

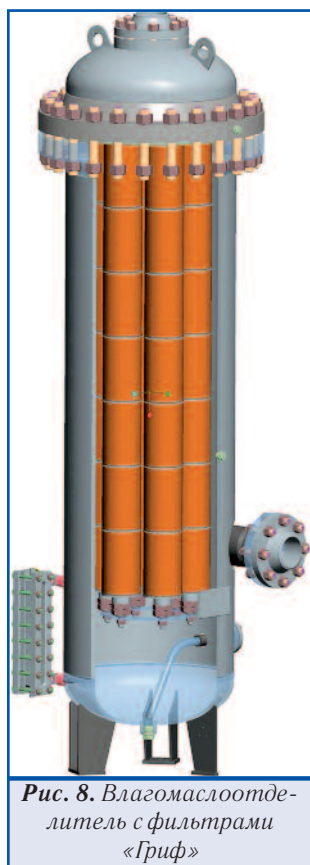


Рис. 8. Влажомаслоотделитель с фильтрами «Гриф»

равляющих колец нами применяется эффективный антифрикционный материал «Суперфлувис». Принципиальное отличие «Суперфлувиса» от других материалов группы «Флувис» состоит в использовании новых углеродных волокон «Белум», имеющих нанопокрывание из фторполимера [6]. В табл. 2 приведены свойства этого материала. Из сравнения видно, что он выгодно отличается от ранее применявшихся фторполимерных композиций.

В 3-ей и 4-ой ступенях компрессора установлены самодействующие клапаны с неметаллическими дисками из композиции РЕЕК и коническими пружинами фирмы «Ланге консалтинг» (Германия). Существенные преимущества материала диска — эффективное поглощение энергии удара, малая движущаяся масса, малая чувствительность к посторонним твёрдым примесям, меньшая склонность к прилипанию пластин к седлу или ограничителю подъёма под влиянием масляной плёнки, более высокая герметичность клапана, более высокая безопасность эксплуатации, поскольку

срок службы самодействующих клапанов и поршневых уплотнений, а главное обеспечить работу компрессорной установки без смазки цилиндров и уплотнений штоков. Известно, что применение смазки связано с накоплением в газовом тракте нагаро-масляных отложений, которые могут привести к взрывам и возгораниям [5]. В конечном итоге применение этого влагоотделителя увеличивает безопасность при эксплуатации компрессорной установки.

Большую роль в увеличении межремонтного пробега компрессора играет качество материала уплотнительных элементов. Для изготовления уплотнительных и направляющих колец нами применяется эффективный антифрикционный материал «Суперфлувис».

в случае поломки обломки пластины не вызывают повреждения цилиндра.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С 2000 г. предприятием было выпущено 20 шт. компрессорных установок 4ВМ10-55/71 для ВРУ средней производительности. Отзывы заказчиков о различных преимуществах и недостатках машин заставили нас искать новые пути улучшения качества изделия, повышения надёжности, сокращения сроков пуска в эксплуатацию. В связи с этим появились новые решения по компоновке, размещению и улучшению работы компрессорной установки. Применение аппаратов воздушного охлаждения и антифриза в качестве охлаждающей жидкости создаёт условия для размещения компрессорной установки на открытой площадке под навесом. В результате использования влагоотделителя с фильтрами «Гриф» можно эксплуатировать компрессор без смазки цилиндров и уплотнений штоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Характеристики и опыт эксплуатации поршневых многоступенчатых компрессоров для воздухоразделительных установок средней производительности/ **А.В. Смирнов, Ю.Б. Наталуха, Н.П. Гринь и др.**// Технические газы. — 2007. — № 1. — С. 43-47.
2. **Гринь Н.П., Наталуха Ю.Б., Смирнов А.В.** Показатели поршневых компрессорных машин нового поколения для ВРУ средней производительности// Технические газы. — 2008. — № 6. — С. 42-47.
3. **Гринь Н.П., Наталуха Ю.Б., Смирнов А.В.** Поршневые компрессорные машины нового поколения для ВРУ, реализующих циклы среднего и высокого давлений// Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 26-30.
4. РД РТМ 26-12-39-80. Компрессорные станции общего назначения. Оборудование компрессорное. Правила эксплуатации. Рекомендации по повышению технико-экономических показателей.
5. **Файнштейн В.И.** Кислород, азот, аргон — безопасность при применении. — М.: Интермет Инжиниринг, 2008. — 192 с.
6. **Гракович П.Н.** Эффективный антифрикционный материал «Суперфлувис» для использования в компрессо-