

Ю.Б. Наталуха, А.В. Смирнов, В.Н. Фесенко

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

e-mail: snpo@frunze.com.ua

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ НА ОППОЗИТНОЙ БАЗЕ 4М10 ДЛЯ ВРУ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Компания «Сумское НПО им. Фрунзе» — изготовитель поршневых компрессоров для воздуходелительных установок (ВРУ), работающих по термодинамическим циклам среднего давления. Компания постоянно совершенствует их, учитывая высокие требования не только к техническим, но и к эксплуатационным характеристикам компрессоров. Сообщается о разработке компрессора 4ВМ10-65/71 на базе серийного компрессора 4ВМ10-55/71 с конечным давлением 7 МПа и комплектацией различными видами приводов. Рассматриваются способы улучшения показателей нового компрессора 4ВМ10-65/71.

Ключевые слова: Поршневой компрессор. Многоступенчатое сжатие воздуха. Смазка компрессора. Блочное исполнение. Совершенствование компрессоров. Привод.

Yu.B. Nataluha, A.V. Smirnov, V.N. Fesenko

IMPROVED PARAMETERS FOR PISTON COMPRESSORS ON THE OPPOSED BASIS FOR 4M10 ASU MEDIUM PRESSURE

Company «Sumy NPO named by Frunze» — a manufacturer of piston compressors for air separation units (ASU), operating on a thermodynamic cycle average pressure. Company is constantly improving them, given the high demands not only technical, but also to the performance characteristics of compressors. About the elaboration of the 4VM10-65/71 compressor on the basis of serial 4VM10-55/71 compressor final pressure of 7 MPa and a complete different type of drives is reported. The methods improved performances of a new compressor 4VM10-65/71 are considered.

Keywords: Piston compressor. Multi-stage air compression. Lubrication of compressor. Block design. Improvement of the compressors. Actuator.

1. ВВЕДЕНИЕ

Производство чистых технических газов — кислорода, азота и аргона, спрос на которые постоянно растёт, зависит от совершенства применяемого оборудования, включая компрессорные установки. Сложная компрессорная техника работает в составе криогенных воздуходелительных установок (ВРУ) круглосуточно и наработывает не менее 8000 ч в год [1]. Поэтому к ней предъявляются требования высокой эффективности, надёжности и безопасности. В настоящей статье рассмотрим предлагаемую нами для современных ВРУ новую компрессорную установку производительностью 65 м³/мин по условиям всасывания и с конечным давлением 7 МПа без смазки цилиндров и уплотнений штоков.

2. ОСОБЕННОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ УСТАНОВОК БЛОЧНОГО ИСПОЛНЕНИЯ 4ВМ10-55/71 И 4ВМ10-65/71

В течение нескольких лет предприятие для комп-

лектации ВРУ среднего давления выпускает воздушный поршневой компрессор 4ВМ10-55/71 [2]. В последние годы он модернизировался с целью повышения его эффективности и надёжности; в него внесён ряд конструктивных улучшений, позволивших выпускать его на раме [3].

На существующей оппозитной базе предприятием разработана компрессорная установка 4ВМ10-65/71. Для увеличения её производительности был выполнен термодинамический расчёт. За основу был взят компрессор 4ВМ10-55/71. В результате комплексного подхода к проектированию компрессора повышенной производительности была разработана новая компрессорная установка для сжатия атмосферного воздуха 4ВМ-65/71 (фото 1).

Из анализа данных, приведённых в табл. 1, видно, что основным отличием компрессора 4ВМ10-65/71 от 4ВМ10-55/71 является применение в нём в качестве привода синхронного электродвигателя мощностью 800 кВт и с частотой вращения 600 мин⁻¹. Это обусловило тщательное определение суммарных газо-

вых сил и сил инерций в новом компрессоре. Из таблиц 2 и 3 следует, что значения этих сил не превышают максимально допустимую базовую силу 0,1 МН (10 тс).



Фото 1. Общий вид компрессорной установки 4ВМ10-55/71 (4ВМ10-65/71) на Полтавском заводе медицинского стекла

Таблица 1. Сравнительные характеристики компрессоров 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-65/71

Параметры	4ВМ10-55/71	4ВМ10-65/71
Производительность, приведённая к начальным условиям, при номинальном режиме, м ³ /с (м ³ /мин)	0,92±0,05 (55,00±2,80)	1,08±0,05 (65±2,0)
Давление начальное, абсолютное, МПа (кгс/см ²):		
– номинальное	0,096 (0,98)	
– минимальное	0,094 (0,96)	
– максимальное	0,098 (1,00)	
Давление конечное, абсолютное, МПа (кгс/см ²):		
– номинальное	6,38 (65)	
– максимальное	6,97 (71)	
Температура газа начальная, К (°С):		
– номинальная	293 (20)	
– минимальная	223 (-50)	
– максимальная	313 (40)	
Мощность на валу компрессора при номинальных значениях параметров, кВт	586	748
Мощность максимальная, потребляемая из сети, кВт	630	790
Частота вращения вала, с ⁻¹ (мин ⁻¹)	8,33 (500)	10 (600)
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч:		
– при температуре 30 °С	86±0,5	88±0,5
– при температуре 15 °С	71±0,5	73±0,5
Унос масла, г/ч	80±5	без смазки
Объём масла, заливаемого в маслоблок, м ³ (л)	0,33 (330)	
Масса установки компрессорной без приводного электродвигателя, кг, не более	30000	
Масса наиболее тяжёлой сборочной единицы, кг, не более	21000	
Диаметры цилиндров по ступеням, мм	660; 380; 220; 140	
Средняя скорость поршня, м/с	3,66	4,4
Адиабатический КПД	0,877	0,838
Температура по ступеням, °С	145; 145; 141; 127	143; 150; 145; 130

Сравнение характеристик двух рассматриваемых компрессоров показывает, что разработанный компрессор 4ВМ10-65/71 пока что уступает прототипу. Так, удельный расход энергии у него при номинальных параметрах составляет 0,192 кВт·ч/м³, что на 7,8 % выше, чем у компрессора 4ВМ10-55/71. Это объясняется более низким КПД нового компрессора (0,838) по сравнению с компрессором 4ВМ10-55/71, у которого КПД равен 0,877 (на 4,6 % выше). Кроме этого, нужно учитывать, что в компрессоре 4ВМ10-65/71 смазка пар «поршень-цилиндр» не производится.

Несмотря на указанное, разработчики нового компрессора и технологи видят резервы для его совершенствования.

3. НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОЗДУШНЫХ КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ ВРУ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Для производства чистых технических газов очень важно не загрязнять их смазкой. Из-за этого в настоя-

щее время поршневые компрессоры проектируют для работы без цилиндрической смазки [4].

Многолетние научные и практические исследования, а также накопленный опыт изготовления и эксплуатации поршневых компрессоров с различными оппозитными базами позволили разработать типовую схему проектирования компрессоров без цилиндрической смазки. Схема включает в себя следующее:

- расчёт распределения перепадов давлений и контактных нагрузок на кольца в многокольцевых уплотнениях;

- расчёт уплотнительных и направляющих колец для работы без смазки;

- применение для изготовления поршней, штоков, втулок цилиндров и самодействующих клапанов коррозионно-стойких сталей;

- использование для изготовления уп-

лотнительных, направляющих и противоэкструзионных колец самосмазывающихся фторполимерных материалов;

– применение улучшенной конструкции промежуточного фонаря. В его посадочное место устанавливается уплотнение штока посредством съёмного стакана, толщина стенки которого рассчитывается на оптимальный съём выделяющегося тепла при работе уплотнения (см. рис. 2);

– применение удлинённой направляющей (рис. 3), в которой есть возможность установить ещё один маслосниматель и маслоотбойное кольцо на шток. Это позволило полностью исключить попадание масла из механизма движения по штоку в цилиндр;

– установку после цилиндра второй ступени влагомаслоотделителя с фильтрами «Гриф», которые полностью удаляют влагу из газа.

Таблица 2. Суммарные газовые силы по рядам в компрессорах 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-65/71

Номер ступени	Газовая сила в верхней мёртвой точке, МН	Газовая сила в нижней мёртвой точке, МН
4ВМ10-65/71		
1	-0,0888	0,0874
2	-0,0884	0,0837
3	-0,0782	0,0650
4	-0,0758	0,0431
4ВМ10-55/71		
1	-0,0850	0,0836
2	-0,0882	0,0835
3	-0,0781	0,0646
4	-0,0744	0,0414

Таблица 3. Суммарные силы инерции в компрессорах 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-65/71

Номер ряда	Суммарная сила $P_{ин}$, МН	
	в верхней мёртвой точке	в нижней мёртвой точке
4ВМ10-65/71		
1-4	0,0782	-0,050
4ВМ10-55/71		
1-4	0,052	-0,033

Внедрения вышеизложенных мероприятий позволяют успешно эксплуатировать компрессоры 4ВМ10-65/71 и 4ВМ10-55/71 без смазки цилиндров и уплотнений штоков.

Таблица 4. Электродвигатели мощностью 630 кВт на 500 мин⁻¹ и 6000 В для привода компрессора 4ВМ10-55/71

Марка двигателя	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	Производитель
СДКЗ 4 17-26-12К (синхронный)	1000×1745×1870	3800	Концерн «Росэнергомаш»
ДАЗО 4-560У-12 (асинхронный)	2440×1615×1865	5600	«Электромаш», г. Тирасполь
АОД 630-12У1 (асинхронный)	2325×1865×1880	5990	Концерн «Росэнергомаш»

4. ПРИВОДЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА

В качестве привода в воздушных компрессорных установках среднего давления традиционно применяется электродвигатель синхронный компрессорный консольный, работающий в режиме самовентиляции или принудительной вентиляции по замкнутому контуру через водяные воздухоохладители. Степень защиты корпуса в нём не ниже IP44. В рассматриваемых компрессорах установленные мощности составляют 630 или 860 кВт с частотой вращения 500 или 600 мин⁻¹.

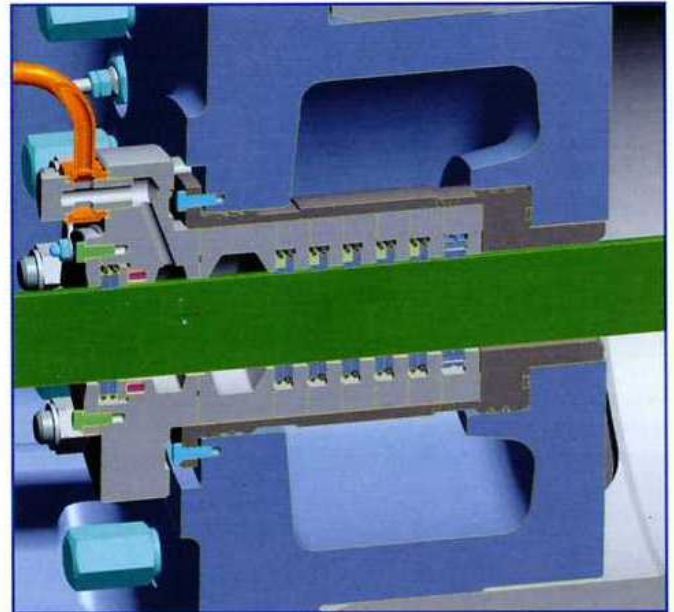


Рис. 2. Общий вид промежуточного фонаря и уплотнения штока

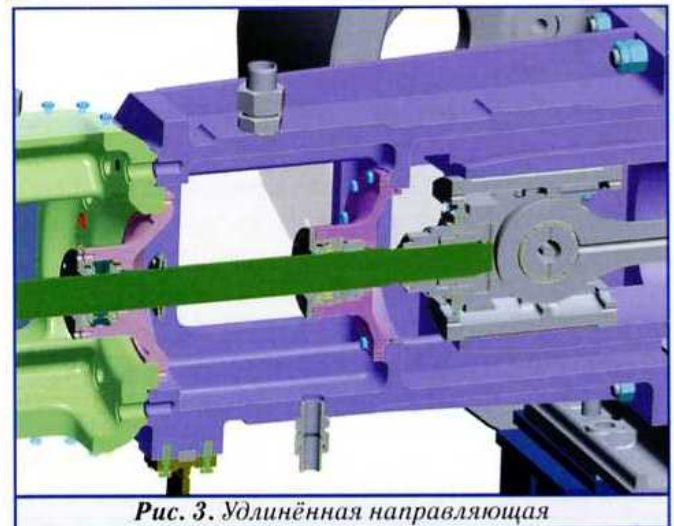


Рис. 3. Удлинённая направляющая

Эти двигатели специально спроектированы для привода поршневых компрессоров на оппозитной базе М10.

Комплектация синхронным электродвигателем имеет ряд преимуществ, но не является обязательной. В качестве привода по желанию заказчика может быть применён и асинхронный электродвигатель.

В табл. 4 приведены результаты сравнения синхронного двигателя с асинхронным разных производителей.

Из таблицы видно, что применение асинхронного электродвигателя приводит к увеличению массы и габаритов компрессорной установки. Кроме того для подсоединения его к компрессору дополнительно требуется муфта.

В настоящее время ценовая политика на продукты разделения воздуха в основном формируется за счёт стоимости потребляемой электроэнергии. В качестве альтернативы электрическому приводу для рассматриваемых компрессоров предлагается газовый привод. Установление газового привода оправдывается в районах, приближённых к газовым месторождениям. Наиболее приемлемым вариантом, как по техническим характеристикам, так и по стоимости будет газовый двигатель 8ГЧН25/34 (завод изготовитель ТДВ «Превомайскдизельмаш»), технические характеристики которого приведены в табл. 5.

Таблица 5. Технические характеристики двигателя 8ГЧН25/34

Характеристики	Значения
Номинальная мощность, кВт	700
Частота вращения, об/мин	600
Литровая мощность, кВт/л	5,2
Средняя скорость поршня, м/с	6,8
Часовой расход топлива, нм ³ /ч	215+10 %
Удельный расход тепла, ккал/кВт·ч	2457±5 %
Удельный расход масла на угар, г/кВт·ч	1,24
Габаритные размеры (Д×Ш×В), м	4,06×1,87×2,65
Ресурс до кап. ремонта, тыс. ч	60
Ресурс до выема поршней, тыс. ч	10
Ресурс непрерывной работы, тыс. ч	1
Сухая масса, т	14,2

На фото 4 показана компрессорная установка 4ВМ10-55/71 с газовым приводом и аппаратами воздушного охлаждения.



Фото 4. КУ 4ВМ10-55/71С с газовым приводом и аппаратами воздушного охлаждения

5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПРЕССОРОВ В РАЙОНАХ С НИЗКИМИ ТЕМПЕРАТУРАМИ ВСАСЫВАЕМОГО ВОЗДУХА

Ранее нами в [3] уже рассматривалась возможность эксплуатации КУ 4ВМ10-55/71 в районах с жарким климатом. Так как продукт воздухоразделения — азот нашёл широкое применение в газлифтной добыче нефти, то в районах с холодным климатом возникла необходимость эффективной эксплуатации компрессоров в этих условиях.

Потребляемая мощность и температура всасываемого воздуха, как известно, находятся в линейной зависимости. С понижением температуры всасываемого воздуха растёт потребляемая мощность. Для исключения перегрузки приводного двигателя в задней крышке цилиндра предусмотрен присоединяемый мёртвый объём.

На рис. 5 показаны зависимости потребляемой мощности от температуры всасываемого воздуха, когда необходимо подсоединять дополнительный мёртвый объём (открывать карман) или работать с закрытым карманом. Из рисунка видно, что компрессор может продолжать работу с открытым карманом при температуре $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ без перегрузки электродвигателя.

При температуре всасываемого воздуха $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и открытом кармане потеря производительности 15-20%. Чтобы избежать этого необходимо на всасывании после фильтрокамеры установить кожухотрубчатый теплообменник, в котором будет подогреваться холодный воздух водой из оборотной линии системы

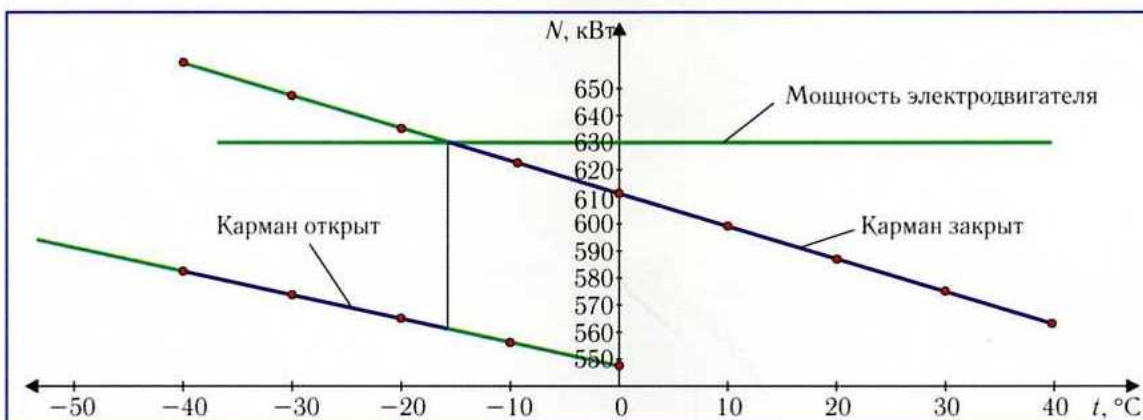


Рис. 5. Зависимость мощности на валу компрессора от температуры всасываемого воздуха для КУ 4ВМ10-55/71

отопления. Это позволяет поддерживать температуру всасываемого в компрессор воздуха выше 0 °С и отпадает необходимость в открытии кармана.

Нами разработан кожухотрубчатый теплообменник для его установки на всасывании компрессора 4ВМ10-55/71 для подогрева воздуха.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поршневые компрессорные установки средней производительности с конечным давлением до 7МПа ВРУ успешно эксплуатируются в составе ВРУ от г. Кишинёва до г. Сургута.

Рассмотрена возможность комплектации компрессоров приводным двигателем, работы компрессора без смазки и организации его эксплуатации в районах с холодным климатом. Сравняются модификации компрессорных установок 4ВМ10-55/71 и 4ВМ10-65/71. Совершенствование компрессора 4ВМ10-65/71 позволит рекомендовать его для ис-

пользования в ВРУ, работающих по циклам среднего давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файнштейн В.И. Кислород, азот, аргон — безопасность при применении. — М.: Интермет Инжиниринг, 2008. — 192 с.
2. 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.
3. Смирнов А.В., Гринь Н.П., Наталуха Ю.Б. Разработка компрессора блочной конструкции 4ВМ10-55/71М1 для воздуходелительных установок среднего давления// Технические газы. — 2010. — № 6. — С. 31-35.
4. Новиков И.И., Захаренко В.П., Ландо Б.С. Бес-смазочные поршневые уплотнения в компрессорах. — М.: Машиностроение, 1981. — 238 с.



ПАО "Сумское НПО им.М.В.Фрунзе" — одно из старейших предприятий в мире по изготовлению поршневых компрессоров

- широкая номенклатура;
- высокая эффективность и надежность;
- большой ресурс работы;
- автоматизированная система контроля, управления и защиты;
- гарантийное обслуживание.

www.frunze.com.ua

ОПЫТ, которому можно доверять



Украина, 40004, г.Сумы, ул.Горького, 58
www.frunze.com.ua
 управление продаж:
 т. +38 0542 78 84 64, ф. +38 0542 22 63 62
 отдел маркетинга:
 т. +38 0542 78 05 71



Представительство в России, г.Москва
 т. +7 495 745 88 30, ф. +7 495 745 88 31