

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

ОАО «Сумское машиностроительное НПО им. М.В. Фрунзе», ул. Горького, 58, г. Сумы, Украина, 40004
e-mail: d331@tkm.com.ua

ПОКАЗАТЕЛИ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ МАШИН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ВРУ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

ОАО «Сумское машиностроительное НПО им. М.В. Фрунзе» — известный разработчик и изготовитель различных воздушных поршневых компрессоров для воздухоразделительных установок (ВРУ) средней производительности. Компрессоры, производимые предприятием, хорошо себя зарекомендовали во многих производствах продуктов разделения воздуха. Сообщается о разработке трёх новых компрессорных установок (КУ). КУ 2VM10-18/71 имеет блочное исполнение и не нуждается в сложном фундаменте. КУ 4VM10-55/71M1 создана на базе существующей установки. При её модернизации существенно уменьшены габариты, позволяющие основную часть её конструкции поставлять в виде транспортного блока, смонтированного на раме. КУ 4VM16-75/201 разработана для её использования в составе новой криогенной ВРУ для производства 1 т/ч жидкого технического кислорода. Все установки оппозитного типа характеризуются высокой степенью уравнивания сил инерции. Они комплектуются эффективной системой цилиндрической смазки, позволяющей работать с её дозированной подачей. Компрессорные установки производятся с автоматизированной системой контроля, управления и защиты.

Ключевые слова: Воздух. Кислород. Поршневой компрессор. Многоступенчатое сжатие. Блочное исполнение. Компрессорная установка. Смазка. Безопасность. Автоматизация.

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

PARAMETERS OF PISTON COMPRESSOR MACHINES OF NEW GENERATION FOR ASP BY AVERAGE PRODUCTIVITY

JSC «Sumy Frunze NPO» is known developer and manufacturer of various air piston compressors for air separation plants (ASP) by average productivity. The compressors made by the enterprise have well recommended themselves in many manufactures of air separation products. About development of three new compressor unit (CU) is informed. CU «2VM10-18/71» has metabolic construction and does not require the complex base. CU «4VM10-55/71M1» is created on the basis of existing unit. At its modernization the dimensions are essentially reduced, its designs allowing to deliver the basic part as transport block mounted on frame. CU «4VM16-75/201» is developed for its use in structure of new cryogenic ASP for manufacture 1 t/h of liquid technical oxygen. All units of opposed type are characterized by high degree of an equilibration of inertia forces. They are completed with effective system of the cylinder greasing allowing to work with its dosed out submission. Compressor unit are made with the automated monitoring system, managements and protection.

Keywords: Air. Oxygen. Piston compressor. Multistage compression. Metabolic construction. Compressor unit. Greasing. Safety. Automation.

1. ВВЕДЕНИЕ

Наше предприятие является известным производителем широкой гаммы поршневых компрессоров, в том числе и для сжатия атмосферного воздуха, которые используются в воздухоразделительных установках (ВРУ) [1].

ВРУ, вырабатывающие кислород, азот, аргон, от-

личаются по количеству перерабатываемого воздуха и номенклатуре производимых продуктов. Наиболее востребованным предприятиями кислородного и криогенного машиностроения является компрессор среднего давления 4MB10-55/71.

Нами разработана его новая модификация 4VM10-55/71M1, которая размещается на раме, а также созданы новые компрессорные установки

2ВМ10-18/71 и 4ВМ16-75/201.

Компрессором 2ВМ10-18/71 планируется заменить выработавший свой ресурс компрессор 305ВП-16/70 производства АО «Борец». Компрессор 4ВМ16-75/201 спроектирован для комплектации новых ВРУ, предназначенных для производства 1 т/ч жидкого кислорода.

В настоящей статье остановимся на изложении характеристик модернизированных компрессоров и новых разработках предприятия.

2. ОСОБЕННОСТИ БЛОЧНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ 4ВМ10-55/71М1

Для снижения затрат на проведение монтажных работ и существенного сокращения их сроков перед нами поставлена задача по организации производства некоторых компрессорных установок в блочном исполнении.

Рассмотрим, как можно добиться блочного исполнения на примере компрессорной установки (КУ) 4ВМ10-55/71М1. Отметим, что транспортные габариты не позволяют выполнить всю установку на единой раме. Поэтому установка будет отправляться на конкретный объект в виде отдельно собранных и испытанных на заводе-изготовителе транспортных узлов.

КУ может поставляться в двух модификациях. Первая из них предусматривает установку станины непосредственно на фундамент (см. рис. 1) и использование для обслуживания КУ специальной металлической площадки. Во второй модификации КУ устанавливается на металлическую раму с газоохладителями и буферными ёмкостями, как показано на рис. 2. Основные работы по монтажу элементов КУ на раме и обвязке газоохладителей выполняются на заводе-изготовителе. В КУ новой модификации отсутствует необходимость в площадке обслуживания, уменьшена высотная отметка оси компрессора на 0,65 м.



Рис. 1. Компрессорная установка 4ВМ10-55/71 с площадкой обслуживания

Как следует из табл. 1, установки 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-55/71М1 отличаются габаритными размерами. Нам удалось КУ новой модификации сделать более компактной.

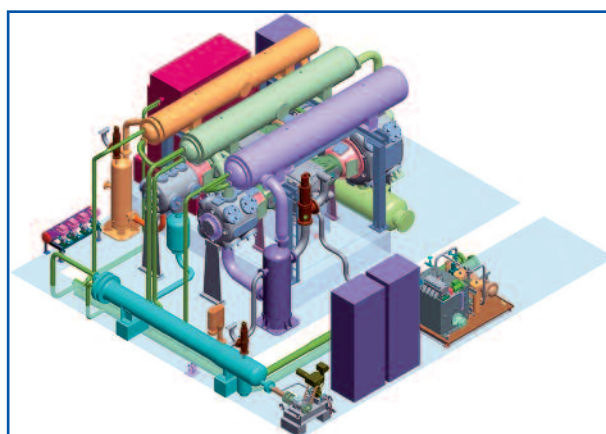


Рис. 2. Компрессорная установка 4ВМ10-55/71М1, монтируемая на раме

Таблица 1. Основные характеристики компрессорных установок 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-55/71М1

Характеристики	Значения
Давление всасывания (абс.), кгс/см ²	1
Давление нагнетания (абс.), кгс/см ²	71
Производительность компрессора при условиях всасывания, м ³ /мин	55
Число оборотов, мин ⁻¹	500
Мощность электродвигателя, кВт	630
Габариты установки 4ВМ10-55/71, м	8,5×7,5×4,15
Габариты установки 4ВМ10-55/71М1, м	7,5×7,5×3,5

Представление об общем виде транспортного блока компрессора 4ВМ10-55/71М1, размещённого на раме, даёт рис. 3.

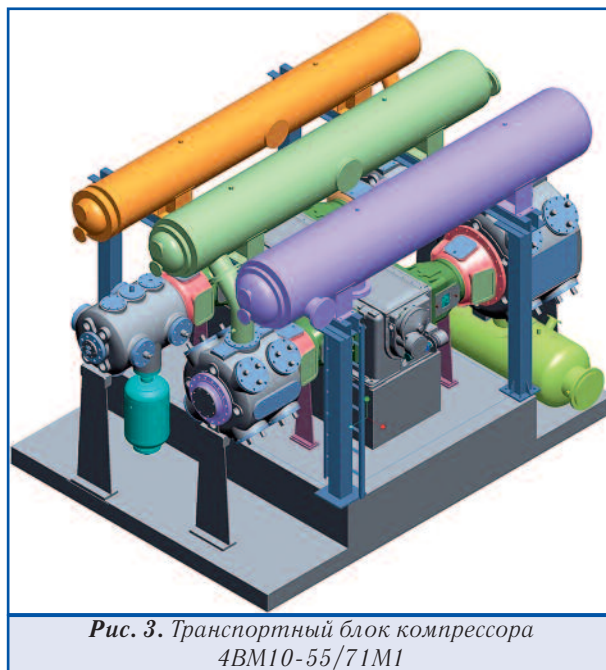


Рис. 3. Транспортный блок компрессора 4ВМ10-55/71М1

С целью сокращения сроков монтажа при разработке новой модификации КУ предусматривали выполнение максимально возможного количества сбо-

рочных и подгоночных операций на заводе-изготовителе. Это обстоятельство, а также ряд внедрённых нами схемных и конструкторских решений обуславливают наличие следующих преимуществ у новой модификации компрессора 4ВМ10-55/71М1: упрощается конструкция фундамента, уменьшается объём заливаемого бетона; сокращаются сроки подготовки фундамента к сборке; отпадает необходимость 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; уменьшение 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.

3. ВОЗДУШНАЯ КОМПРЕССОРНАЯ УСТАНОВКА 2ВМ10-18/71 ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦИИ ВРУ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Проанализируем основные показатели компрессорной установки, спроектированной нами в 2008 г. КУ 2ВМ10-18/71 присущи следующие конструктивные особенности: блочное исполнение на раме; ограниченная смазка цилиндров и уплотнений штоков; водяная система охлаждения с напорным сливом; привод с помощью синхронного компрессорного электродвигателя; наличие системы охлаждения электродвигателя согласно IP44 (с водяным воздухоохладителем) или IP11 (с воздушным охлаждением).

В комплект поставки данной КУ входит: компрессор в сборе с электродвигателем на раме; система циркуляционной и цилиндрической смазки; межступенчатые коммуникации с буферными ёмкостями; газоохладители с встроенными влагомаслоотделителями; система водяного охлаждения; система продувок влагомаслоотделителей; запорная, регулирующая и предохранительная арматура; автоматизированная система контроля, управления и защиты; комплект запасных частей; комплект специального инструмента и приспособлений.

Указанная компрессорная установка поставляется в блочном исполнении, полностью подготовленной к подключению и дальнейшей эксплуатации. Число

ступеней сжатия принимается с расчётом, чтобы максимальная температура воздуха при сжатии не превышала 160 °С. В связи с этим компрессор содержит 4 ступени сжатия.

При создании компрессора серьёзное внимание уделялось разработке и оптимизации его компоновочной схемы (см. рис. 4) [2].

Внешний вид компрессорной установки 2ВМ10-18/71 представлен на рис. 5.

Важным показателем многоступенчатого многорядного компрессора являются значения суммарных газовых сил по рядам, давлений и температур по ступеням [2]. Эти показатели приведены в таблицах 2 и 3.

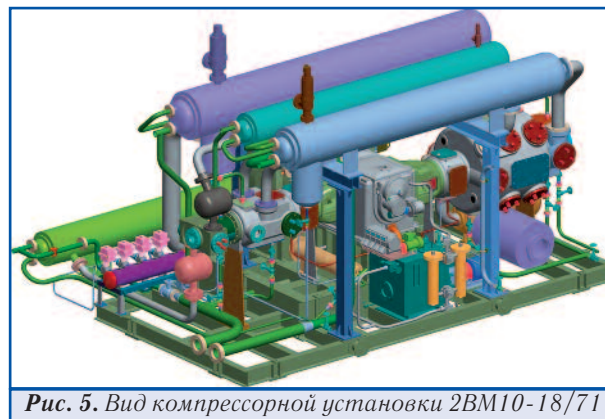
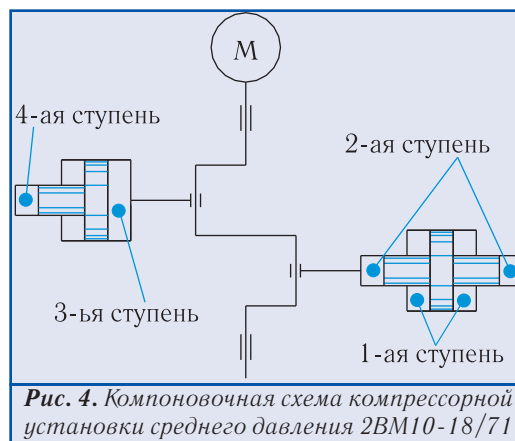


Таблица 2. Суммарные газовые силы по рядам

Номер ряда	Газовая сила в верхней мёртвой точке, МН	Газовая сила в нижней мёртвой точке, МН
1	-0,06494	0,06069
2	-0,07918	0,03585

Таблица 3. Значения давлений и температур по ступеням сжатия

Номер ступени	Начальное давление, МПа	Давление всасывания, МПа	Давление нагнетания, МПа	Конечное давление, МПа	Отношение давлений	Конечная температура адиабатного процесса, К	Конечная температура политр. процесса, К
1	0,09610	0,09129	0,33422	0,30738	3,66108	408,5	355,7
2	0,30738	0,29588	0,98311	0,92194	3,32264	428,4	389,3
3	0,92194	0,89572	2,72452	2,59172	3,04170	420,5	397,3
4	2,59172	2,53481	7,24168	6,96300	2,85690	415,1	404,8

Таблица 4. Основные характеристики компрессорной установки 2ВМ10-18/71

Характеристики	Значения
Производительность на выходе из компрессора, приведённая к условиям всасывания первой ступени, м ³ /мин	18 ⁺¹
Давление начальное, абс., МПа	0,096-0,098
Давление конечное, абс., МПа	6,96
Тип электродвигателя	СДКЗ 4-16-24-12К УХЛ4
Мощность приводного электродвигателя, кВт	315
Напряжение, В	6000 (10000)
Частота вращения вала, мин ⁻¹	500
Расход охлаждающей воды с температурой не более 30 °С, м ³ /ч	40
Температура газа после конечного газоохладителя, не выше, °С	40
Масса комплектной установки с электродвигателем, кг	22000
Габариты установки, мм	6000×4700×3800

Из табл. 3 видно, что максимальная температура нагнетания во второй ступени не превышает 155 °С (428,4 К). При конструировании компрессора нам удалось обеспечить разницу в массах поршневых групп первого и второго рядов менее ±1,5 кг, что обусловило высокую степень уравнивания сил инерции.

При расчётной мощности компрессора $N=219$ кВт и $t=20$ °С можно применить синхронный компрессорный электродвигатель мощностью $N=315$ кВт. Запас мощности даёт возможность не пользоваться дополнительными мёртвыми объёмами для разгрузки двигателя при отрицательных температурах всасываемого воздуха.

Основные технические характеристики указанной КУ блочного исполнения проведены в табл. 4.

4. ВОЗДУШНАЯ КОМПРЕССОРНАЯ УСТАНОВКА 4ВМ16-75/201

Согласно термодинамическому расчёту КУ получилась четырёхрядной, шестиступенчатой на 16-тонной оппозитной базе. Из расчётной таблицы суммарных газовых сил по рядам видно, что база загружена на 100 % (см. табл. 5).

Таблица 5. Суммарные газовые силы по рядам

Номер ряда	Газовая сила в верхней мёртвой точке, МН	Газовая сила в нижней мёртвой точке, МН
1	-0,07980	0,07789
2	-0,11331	0,10798
3	-0,15606	0,14231
4	-0,11360	0,14557

Габариты компрессорной установки не позволяют разместить её на раме. Поэтому для этой КУ необходим фундамент. Компоновочная схема компрессора показана на рис. 6.

Общий вид компрессора приведён на рис. 7.

Техническая характеристика компрессора 4ВМ16-75/201 приведена в табл. 6.

Расчётная мощность компрессора составляет $N=1227$ кВт при $t=20$ °С. Для привода применён синхронный компрессорный электродвигатель мощностью $N=1250$ кВт. С целью разгрузки приводного электродвигателя при отрицательных температурах всасываемого воздуха подключаются дополнительный мёртвый объём, который находится в задней крышке

цилиндра 1-ой ступени. Открытие этого объёма осуществляется вручную. Из графика (см. рис. 8) видно, что при температуре -15 °С необходимо увеличивать дополнительный мёртвый объём.

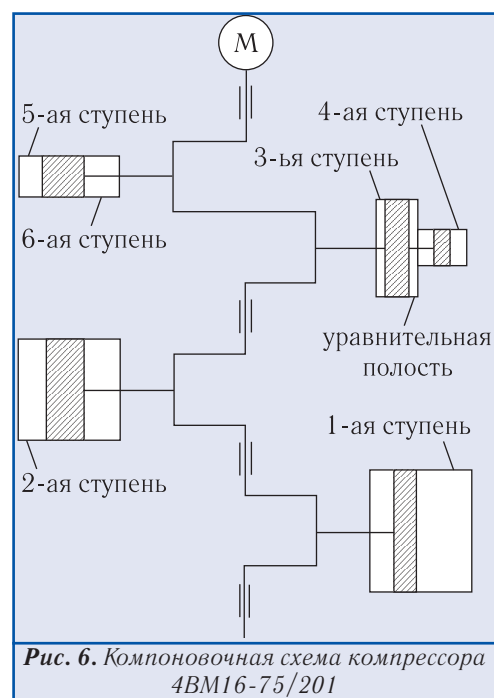
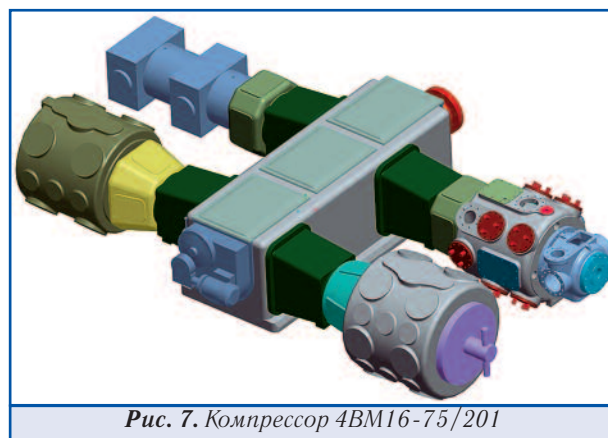
**Рис. 6.** Компоновочная схема компрессора 4ВМ16-75/201**Рис. 7.** Компрессор 4ВМ16-75/201

Таблица 6. Основные характеристики компрессорной установки 4ВМ16-75/201

Характеристики	Значения
Производительность на выходе из компрессора, приведённая к условиям всасывания первой ступени, м ³ /мин	75 ⁺²
Давление начальное, абс., МПа	0,096-0,098
Давление конечное, абс., МПа	19,7
Тип электродвигателя	СДКЗ 4-18-41-16Ф УХЛ4
Мощность приводного электродвигателя, кВт	1250
Напряжение, В	6000 (10000)
Частота вращения вала, мин ⁻¹	375
Расход охлаждающей воды с температурой не более 30 °С, м ³ /ч	130
Температура газа после конечного газоохладителя, не выше, °С	40
Масса комплектной установки с электродвигателем, кг	70000
Габариты установки, м	12×10×4,5

троприводом для приведения её в предпусковое состояние, вывод компрессора на режим; остановка КУ; аварийная остановка КУ с местного или дистанционного поста; визуальный контроль основных параметров контрольно-измерительными приборами; сигнализация о состоянии параметров работы и аварийная остановка КУ при их аварийных значениях.

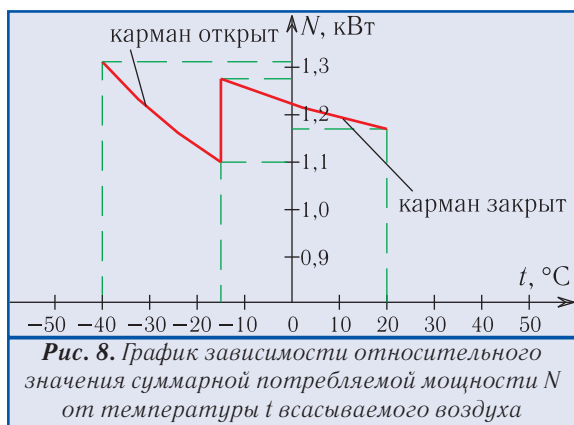


Рис. 8. График зависимости относительного значения суммарной потребляемой мощности *N* от температуры *t* всасываемого воздуха

В состав КУ входят: собственно компрессор 4ВМ16-75/201 со всеми его механизмами и устройствами; межступенчатые газопроводы; аппараты ёмкостные и теплообменные; трубопроводы продувок и предохранительных клапанов, отсоса газа, циркуляционной смазки, смазки цилиндров и уплотнений штоков, системы охлаждения (водопровод); газопроводная и трубопроводная запорная, регулирующая и предохранительная арматура; опоры газопроводов, трубопроводов и систем компрессорной установки; запасные части, инструмент и приспособления; техническая и товаросопроводительная документация.

5. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ДЛЯ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК

Выпускаемые компрессорные установки для сжатия атмосферного воздуха комплектуются автоматизированными системами контроля, управления и защиты (АСКУЗ). Их поставка отдельно оговаривается в контракте на изготовление КУ.

АСКУЗ может быть построена на базе релейной автоматики или на базе программно-технических средств (ПТС) «Allen-Bradley».

Система АСКУЗ на двух указанных базах выполняет следующие функции: пуск и остановка главного двигателя; управление запорной арматурой с элек-

тронным приводом для приведения её в предпусковое состояние, вывод компрессора на режим; остановка КУ; аварийная остановка КУ с местного или дистанционного поста; визуальный контроль основных параметров контрольно-измерительными приборами; сигнализация о состоянии параметров работы и аварийная остановка КУ при их аварийных значениях.

АСКУЗ на базе ПТС «Allen-Bradley» обладает более широкими возможностями и дополнительно выполняет: проверку пусковой готовности; автоматическое управление исполнительными механизмами по заданным алгоритмам; автоматический перезапуск вспомогательных механизмов после кратковременного (1-5 с) отсутствия напряжения (380 В); запрет на выполнение команд оператора при работе КУ в автоматическом режиме управления, если они не предусмотрены алгоритмом управления КУ; защита программно-технических средств от несанкционированного к ним доступа; оперативное (с помощью панели отображения на щите управления) представление режимных параметров КУ в цифровой и графической форме; автоматическое запоминание первопричины срабатывания аварийной сигнализации; автоматическая регистрация изменений параметров и режимов работы при появлении критического события; автоматический контроль выполнения всех команд управления.

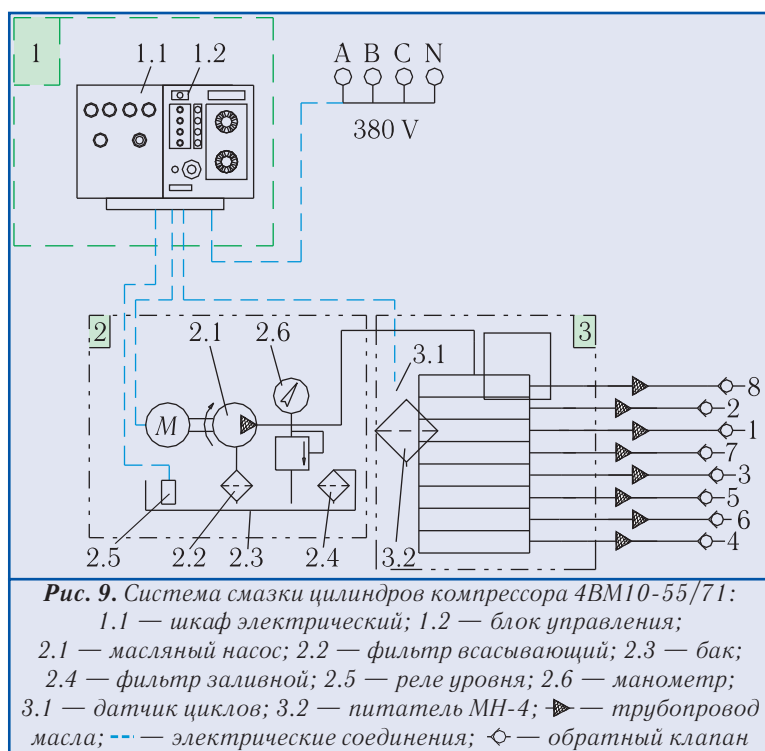
Комплектация поставки системы АСКУЗ зависит от выбранной базы построения.

6. СИСТЕМА ЦИЛИНДРОВОЙ СМАЗКИ

Как известно, основной опасностью, возникающей при эксплуатации поршневых воздушных компрессоров, является возможность образования взрывчатых нагаро-масляных отложений [3-5].

Меры по уменьшению этих отложений сводятся к следующему: применение для смазки цилиндров и уплотнений штоков масел, обладающих окислительной стабильностью и устойчивостью к нагарообразованию; резкое уменьшение количества подаваемого масла или его полное отключение.

Фторполимерные композиции, из которых изготавливают поршневые, направляющие и уплотнительные кольца, позволяют полностью отключать цилиндрическую смазку в указанных компрессорных установках [6]. Однако это может привести к коррозии всех газовых трактов КУ. Продукты коррозии могут вызвать преждевременный выход из строя штоков, поршней, клапанов. Выполнение же всех газовых коммуникаций из нержавеющей сталей приведёт к



резкому удорожанию изделий. В связи с этим остаётся только снижать количество подаваемого масла для смазки цилиндров и уплотнений штоков. Нами внедрён оптимальный приём — применение системы смазки с дозированной подачей (через определенные интервалы времени) смазочного масла к наиболее нагруженным поверхностям трения.

Система, как следует из рис. 9, состоит из модулей 1-3. Для примера показана структура системы смазки цилиндров компрессора 4VM10-55/71.

Модуль управления и контроля 1 предназначен для коммутации силовых цепей электродвигателя насоса, автоматического контроля и управления системой смазки. Модуль смазочный 2 — для очистки масла и подачи его к модулю распределения и контроля 3. Этот модуль 3 используется для подачи масла к трущимся парам.

Преимущество этой системы по сравнению с многоотводными насосами — возможность плавно регулировать подачу смазки в узлы трения, уменьшать вплоть до отключения или увеличивать количество циклов подаваемого масла.

Ранее применяемые многоотводные насосы не позволяют выполнить подобную регулировку.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изготовлении воздушных компрессорных установок среднего и высокого давлений используются лучшие материалы, которые находят применение в современном отечественном и зарубежном машиностроении. Понимая важную роль цилиндрической смазки компрессора, нами разработана и внедряется в создаваемые установки смазывающая станция нового поколения, которая позволяет с учётом соответствующей программы увеличивать, уменьшать или отключать подачу масла.

На ООО «Фрунзе-Кислород» успешно прошло испытание масло марки «ТНК-компрессор VDL150», которое обладает окислительной стабильностью и устойчивостью к нагарообразованию и рекомендовано к применению.

Надеемся, что разработанные нами установки заменят компрессоры старых модификаций в наиболее востребованных промышленностью установках разделения воздуха.

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. **Френкель М.И.** Поршневые компрессоры. Теория, конструкция и основы проектирования. — Л.: Машиностроение, 1969. — 742 с.
3. **Файнштейн В.И.** Кислород, азот, аргон — безопасность при применении. — М.: Интермет Инжиниринг, 2008. — 192 с.
4. ПБ 03-581-03 Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов.
5. РД 24.212.05-91 Компрессоры поршневые оппозитные.
6. **Гракович П.Н.** Эффективный антифрикционный материал «Суперфлувис» для использования в компрессоростроении// Технические газы. — 2006. — № 3. — С. 68-72.