

УДК 621.52
doi:10.18720/SPBPU/2/id18-105

Найчук Виктор Васильевич

Начальник бюро отдела поршневых машин
freeonshatun@gmail.com

Смирнов Андрей Витальевич

Технический директор кандидат технических наук
tkm@snpou.ua

Фесенко Владимир Николаевич

Главный конструктор отдела поршневых машин
tkm@snpou.ua

ПАО «Сумское НПО», г. Сумы, Украина

**КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ГАЗЛИФТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ
НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ ПОРШНЕВОЙ КУ 2ГМ10А-2,7/21-151
И ГАЗОПОРШНЕВОГО ПРИВОДА**

Аннотация. Блочно-комплектная компрессорная станция создана на основе поршневой компрессорной установки с газопоршневым двигателем. Станция предназначена для реализации газлифтного способа добычи нефти путем обратной закачки нефтяного газа при давлении 15,0 МПа

Ключевые слова: Компрессорная станция, поршневая компрессорная установка, поршневой компрессор, газопоршневой двигатель

Naichuk Victor V.

Head of piston machines division bureau
freeonshatun@gmail.com

Smirnov Andrey V.

Candidate of Engineering Sciences, Technical Director
tkm@snpou.ua

Fesenko Vladimir N.

Chief technologist for piston machines division
tkm@snpou.ua

PAO «Sumskoe NPO», Sumy, Ukraine

COMPRESSOR STATION FOR OIL WELLS GAS-LIFT OPERATION ON THE BASIS OF PISTON KU 2GM10A-2,7_21-151 AND GAS PISTON DRIVE

Annotation. Block-complete compressor station is created on the basis of a piston compressor unit with a gas-piston engine. The station is intended for realization of the gas-lift petroleum production method by the petroleum gas re-injection at a pressure of 15.0 MPa.

Keyword: Compressor station, piston compressor unit, piston compressor, gas-piston engine.

1. Введение

ПАО «Сумское НПО» (далее ПАО), являясь традиционным поставщиком поршневых компрессоров среднего и высокого давления, снабдило ими газодобывающие отрасли во всех странах СНГ. Для успешной конкуренции с ведущими зарубежными компаниями в области поршневых компрессоров в ПАО уделяется большое внимание их совершенствованию.

Одной из важных характеристик компрессора является частота вращения колеччатого вала, что значительно уменьшает массогабаритные показатели.

2. Общие сведения о КС и условия эксплуатации оборудования

Для обеспечения газлифтной эксплуатации скважин на намывных сооружениях Яблунивского ГПУ ПАО «Полтавагаздобыча» создана компрессорная установка 2GM10A-2,7/21-151 с поршневым компрессором (ПК) и приводом от газопоршневого двигателя (ГПД) фирмы «Caterpillar» (США).

Сравнивая установку с оборудованием, ранее разработанным в ПАО для газовой промышленности (ГПА-П-0,5/4-46С с ПК и ГПД 6ГЧН 25/34-2 (конструкции АО

«Первомайск-дизель», Украина) для КС «Летня», (ГП «Львовтрансгаз», Украина) следует отметить ряд конструктивных отличий вновь созданной КУ 2GM10A-2,7/21-151, обусловленные составом компримируемого газа (табл.1), параметрами ПК и условиями эксплуатации.

Наличие в газе пыли (до 5 мг/м³), механических примесей (размер фракций до 40 мкм), относительной влажности (до 100%) потребовали создания входного сепаратора с фильтрами из материала «Гриф» (Беларусь, «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси») для более эффективной очистки компримируемого газа. Отношение давлений в ПК $\pi_k=7,19$ определило необходимость создания двухступенчатого компрессорного агрегата.

Конструкция и материальное исполнение должны обеспечивать надежную эксплуатацию установки на открытом воздухе, под легким укрытием-навесом, обеспечивающим защиту от осадков и прямых солнечных лучей.

Климатические условия эксплуатации оборудования: температура — зимой до минус 35°C, летом плюс 40°C; высота над уровнем моря до 200 м.

Таблица 1

Проектный состав технологического газа

Место рождения	Состав газа, %													
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	C ₆ H ₁₄ +В	O ₂	N ₂	CO ₂
Яблунинское	81,26	5,562	1,977	—	0,228	0,449	0,101	0,109	0,007	—	0,06	0,062	5,17	5,015
Летня	94,096	0,657	0,13	0,019	—	—	0,026	—	—	0,072	—	—	5	—

Таблица 2

Технические параметры КС «Яблунинское»

Параметр, единица измерения	Численное значение параметра
Коммерческая производительность, $\text{м}^3/\text{сут.}$	50000÷80000
Начальное давление, МПа	1,5÷2,0
Конечное давление, МПа	12÷15
Температура на входе, К	268÷293
Температура на выходе, К	318

Оборудование КУ для сокращения времени монтажа и ввода в эксплуатацию выполнено в виде отдельных законченных блоков-модулей со 100% заводской готовностью. Основные технологические параметры КС «Яблунинское» представлены в таблице 2

3. Основные конструктивные решения

Кинематическая схема КУ представлена на рис. 1, а общий вид КС «Яблунинское», оснащенной одной компрессорной установкой 2ГМ10А-2,7/21-151, на рис. 2.

Как видно из рис. 1 и 2, блочно-комплектная КУ [1] включает следующее оборудование: агрегат компрессорный 2ГМ10А-2,7/21-151 с ГПД мощность 368 кВт; блок арматуры с регулирующей и запорной арматурой, обратным и предохранительными клапанами; сепараторы и влагомаслоотделители 1,2 ступени; систему охлаждения технологического газа с межступенчатыми газопроводами и АВО, буферные емкости; систему смазки и ох-

лаждающей жидкости КУ и ГПД; систему продувки и дренажа; системы САУиР; блок подготовки топливного и пускового газа.

Очистка газа от капельной жидкости, пыли и механических примесей, улавливания залповых забросов жидкой фазы происходит в сепараторе КУ. После сепаратора газ низкого давления по трубопроводу через пневматический клапан-регулятор давления после себя, через клапан ручной и клапан пневматический с установленным между ними продувочным клапаном поступает на вход КУ. Для продувки газового тракта КУ азотом перед пуском предусмотрена дополнительная линия с ручным и обратным клапаном. После продувки азотом с помощью пневматического клапана осуществляется заполнение контура технологическим газом

Компримируемый газ через пусковой фильтр грубой очистки (степень очистки 400 мкм) поступает во входной сепаратор, предназначенный для тонкой (двухуров-

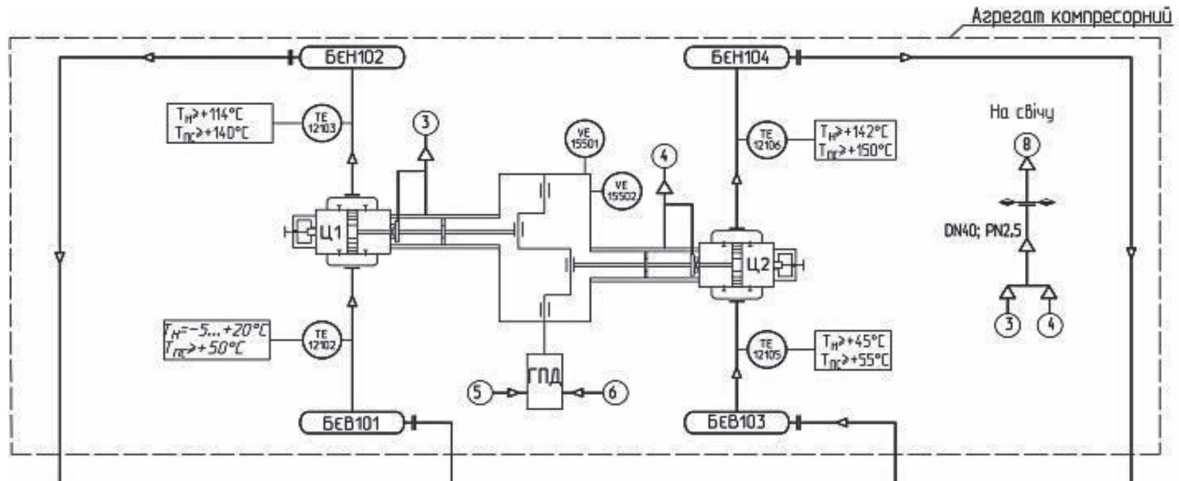


Рис. 1. Кинематическая схема КУ КС «Яблунивское» для газлифтной добычи нефти.

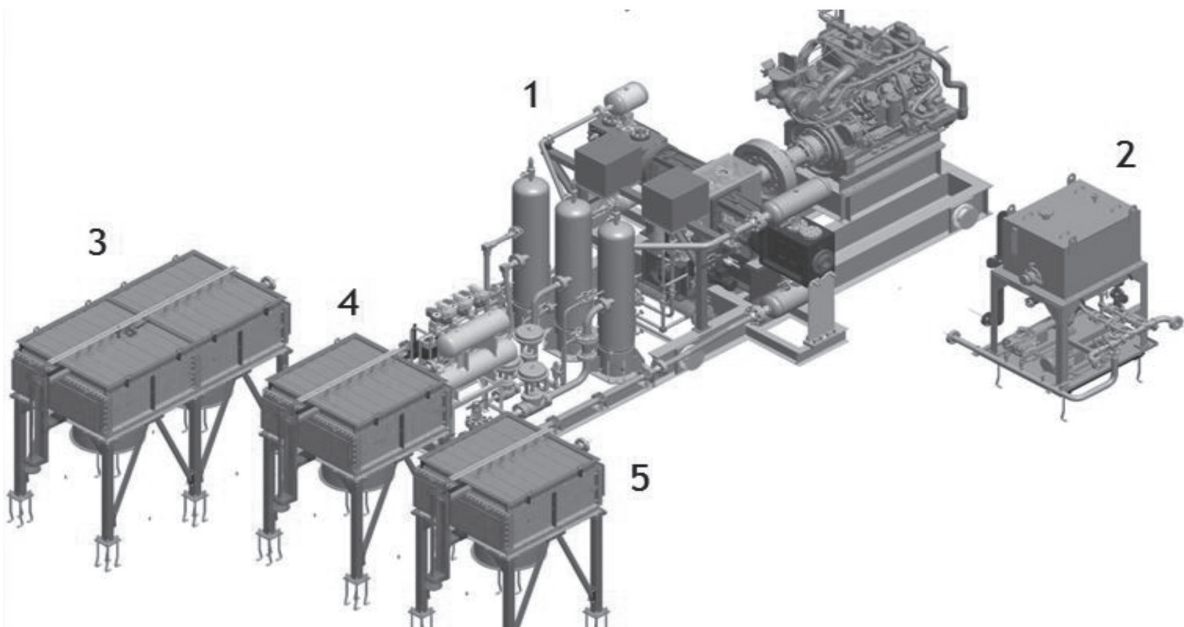


Рис. 2. Общий вид и состав КУ: 1 – агрегат компрессорный 2ГМ10А-2,7/21-151; 2 – блок охлаждающей жидкости; 3 – АВО газа 1ст.; 4 – АВО охлаждающей жидкости компрессора; 5 – АВО охлаждающей жидкости рубашки двигателя.

невой) очистки газа: капельной жидкости и механических примесей; тонкой очистки от пыли в специальной батарее фильтров (сте-пень очистки 5 мкм)

Основные технические характеристики входного сепаратора КУ представлены в таблице 3.

Из опыта эксплуатации известно, что данная конструкция сепаратора обеспечивает надежную работу и эффективность.

При пуске ГЛД газ циркулирует по кольцу через байпасный трубопровод при открытом пневматическом клапане. С набором двигателем необходимых оборотов в автоматическом режиме осуществляется закрытие клапана и открытие клапана на нагнетании второй ступени КУ. После сепаратора газ поступает в буферную емкость всасывания и далее в цилиндр 1 ступени компрессора. После сжатия в рабочих полостях цилиндра 1 ступени газ

Технические характеристики входного сепаратора

Параметр, единица измерения	Численное значение параметра
Производительность, $\text{м}^3/\text{сут}$	50000÷80000
Диапазон изменения производительности, %	62÷100
Давление рабочее, МПа	1,5÷2
Температура рабочая, К	268÷293
Гидравлические потери напора, МПа, не более	0,002÷0,003
Габаритные размеры, м	0,6 x 0,6 x 2,3
Масса, кг	675

поступает в буферную емкость нагнетания 1 ступени.

После завершения процесса сжатия в цилиндре 2 ступени газ через буферную емкость нагнетания 2 ступени и далее по газопроводу последовательно в аппарат воздушного охлаждения 2 ступени, влагомаслоотделитель 2 ступени поступает в нагнетательный газопровод КУ, который комплектуется обратными, пневматическими и ручными продувочными клапанами. Для предотвращения аварийного повышения давления в контуре предусмотрены предохранительные клапаны и трубопровод аварийного сброса газа через пневматический клапан на факел (свечу).

Регулирующий пневматический клапан выполняет две функции: загрузка и разгрузка КУ; поддержание минимального давления газа (1,5 МПа) на входе в КУ.

Для отвода жидкости из сепаратора входного и влагомаслоотделителей в стационарную емкость конструкцией предусмотрены дренажные трубопроводы. Сброс газа с предохранительных клапанов, трубопроводов обвязки КУ предусмотрены факельные (свечные) трубопроводы, соединенные с факельным коллектором ДКС. Газ из стартера двигателя сбрасывается в отдельный свечной трубопровод. Управление пневмоприводами арматуры осуществляется с помощью воздуха КИПиА.

4. Конструктивные особенности КУ и ее основного оборудования

Основой КУ является компрессорный агрегат с ГПД фирмы Caterpillar.

Крейцкопфная часть и фонарная часть направляющей снабжены боковыми окнами для монтажа крейцкопфа и уплотнения штока. Крейцкопфная часть направляющей отделена от фонарной части съемной перегородкой, в которой установлены маслосъемные манжеты, которые служат для защиты

К конструктивным особенностям агрегата, основные технические характеристики которого представлены в таблице 4, по сравнению с ранее выпущенными ПКУ с ГПД относятся: высокоэффективный ГПД Caterpillar G3508B; высокооборотная оппозитная база компрессора 2M10A; компрессор 2ГМ10А-2,7/21-151; легкосборное укрытие, оснащенное необходимыми грузоподъемными устройствами и системой освещения: блок подготовки топливного и пускового газа, обеспечивающий защиту ГПД от механических примесей и подогрев топливного газа в холодный период времени; сокращенное время монтажа оборудования.

Основой агрегата является двухступенчатый компрессор 2ГМ10А-2,7/21-151 смонтированный на общей раме с ГПД Caterpillar G3508B.

Технические характеристики КУ 2ГМ10А-2,7/21–151

№ д/п	Параметр, единица измерения	Значение параметра
1.	Производительность (условия входа), нм ³ /мин	35÷55
2.	Давление начальное (абс.), МПа	1,6÷2,1
3.	Отношение давлений по ступеням: 1 ступени 2 ступени	3,13 ÷ 3,22 2,64 ÷ 2,93
4.	Частота вращения вала коленчатого, мин ⁻¹	16,6
5.	Температура газа на входе, К	268 ÷ 293
6.	Температура газа на выходе, К	318
7.	Потребляемая мощность, кВт	250 ÷ 292
8.	Мощность на муфте двигателя (ном.), кВт	368
9.	Номинальные условия эксплуатации двигателя:	
	- температура окружающей среды, К	238 ÷ 313
	- давление окружающей среды, МПа	0,101
10.	Мак. расход топливного газа, нм ³ /час	max 105
11.	Давление топливного газа, МПа	0,048 ÷ 0,276
12.	Давление пускового газа, МПа	0,65 ÷ 0,75
13.	Время пуска агрегата (без учета предпусковой подготовки), мин	2
14.	Безвозвратные потери масла, г/час	0,030
15.	Габаритные размеры (ДхВхШ), м	9,2 х 4,75 х 4,06
16.	Масса агрегата (сухая) в объеме поставки, кг	25000

На рис. 3 представлен общий вид ГПД и его основных систем, а его основные технические характеристики представлены в таблице 5.

Оппозитная база 2М10А [2], на основе которой создан компрессор 2ГМ10А-2,7/21-151, состоит из следующих деталей (рис. 4): картера и двух направляющих, смонтированных на картере. Разъемы между ними уплотняются

герметиком при затяжке крепежных шпилек гайками. Картер представляет собой отливку из серого чугуна прямоугольной формы коробчатого сечения. Внутри картера смонтирован коллектор 14 для подвода масла к коренным подшипникам. Подвод смазки к коренным подшипникам осуществляется сверху через сверления в крышках подшипников.



Рис. 3. Общий вид ГПД G3508B

Крейцкопфная часть и фонарная часть направляющей снабжены боковыми окнами для монтажа крейцкопфа и уплотнения штока. Крейцкопфная часть направляющей отделена от фонарной части съемной перегородкой, в которой установлены маслосъемные манжеты, которые служат для защиты цилиндрических групп от масла системы циркуляционной смазки.

Коленчатый вал компрессора двухпорный с двумя шатунными шейками и двумя коренными. Диаметр коренных и шатунных шеек $\varnothing 150$.

Шатунные шейки двух противоположных рядов расположены под углом 180° относительно друг друга. Для подвода смазки к шатунным подшипникам в теле коленвала имеются соответствующие сверленные каналы.

С валом ГПД коленвал соединяется посредством упруго-пластинчатой муфты. Шатуны – стальные кованые с разъемной кривошипной и неразъемной крейцкопфными головками. Вкладыш кривошипной головки разъемный тонкостенный. К корпусу крейцкопфа посред-

ством шпилек крепятся алюминиевые башмаки. Соединение корпуса крейцкопфа со штоком поршневой группы осуществляется вкручиванием резьбового конца штока в корпус крейцкопфа и фиксации его контргайкой.

Основные технические характеристики поршневого компрессора представлены в таблице 6.

В состав цилиндрических групп входят уплотнения штоков, всасывающие и нагнетательные клапаны, специальные разгрузочные устройства, а также собственно цилиндры с крышками задними, крышками и фонарями клапанов. Цилиндры компрессора кованые двойного действия. Уплотнение газовых полостей цилиндров достигается притиркой. Цилиндры при сборке на предприятии-изготовителе штифтуются совместно с направляющей, а направляющая – с картером. Каждый из цилиндров компрессора имеет всасывающие и нагнетательные дисковые клапана. В цилиндрах имеются по два сверления для индицирования (снятия натуральных индикаторных диаграмм, т.е. сравнения расчетных данных

Таблица 5

Технические характеристики газопоршневого двигателя G3508 В фирмы Caterpillar

Наименование показателей, единица измерения	Величина параметра
Тип двигателя	газопоршневой
Степень сжатия	8
Число цилиндров	8
Тип системы запуска	пневмостартер
Размещение цилиндров	V-образное
Диаметр цилиндров, мм	170
Ход поршней, мм	190
Рабочая емкость, д	34,6
Номинальная мощность (при 16,7 с ⁻¹)	367
Номинальная частота вращения, с ⁻¹	16,7
Максимальный расход топливного газа, м ³ /час	105
Рабочее давление, МПа (изб.)	0,05 ÷ 0,27
Удельные потери масла при номинальной мощности, г/кВт·час	0,43
Система смазки	циркуляционная
Объем масла в картере двигателя, м ³	0,25
Максимальная температура выхлопных газов, К	254
Габаритные размеры, (LxHxh), м	2,522 x 2,014 x 2,131
Масса, кг	3941
Средний ресурс до капитального ремонта, час	60000

с фактическими), выходящих в крайние мертвые положения поршней. Сверления заглушены пробками.

В состав поршневых групп компрессора входят (рис. 5): поршни, штока, поршневые кольца с экспандерами и опорно-направляющие кольца, детали крепления и стопорения поршня на штоке. Фиксация поршня относительно штока производится по шпонке.

Для направления и центровки поршней в цилиндре служат опорно-направ-

ляющие кольца. Для увеличения срока службы на наружной поверхности направляющих колец выполнены разгрузочные канавки. Опорно-направляющие и поршневые кольца выполняются из неметаллических материалов.

Уплотнения штоков компрессора камерные с плоскими неметаллическими уплотнительными элементами: замыкающими и уплотняющими кольцами в комплекте с защитными. В каждой камере уплотнения штока первыми со сторо-

ны цилиндра стоят замыкающие кольца, вторыми – уплотняющие и потом защитные. Защитные кольца предназначены для предотвращения экструзии материала уплотняющего кольца в зазор между штоком и камерой.

Для снижения давления пульсаций газа в уплотняющие элементы первым по ходу газа в уплотнении штока устанавливается дроссельное кольцо. Для сбора возможных утечек газа в конструкции

уплотнения штока предусмотрено сверление, через которое утечки газа отводятся в трубопровод отвода газа на свечу (рис. 6).

Клапаны цилиндров самодействующие дисковые, рабочими элементами которых являются дисковые пластины и пружины. Клапаны состоят из седла, клапанной пластины, ограничителя и пружин (рис. 7).

Для обеспечения эффективной работы КУ в конструкции предусмотрены

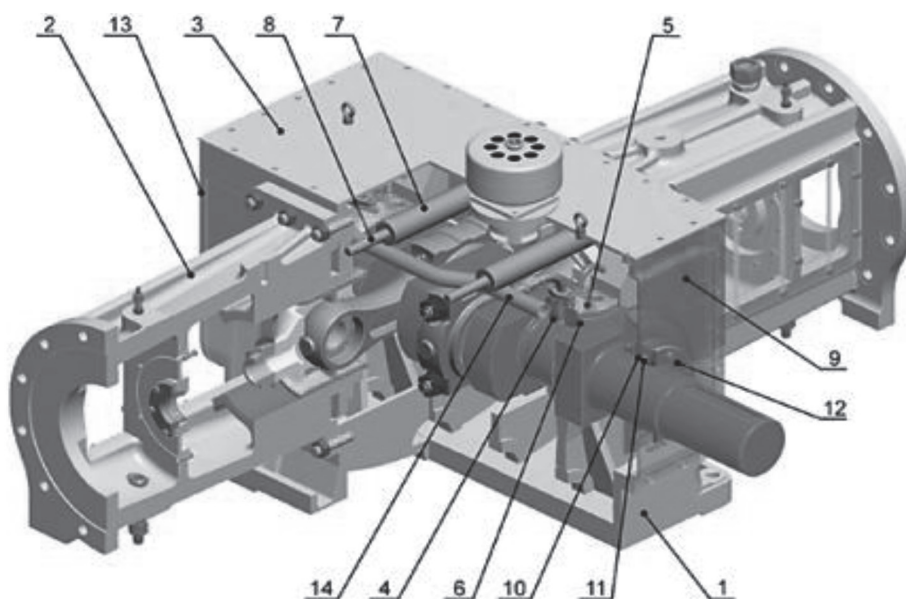


Рис. 4. Оппозитная база 2М10А быстроходного компрессора 2ГМ10А-2,7/21-151: 1 – картер; 2 – направляющая; 3 – крышка картера верхняя; 3 – вкладыш; 4 – крышка подшипника; 6 – полукольцо; 7 – распорка; 8 – стяжка; 9 – крышка маслоснимателя; 10 – манжета; 11 – кольцо; 12 – фланец; 13 – крышка картера передняя; 14 – коллектор смазки коренных подшипников.

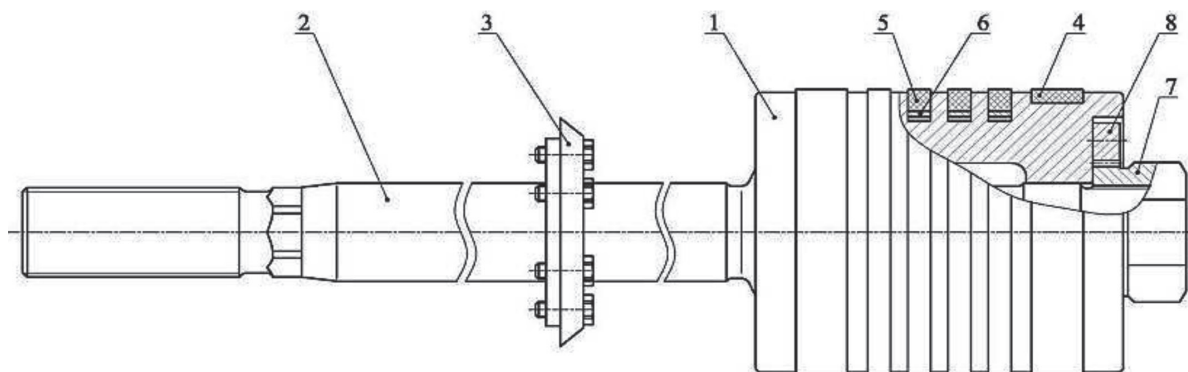


Рис. 5. Поршневая группа: 1 – поршень; 2 – шток; 3 – кольцо маслоотбойное; 4 – кольцо направляющее; 5 – кольцо поршневое; 6 – экспандер; 7 – гайка поршня; 8 – стопор.

Технические характеристики компрессора

Наименование показателей, единица измерения	Величина параметра
Тип компрессора	горизонтальный двухрядный, двухступенчатый
Число цилиндров	2
Размещение цилиндров	оппозитное
Диаметр цилиндров, мм	
1 ступени	140
2 ступени	100
Ход поршней, мм	100
Номинальная частота вращения, с ⁻¹	16,7
Мощность на валу, кВт	max 292
Номинальная частота вращения, с ⁻¹	16,7
Диапазон регулирования производительности, %	50÷100
Габаритные размеры, (lxbxh), м	1,6 x 4,775 x 0,9
Масса, кг	5832

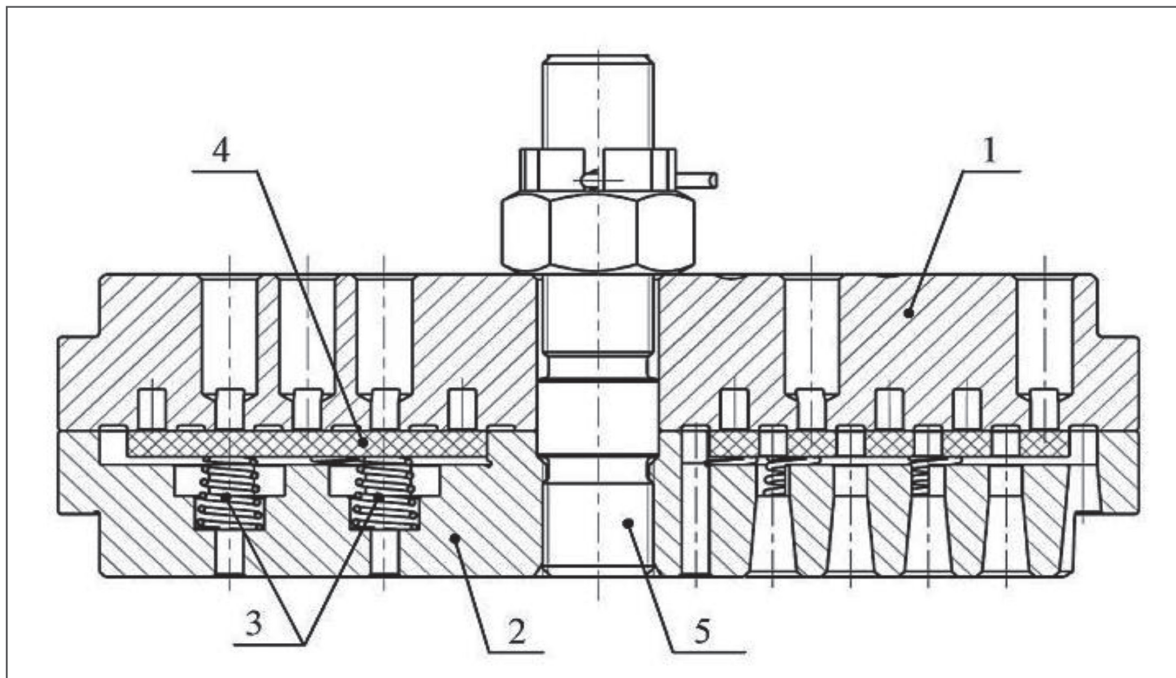


Рис. 6. Уплотнение штока: 1 – фланец; 2,3,4 – камера; 5 – прокладка; 6 – пружина браслетная; 7 – кольцо уплотняющее; 8 – кольцо замыкающее; 9 – кольцо защитное; 10 – кольцо дроссельное; 11 – пружина.

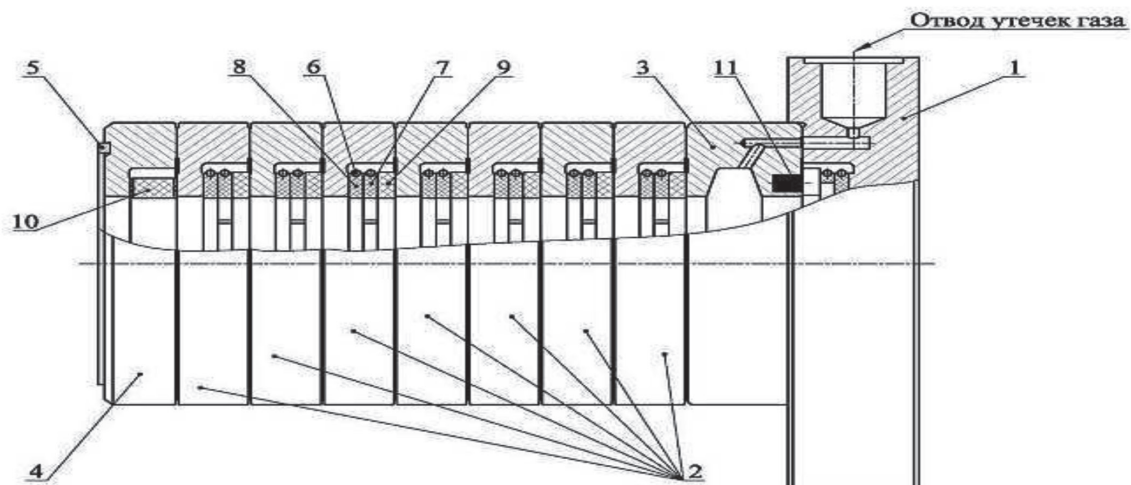


Рис. 7. Самодействующий дисковый клапан: 1 – седло; 2 – ограничитель; 3 – точечная пружина; 4 – дисковая пластина; 5 – шпилька.

системы: охлаждения технологического газа; охлаждения циркуляционной смазки механизма движения; смазки цилиндров и уплотнений штоков; охлаждения оборудования КУ.

В качестве основных материалов были использованы следующие стали: 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 20Х13, Ст40. Для смазки цилиндрово-поршневых групп и механизма движения компрессора применяется авиационное масло МС-20. Основные конструктивные решения и особенности технологии производства ПК в ПАО обеспечивают высокие эксплуатационные характеристики КУ. В частности, согласно техническим условиям на поставку КС, обеспечивается средний ресурс до капитального ремонта 60 тыс. часов.

5. Система автоматизированного управления и регулирования

Для контроля и управления технологическим процессом, выполнения функций противоаварийной автоматической защиты применяется современная система автоматизированного управления и регулирования (САУиР) работы компрессорной установки. Все применяемое прикладное и системное программное

обеспечение (ПО) соответствует международным стандартам. САУиР поддерживает все стандартные протоколы информационного обмена, имеет средства конфигурирования интерфейсов для связи с различными устройствами и подсистемами. Наличие единой интегрированной среды проектирования систем позволяет осуществить параметризацию и конфигурирование всей системы: от датчика до сервера и АРМ любого уровня. Технические и программные средства системы обеспечивают непрерывный режим функционирования САУиР с периодическими осмотрами и регламентными работами в период остановок, ремонта или регламентных работ технологического оборудования. Время полного цикла работы подсистемы логического управления и защиты – 40мс. Среднее время наработки комплекса на отказ по разным видам выполняемых функций составляет 200000 часов. Установленный ресурс комплекса составляет не менее 20 лет.

Быстродействие комплекса по каналам преобразователя следующие:

- измерение температуры – не более 0.5 с.;
- измерение давления (перепад давления) – не более 0.1 с.;

- положение исполнительных механизмов – не более 0.1 с.;
- выдача управляющих воздействий по каналам управления и сигнализации – не более 0.1 с

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение массогабаритных параметров, а также применение современных

материалов для ПК позволяют существенно повысить надежность и долговечность наиболее ответственных узлов и деталей КУ. Новые разработанные установки в ПАО заменят тихоходные компрессоры старых модификаций в наиболее востребованных областях газовой промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гринь Н.П.** Разработка компрессора блочной конструкции 4ВМ10-55/71 для ВРУ среднего давления // Н.П. Гринь, Ю.Б. Наталуха, А.В.Смирнов // Технические газы. -2010.-№6 – С. 31-35.

2. **Смирнов А.В.** Выбор параметров быстроходных оппозитных баз поршневых компрессоров М10А и М25А // А.В. Смирнов, В.Н. Фесенко, М.А. Туренко, А.И. Онищенко // Компрессорная техника и пневматика. – 2011. – № 8. – С. 2-5.