

УДК 621.512

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

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

e-mail: tkm@frunze.com.ua

## ПОРШНЕВЫЕ ВОЗДУШНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ МАШИНЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ВРУ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ЦИКЛЫ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЙ

ОАО «Сумское НПО им. М.В.Фрунзе» начало выпуск поршневых компрессоров для воздуходелительных установок (ВРУ) ещё в 50-ых годах прошлого века. В настоящее время выпускается ряд компрессорных установок нового поколения для ВРУ среднего и высокого давлений: 2ВМ10-27/71, 4ВМ10-55/71, 6ВМ16-150/200 и другие. В их конструкциях применены новые технические решения отечественного и зарубежного компрессоростроения, улучшающее качество изделий и надёжность при эксплуатации.

**Ключевые слова:** Воздухоразделительная установка. Поршневой компрессор. Многоступенчатое сжатие воздуха. Смазка компрессоров. Блочное исполнение компрессоров. Совершенствование компрессоров.

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

## PISTON AIR COMPRESSOR OF NEW GENERATION FOR ASP REALIZING CYCLES OF AVERAGE AND HIGH PRESSURE

JSC «Summy Frunze NPO» started release of piston compressors for air separation plants (ASP) in 50th years of the last century. A number of compressors of new generation now is made for ASP of average and high pressure: «2ВМ10-27/71», «4ВМ10-55/71», «6ВМ16-150/200» and others. In their designs a new technical decisions of domestic and foreign compressor engineering improving quality of products and reliability at operation are applied.

**Keywords:** Air separation plant. Piston compressor. Multistage compression of air. Compressors greasing. En-bloc directional compressors. Perfection of compressors.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Ряд поршневых компрессоров, выпускаемых нашим предприятием, предназначаются специально для комплектации воздуходелительных установок (ВРУ) различной производительности, реализующих циклы среднего и высокого давлений. Одновременно с этим, по заявкам заказчиков, разрабатываются и изготавливаются компрессоры для сжатия воздуха с поршневой силой до 25 т и давлением до 35 МПа.

В настоящей статье остановимся на технических характеристиках поршневых машин, выпускаемых для ВРУ, их работоспособности. Также коснёмся вопросов модернизации ранее изготовленных машин с целью увеличения производительности, межремонтного цикла и сокращения продолжительности ремонтных работ.

### 2. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В период 1981-1993 гг. предприятием было выпущено 80 компрессоров 6ВМ16-140/200М1 для комплектации ВРУ АжКжКАрж-2, в которых используется

термодинамический цикл высокого давления. Они были смонтированы на предприятиях разного профиля бывшего СССР; большинство из них продолжает работать до сих пор (фото 1).



**Фото 1.** Внешний вид компрессора 6ВМ16-140/200М1, работающего в составе ВРУ на «Харьковском автогенном заводе» (год выпуска — 1989)

С 1992 г. началось производство модернизированного шестиступенчатого компрессора 6ВМ16-150/200 с производительностью 150 м<sup>3</sup>/мин, приведённой к условиям всасывания, с потребляемой мощностью не более 2000 кВт (см. табл. 1).

На сегодняшний день предприятием изготовлено и сдано в эксплуатацию шесть таких установок. Одна из них — на фото 2.

**Таблица 1.** Показатели компрессора 6ВМ16-150/200

Характеристика	Значение
Производительность (при условиях всасывания), м <sup>3</sup> /мин	150
Давление начальное, абс, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,096 (0,98)
Давление конечное, абс, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	19,7 (201)
Мощность, потребляемая компрессором, не более, кВт	2000
Габариты установки, м	15×11×4,5
Масса установки без электродвигателя, кг	84000



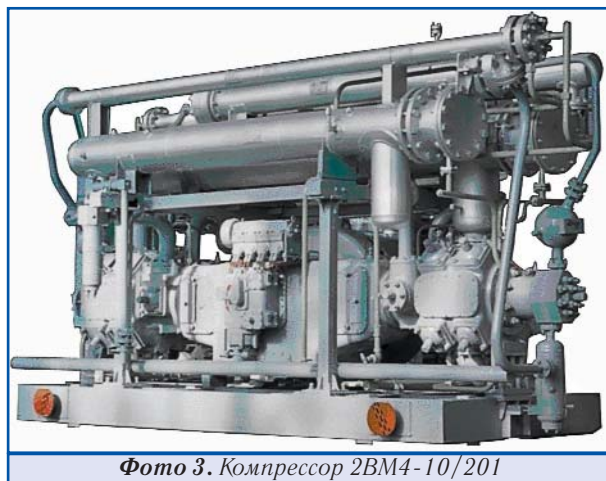
**Фото 2.** Компрессор 6ВМ16-150/200 выпуска 2006 г. на Новороссийском кислородном заводе

Нами разработана технология модернизации компрессора 6ВМ16-140/200М1 с увеличением его производительности до 150 м<sup>3</sup>/мин по условиям всасывания. Модернизация включает в себя замену цилиндра второй ступени на новый цилиндр с увеличенным диаметром зеркала; перевтуливание цилиндра третьей ступени; замену поршней второй и третьей ступеней и поршневых колец на новые увеличенного диаметра. Остальные узлы компрессора, обвязка и аппараты остаются без изменений.

Один из путей повышения производительности поршневых компрессоров — использование резонансного (акустического) наддува [1,2]. Этот способ даёт возможность повысить производительность действующих поршневых компрессоров на 10-20 % без капитальных затрат путём модернизации всасывающей линии.

Для ВРУ высокого давления предприятием выпускается также компрессор 2ВМ4-10/201 (фото 3). Такой компрессор работает в составе ВРУ в г. Лисичанске на заводе редких газов.

Компрессор 2ВМ4-10/201 — двухрядный, шестиступенчатый оппозитный на унифицированной базе 2М4. Он имеет блочное исполнение на раме. Его характеристики приведены в табл. 2.



**Фото 3.** Компрессор 2ВМ4-10/201

**Таблица 2.** Показатели компрессора 2ВМ4-10/201

Характеристика	Значение
Давление всасывания (абс.), кгс/см <sup>2</sup>	0,98-1,0
Давление нагнетания (абс.), кгс/см <sup>2</sup>	201
Производительность компрессора (при условиях всасывания), м <sup>3</sup> /мин	10,2
Число оборотов, мин <sup>-1</sup>	750
Мощность электродвигателя, кВт	160
Масса компрессорной установки с электродвигателем, кг	9000
Габариты установки, м	1,85×4,6×2,55

### 3. ПОРШНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Высоким оказывается спрос на компрессор 4ВМ10-55/71. Тип компрессора — четырёхрядный, четырёхступенчатый на унифицированной оппозитной базе 4М10.

До 2009 г. компрессор выпускался с площадкой обслуживания (см. фото 4) и устанавливался на фундамент на отметке 1,4 м. Опытный образец компрессора был изготовлен и испытан в 1998 г.



**Фото 4.** Компрессор 4ВМ10-55/71 с площадкой обслуживания на литейно-прокатном заводе в г. Ярцево Смоленской области

В настоящее время предприятие готово выпускать

каль компрессор 4ВМ10-55/71 на раме, с газоохладителями и трубопроводной обвязкой (рис. 5). Блочное изготовление позволяет уменьшить габариты установки (см. табл. 3).

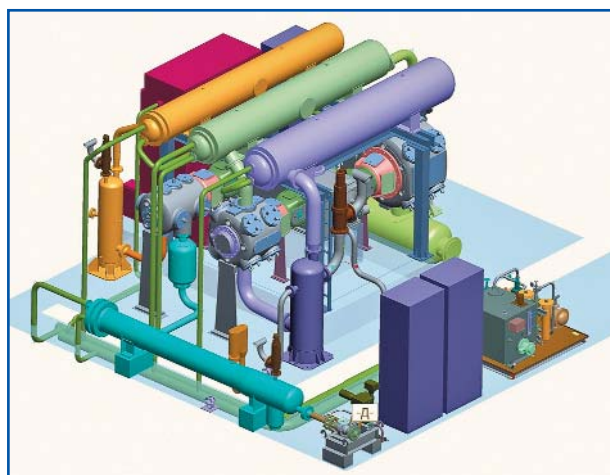


Рис. 5. Вид компрессорной установки 4ВМ10-55/71, монтируемой на раме без площадки обслуживания

Таблица 3. Показатели установок на базе компрессора 4ВМ10-55/71

Характеристика	Значение
Давление всасывания (абс.), кгс/см <sup>2</sup>	1,0
Давление нагнетания (абс.), кгс/см <sup>2</sup>	71
Производительность компрессора (при условиях всасывания), м <sup>3</sup> /мин	55
Число оборотов, мин <sup>-1</sup>	500
Мощность электродвигателя, кВт	630
Габариты установки на фундаменте, м	8,5×7,5×4,15
Габариты установки на раме, м	7,5×7,5×3,5

Укажем основные преимущества компрессора, размещаемого на раме:

- упрощается конструкция фундамента, уменьшается объём заливаемого бетона;
- существенно сокращаются сроки монтажных работ;
- нет необходимости в металлоёмкой площадке обслуживания;
- более удобным оказывается доступ к аппаратам и трубопроводам;
- уменьшается сметная стоимость монтажных и строительных работ.

Для сокращения затрат времени на замену поршневых и направляющих колец при плановых ремонтах применена новая конструкция гайки крейцкофа. При новой конструкции гайки не требуется её затяжка специальным ключом с контролем затягивающего момента 400 кгс·м. Достаточно применить ключ динамометрический с усилием затяжки 15 кгс·м.

Нами выполнен перевод компрессоров среднего и высокого давлений на работу с ограниченной смазкой поршневых групп и уплотнений штоков. Это сделано для предотвращения образования гетерогенных нагаро-масляных взрывчатых систем в клапанных корб-

ках, промежуточных и конечных газоохладителях.

С 2009 г. все выпускаемые воздушные компрессорные установки комплектуются импульсными, дозированными смазочными системами.

Преимуществом этой системы является возможность плавно регулировать подачу смазки в узлы трения и уменьшать её вплоть до отключения или увеличивать количество циклов подаваемого масла. Применяемый ранее плунжерный многоотводный насос не позволял выполнить такую регулировку.

В табл. 4 указан номинальный расход смазки для компрессора 4ВМ10-55/71 при цикле подачи в 1 мин. Количество циклов в минуту может быть 0; 0,5; 1; 2; 4; 8 и 16.

Таблица 4. Расход смазки, подаваемой в компрессор 4ВМ10-55/71

Точки смазки	Номинальный расход по точкам, г/ч
Цилиндр 1-ой ступени	15
Цилиндр 2-ой ступени	10
Цилиндр 3-ей ступени	10
Цилиндр 4-ой ступени	10
Уплотнение штока 1-ой ступени	8
Уплотнение штока 2-ой ступени	8
Уплотнение штока 3-ей ступени	10
Уплотнение штока 4-ой ступени	10
Суммарный расход	81

В уплотнениях штоков бронзовые противоэкструзионные кольца заменены на кольца из антифрикционного чугуна, который допускает работу с ограниченной смазкой. Ограниченная смазка предусматривает подачу масла в течение 20-30 мин в смену при номинальном расходе.

Перевод поршневых машин для сжатия атмосферного воздуха на работу без смазки цилиндров и уплотнений штоков нецелесообразен, так как газовый тракт и аппараты выполнены из углеродистой стали и подвержены коррозии. Продукты коррозии вызывают преждевременный износ поршневых направляющих колец, рабочих органов самодействующих клапанов, зеркал цилиндров, сокращая межремонтный пробег. Изготовление газового тракта, поршней, штоков, зеркал цилиндров из антикоррозионной стали приводит к удорожанию изделия. Оптимальным вариантом является работа с ограниченной смазкой.

Компрессоры производительностью до 30 м<sup>3</sup>/мин, учитывая сравнительно небольшую их массу по согласованию с заказчиком могут выполняться с газовым трактом из нержавеющей стали для работы без смазки цилиндров и уплотнений штоков.

Предприятием для ВРУ среднего давления выпускаются также воздушные компрессорные установки 2ВМ10-18/71 и 2ВМ10-27/71. Им присущи следующие особенности:

- блочное исполнение на раме;
- ограниченная смазка цилиндров и уплотнений штоков;

- привод с помощью синхронного компрессорного электродвигателя;
- водяная система охлаждения с напорным сливом;
- полная готовность к возможным испытаниям на рабочие параметры.

Представление о внешнем виде компрессорной установки 2ВМ10-27/71 даёт рис. 6.

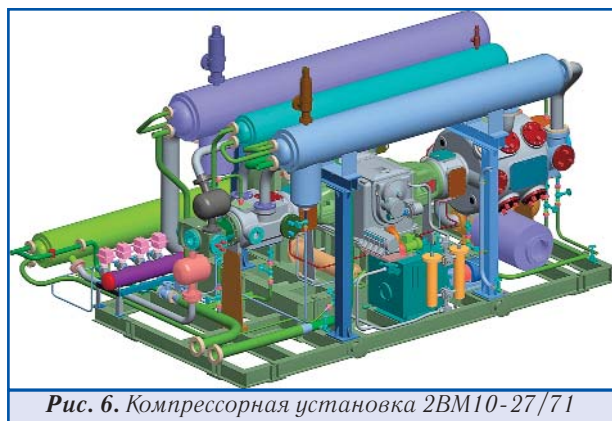


Рис. 6. Компрессорная установка 2ВМ10-27/71

Технические характеристики двух компрессорных установок приведены в табл. 5.

#### 4. НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ВРУ СРЕДНЕГО И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЙ

Предприятие уделяет постоянное внимание совершенствованию компрессорных установок, предназначенных для использования в ВРУ средней производительности [3].

Конструкторским подразделением разработана аксиальная база 6ВА1,6 мощностью до 160 кВт, шестирядная со сферическим механизмом и качающейся шайбой.

Компрессорные установки на аксиальной базе имеют ряд преимуществ перед оппозитными:

- меньше габаритные размеры;

- возможность изготовления любого компрессора мощностью до 160 кВт без существенных капитальных затрат (сокращаются сроки сборки);
- простота компоновки и трубной обвязки;
- малый уровень шума при работе.

Основные технические характеристики аксиальной базы 6ВА1,6 приведены в табл. 6.

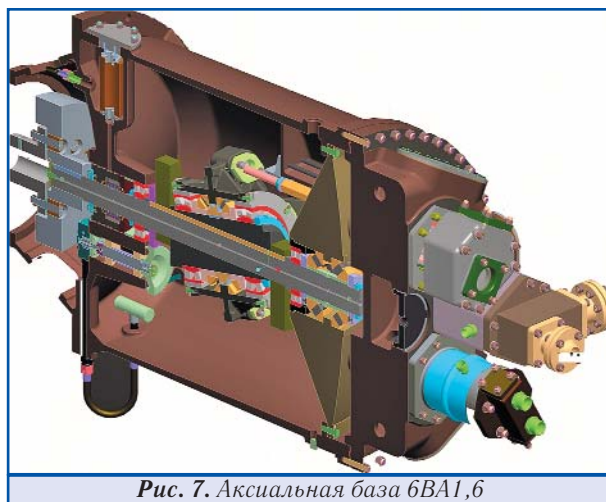


Рис. 7. Аксиальная база 6ВА1,6

Эта база позволяет размещать на ней воздушный компрессор с давлением нагнетания 20 МПа, производительностью 10 м<sup>3</sup>/мин по условиям всасывания, мощностью 160кВт. В поршневом варианте — это компрессор 2ВМ4-10/201.

Для совершенствования освоенных уже в производстве компрессоров и при создании новых моделей намечено использовать следующие решения [4]:

- Спиральные поршневые кольца, которые устанавливаются в соответствующие специальные канавки поршня, можно изготавливать без разрыва и зазора по окружности, что существенно снижает утечки газа через уплотнение.
- Целесообразно применять самодействующие клапаны с новыми неметаллическими материалами. Существенным их преимуществом является эффек-

Таблица 5. Показатели установок на базе компрессоров 2ВМ10-18/72 и 2ВМ10-27/71

Характеристика	Показатели установок	
	2ВМ10-18/71	2ВМ10-27/71
Производительность на выходе из компрессора, приведённая к условиям всасывания первой ступени, м <sup>3</sup> /мин	18 <sup>+1</sup>	25 <sup>+3</sup>
Давление начальное, абс., МПа	0,096-0,098	0,096-0,098
Давление конечное, абс., МПа	6,96	6,96
Тип электродвигателя	СДКЗ 4-16-24-12К УХЛ4	СДКЗ 4-16-29-12К УХЛ4
Мощность приводного электродвигателя, кВт	315	400
Напряжение, В	6000 (10000)	6000 (10000)
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	500	500
Расход охлаждающей воды с температурой не более 30 °С, м <sup>3</sup> /ч	40	37
Температура газа после конечного газоохладителя, не выше, °С	40	40
Масса комплектной установки с электродвигателем, кг	22000	24000
Габариты установки, мм	6000×4700×3800	6250×4725×3820

тивное поглощение энергии удара, малая движущая масса, малая чувствительность к посторонним твёрдым примесям, более высокая герметичность, безопасность при эксплуатации.

- Необходимо внедрять систему мониторинга за износом направляющих колец путём непрерывного контроля прогиба штока с использованием ёмкостных или других датчиков и температурой шатунных подшипников с применением бесконтактного метода.

- Соединять шток с поршнем и шток с крейцкопфом при помощи специальной гайки, намного уменьшающей момент затяжки. Такая конструкция гайки даёт возможность выполнять затяжку обычным динамометрическим ключом без гидрозатяжки.

- Применять электроприводы с регулируемой частотой питающего тока (инвертный привод). Приводные системы этого типа позволяют наиболее экономично регулировать производительность компрессора в широких пределах.

- Создавать комбинированные компрессорные установки, сочетающие преимущества компрессоров других типов (винтовых, центробежных) при низких давлениях с преимуществами поршневых компрессоров при средних и высоких давлениях.

**Таблица 6. Показатели аксиальной базы 6BA1,6**

Характеристика	Значения
Номинальная поршневая сила в ряду, кг	1600
Ход поршней, м	0,1
Максимальная частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	1500
Масса базы, кг	4100

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе создания комплекса «компрессор – воздухоразделительная установка», монтаж является завершающим этапом сдачи выполненной предприя-

тием работы на месте эксплуатации. Сокращение продолжительности монтажных работ является важным фактором, увеличивающим гарантийный срок эксплуатации компрессорной установки. Создание моноблочных установок, выполненных на рамах, переносят значительную часть монтажных работ на завод-изготовитель.

Высококачественное выполнение работ, связанных с проектированием и изготовлением компрессорной установки, в конечном счёте ведут не только к сокращению сроков монтажа, но и дают возможность снизить их себестоимость.

Участие всех квалифицированных работников предприятия в процессе управления качеством производимого оборудования, грамотное инженерное руководство, современный менеджмент позволяют нам выпускать конкурентоспособную продукцию в современных рыночных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лавренченко Г.К., Швец С.Г., Копытин А.В. Использование резонансного наддува для повышения производительности поршневых компрессоров// Технические газы. — 2003. — № 4. — С. 9-15.
2. Рутковский Ю.А. Использование резонансного наддува для повышения эффективности поршневых компрессоров// Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2008. — № 2. — С. 87-92.
3. 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.
4. Сорин А.Х. Производство поршневых компрессоров среднего и высокого давления в промышленно развитых странах// Компрессорная техника и пневматика. — 2007. — № 2. — С. 10-12.