

Создание винтовой маслозаполненной компрессорной установки производительностью до 150 м³/мин

Е.Р. Ибрагимов, Ю.А. Паранин, В.Н. Налимов (АО «НИИтурбокомпрессор им.В.Б.Шнеппа», Группа ГМС),
А.В. Бульший (ОАО «Казанькомпрессормаш», Группа ГМС)

Создана компрессорная установка на базе винтового маслозаполненного компрессора единичной производительности до 150 м³/мин. Отмечается, что попутный нефтяной газ характеризуется значительным содержанием тяжелых углеводородных фракций. Приводятся технические параметры установки, особенности технологической схемы и конструкции компрессора, основные результаты исследований, испытаний и перспективы применения установок.

Ключевые слова: винтовая маслозаполненная компрессорная установка, особенности технологической схемы и конструкции компрессора, основные результаты исследований, испытаний, преимущества и перспективы.

Creation of screw oil-flooded compressor unit with performance up to 150 m³/min

E.R. Ibragimov, Yu.A. Paranin, V.N. Nalimov (JSC «NIIturbokompressor named after V.B. Shnepp», HMS Group),
A.V. Bulshiy (PJSC «Kazankompressormash», HMS Group)

A compressor unit based on a screw oil-flooded compressor of a single capacity up to 150 m³/min has been created. It is noted that associated petroleum gas is characterized by a significant content of heavy hydrocarbon fractions. Technical parameters of the installation, the features of technological scheme and compressor design, main results of the studies, tests and the prospects for the application of the units have been presented.

Keywords: screw oil-flooded compressor unit, features of technological scheme and design of the compressor, main results of research, tests, advantages and prospects.

С 2012 года действует постановление правительства РФ, устанавливающее требование к нефтегазовым компаниям об утилизации 95% добываемого попутного нефтяного газа (ПНГ), ограничивающее объем его сжигания в факелах на месторождениях и повышающее платежи за сверхлимитное сжигание газа.

В настоящее время определены три приоритетных направления в технологии подготовки газа: подготовка газа на труднодоступных месторождениях; подготовка к использованию ПНГ; комплексная подготовка топливного газа для газотурбинных установок. По этим направлениям, наряду с другими установками, широко используются винтовые маслозаполненные компрессорные установки в блочно-контейнерном исполнении «ТАКАТ» производства ОАО «Казанькомпрессормаш» по проектам АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б.Шнеппа». Такие установки поставляются в максимальной заводской готовности, что сокращает сроки ввода объектов в эксплуатацию, устанавливаются на открытой площадке и не требуют наличия массивных фундаментов.

Одна из основных задач потребителей компрессорного оборудования заключается не только в сокращении капитальных затрат на приобретение, но и в сокращении эксплуатационных затрат на протяжении всего жизненного цикла оборудования за счет унификации, сокращения номенклатуры, количества оборудования и использования оборудования отече-

ственного производства. В связи с этим, в последнее время обозначилась устойчивая тенденция к увеличению единичной производительности компрессорной техники, в том числе, винтовых компрессорных установок. Рынок винтовых компрессоров многообразен как за рубежом, так и на территории нашей страны. Однако, не многими фирмами освоен выпуск газовых машин производительностью более 100 м³/мин.

Следуя тенденции к увеличению единичной производительности и импортозамещения АО «НИИтурбокомпрессор» в 2016 г. разработал новую базовую модель винтового компрессора производительностью до 150 м³/мин. Данный компрессор разработан в рамках договора ОАО «Казанькомпрессормаш» на поставку компрессорных установок для проекта Обустройства Новопортовского месторождения ООО «Газпромнефть-Ямал». В начале проекта для реализации требуемых Заказчиком параметров (производительность по станции 13437,7 м³/час (при t=0°C, p=0,1013 МПа) и конечное давление до 0,8 МПа (абс.)) Генеральным проектантом предполагалось использование пяти установок (четыре рабочих и одна резервная). В результате реализации проекта, требуемые Заказчиком параметры, были обеспечены тремя винтовыми компрессорными установками ТАКАТ 132.08М4а ХЛ1 (два рабочих и одна резервная). Основные технические параметры каждой компрессорной установки указаны в таблице 1.

Наименование параметра	Размерность	Значение
Производительность по условиям всасывания: p=1,033 кгс/см ² (абс.), t=+45°C	м ³ /мин	132
	м ³ /час	7920
Давление нагнетания (абс.)	кгс/см ²	5,1 - 8,16
Температура газа на нагнетании (после компрессора), не более	°С	+100
Температура газа на нагнетании (после газоохладителя)	°С	+45 - +60
Максимальная мощность, потребляемая компрессором, не более	кВт	943,3
Содержание масла в сжатом газе, на выходе КУ, не более	ppm	5
Климатическое исполнение по ГОСТ 15150	-	ХЛ1 (Крайний Север)
Регулирование производительности: - золотниковым регулятором; - байпасированием	%	от 100 до 15
	%	от 15 до 0

Для достижения заданной объемной производительности и высоких энергетических показателей компрессора были проведены расчетно-теоретические исследования. Исследования проводились в два этапа:

1. Предварительная расчетно-теоретическая проработка различных вариантов исполнения компрессора на освоенных базах.

2. Определение оптимальных геометрических параметров роторов новой базы (d₁—наружный диаметр профильной части ведущего ротора, L/d₁—относительная длина профильной части роторов) и оптимальной окружной скорости (u₁=3,14d₁n₁/60, где n₁—число оборотов ведущего ротора).

При этом параметры роторов d₁, L/d₁ и n₁ должны были обеспечить большую, ранее не применяемую в отечественных винтовых компрессорах, производительность. Кроме того, параметры d₁ и n₁, определяющие окружную скорость ротора, играют важную роль в обеспечении высоких энергетических показателей компрессора. Для маслозаполненного винтового компрессора диапазон оптимальных величин окружной скорости находится в пределах от 30 до 50 м/с [1].

Известно, что снижение величин окружной скорости от диапазона оптимальных величин приводит к увеличению потерь на перетечки газо-масляной смеси в рабочих полостях компрессора, а увеличение окружной скорости от оптимальных величин приводит к увеличению гидравлических потерь в окне нагнетания, в обоих случаях это приводит к снижению к.п.д. [1]. При этом оба этих фактора, во многом, определяются свойствами масла, поступающего в рабочие полости компрессора.

Ограничением являлось также возможность использования электродвигателей только стандартных чисел оборотов: 3000 или 1500 об/мин.

На первом этапе исследований было определено. Модернизация освоенной базы маслозаполненного винтового компрессора 8ГВ с диаметрами роторов d₁=0,4 м, L/d₁=1,35 и n₁=3000 об/мин за счет изменения длины ротора возможна и потребует увеличения L/d₁ до 2,0. При этом, число оборотов ведущего ротора сохраняется равным 3000 об/мин. Однако, реализация модернизированного компрессора не предоставляет перспектив в части дальнейшего увеличения производительности на этой базе, а также то, что компрессор 8ГВ работает на повышенной величине окружной скорости от диапазона оптимальных величин и ожидать повышения к.п.д. не следует.

Был проведен анализ возможности использования 9 базы типоразмерного ряда с диаметрами роторов d₁=0,5 м. Применение 9 базы с электродвигателем с числом оборотов 3000 об/мин – невозможно из-за высокой окружной скорости (78,5 м/с), что значительно выше оптимальной. Применение электродвигателя с числом оборотов 1500 об/мин на 9 базе не обеспечивало требуемую производительность компрессора. Использование в схеме мультипликатора не рассматривалось, т. к. это создавало определенные трудности при реализации такого компрессора в составе компрессорного агрегата. Поэтому было принято окончательное решение отказаться от применения баз типоразмерного ряда и разработать новую базу, промежуточную между 9 и 10 базами типоразмерного ряда, обозначив ее 9+.

На втором этапе были определены оптимальные геометрические параметры роторов новой базы компрессора: диаметры роторов d₁=0,57м, отношение L/d₁=1,35 и число оборотов ведущего ротора n₁=1500 об/мин. Диаметр роторов d₁=0,57м и число оборотов n₁=1500 об/мин обеспечили работу компрессора на окружной скорости, равной 45 м/с, что позволило



прогнозировать высокий к.п.д. компрессора. Кроме того, был проведен анализ влияния вязкости масла на потери в окне нагнетания и определены требования к маслу, поступающему в рабочие полости компрессора. Снижение окружной скорости, внедрение новой технологии нарезки роторов для обеспечения точности и стабильности зазоров, а также применение в конструкции компрессора результатов исследований по оптимизации параметров окна нагнетания создадо предпосылки к получению низких вибрационных характеристик (таблица 2).

На рис. 2 представлены зависимости изотермного к.п.д. (с учетом механических потерь) от давления нагнетания, полученные в результате расчетно-теоретических исследований, для существующего компрессора 8ГВ и нового компрессора 9+, точками указаны результаты заводских испытаний компрессоров. Приведенные результаты подтверждают основные выводы об эффективности компрессора новой базы.

Данные установки предназначены для компримирования ПНГ, поступающего с концевой ступени сепарации нефти центрального пункта сбора нефти «Новопортовского месторождения». Поступающий газ характеризуется значительным содержанием тяжелых углеводородных фракций (пропан 27%, бутан 25%, пентан 8,5%, гексан и выше - более 3%) и нали-

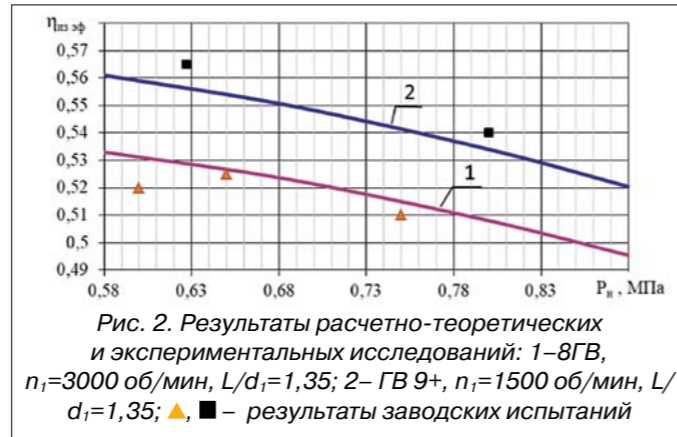


Рис. 2. Результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований: 1-8ГВ, $n_1=3000$ об/мин, $L/d_1=1,35$; 2- ГВ 9+, $n_1=1500$ об/мин, $L/d_1=1,35$; ▲, ■ - результаты заводских испытаний

чием капельной жидкости до 100 мг/м^3 .

Для тяжелых условий работы установок в районах Крайнего Севера, при компримировании жирных (тяжелых) и агрессивных газов в компрессорных установках производства ОАО «Казанькомпрессормаш» применяется схема работы винтового маслозаполненного компрессора с отдельной системой смазки, являющаяся уникальной разработкой АО «НИИ-турбокомпрессор им.В.Б. Шнеппа». Принципиальная газо-гидравлическая схема установки с отдельной системой смазки представлена на рис. 1.

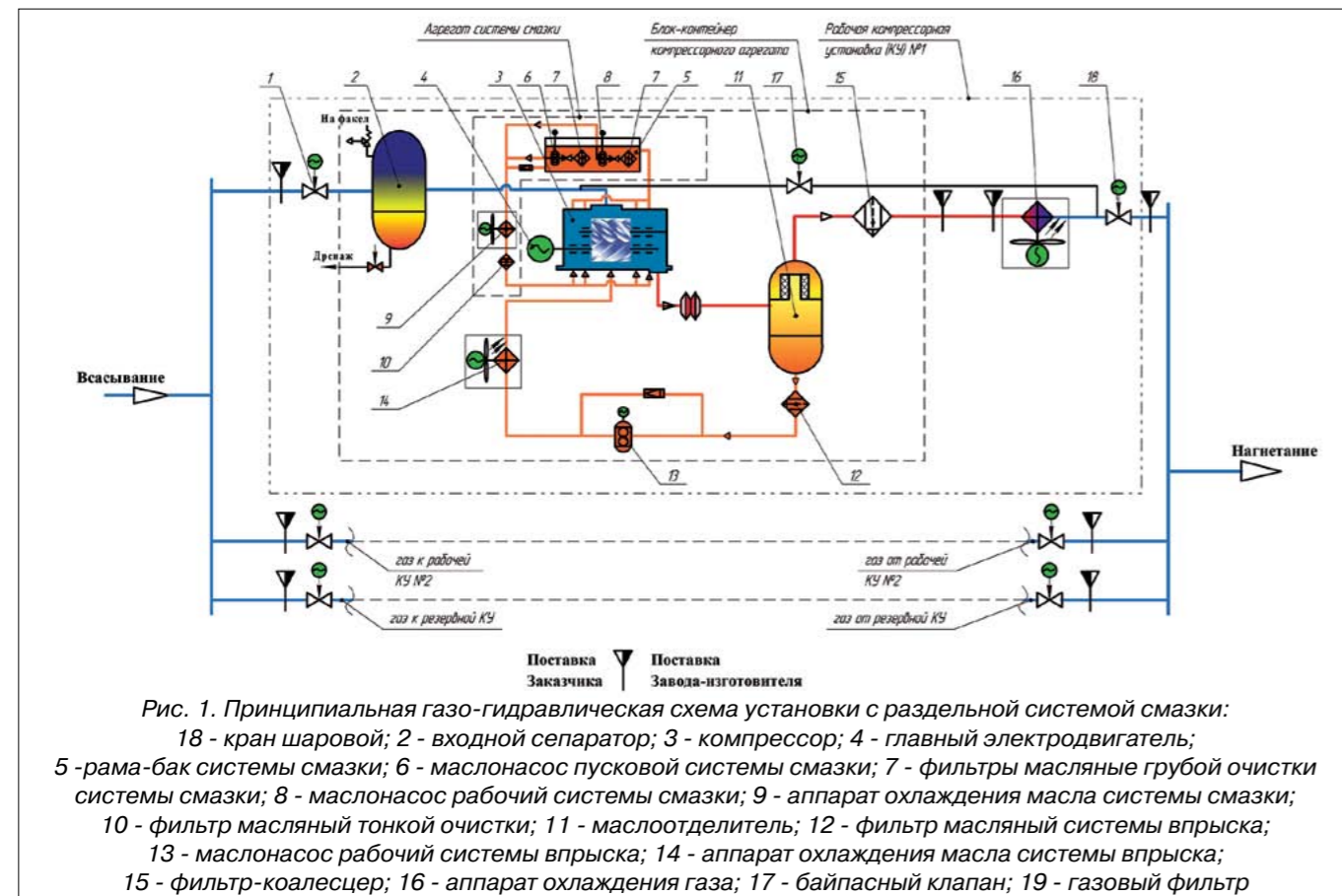


Рис. 1. Принципиальная газо-гидравлическая схема установки с отдельной системой смазки:
18 - кран шаровой; 2 - входной сепаратор; 3 - компрессор; 4 - главный электродвигатель;
5 - рама-бак системы смазки; 6 - маслонасос пусковой системы смазки; 7 - фильтры масляные грубой очистки системы смазки; 8 - маслонасос рабочей системы смазки; 9 - аппарат охлаждения масла системы смазки;
10 - фильтр масляный тонкой очистки; 11 - маслоотделитель; 12 - фильтр масляный системы впрыска;
13 - маслонасос рабочей системы впрыска; 14 - аппарат охлаждения масла системы впрыска;
15 - фильтр-коалесцер; 16 - аппарат охлаждения газа; 17 - байпасный клапан; 19 - газовый фильтр

Раздельная система смазки включает первый контур для впрыска масла в рабочую полость компрессора и второй контур для подвода масла к подшипникам и уплотнениям. В контуре подвода масла к подшипникам и уплотнениям полностью отсутствует контакт масла со сжимаемым газом, что обеспечивает увеличение показателей надежности элементов компрессора.

При разработке компрессора и установки были приняты следующие передовые технические решения:

1. Применение синтетического масла, с необходимыми теплофизическими свойствами в системе впрыска, позволило снизить расход масла на впрыск и тем самым обеспечить минимальные массогабаритные параметры элементов системы (маслоотделитель, аппарат воздушного охлаждения масла, масляные насосы, масляные фильтры, запорно-регулирующая арматура).

2. Применение раздельной системы смазки позволило повысить долговечность подшипников компрессора, при этом требования к качеству масла в системе впрыска масла могут быть значительно снижены, что позволяет значительно увеличить надежность компрессорной установки, использовать недорогие отечественные масла и снизить эксплуатационные затраты.

3. Конструкция компрессора (рис.3, 4) выполнена с учетом опыта эксплуатации компрессоров высокой производительности. Корпус состоит из камеры всасывания, блока цилиндров в сборе (верхняя и нижняя половины) и камеры нагнетания. Корпус имеет два вертикальных и один горизонтальный разъем по блоку цилиндров. Крепежные лапы компрессора размещены на камере всасывания и камере нагнетания,



Рис. 3. Заводские испытания компрессора

блок цилиндров имеет только технологические лапы. Применение конструкции корпуса обеспечивает технологичность конструкции и удобство изготовления, жесткую связь опор роторов с основанием (лучшее динамическое состояние корпуса), удобство обслуживания и легкий доступ к элементам компрессора во время проведения регламентных работ.

4. Нагнетательный патрубок компрессора расположен горизонтально в камере нагнетания с целью оптимизации конструкции золотникового устройства, уменьшения потерь, пульсаций газа и улучшения вибрационных характеристик.

5. В подшипниковом узле компрессора применены подшипники качения с компенсирующими устройствами, которые исключают перекос подшипников и, как следствие, образования фреттинг-коррозии в местах соединения подшипников с шейками роторов.

6. Для регулирования производительности компрессора применена обновленная конструкция золотникового устройства с гидроприводом, обеспечивающая надежное движение золотника по на-

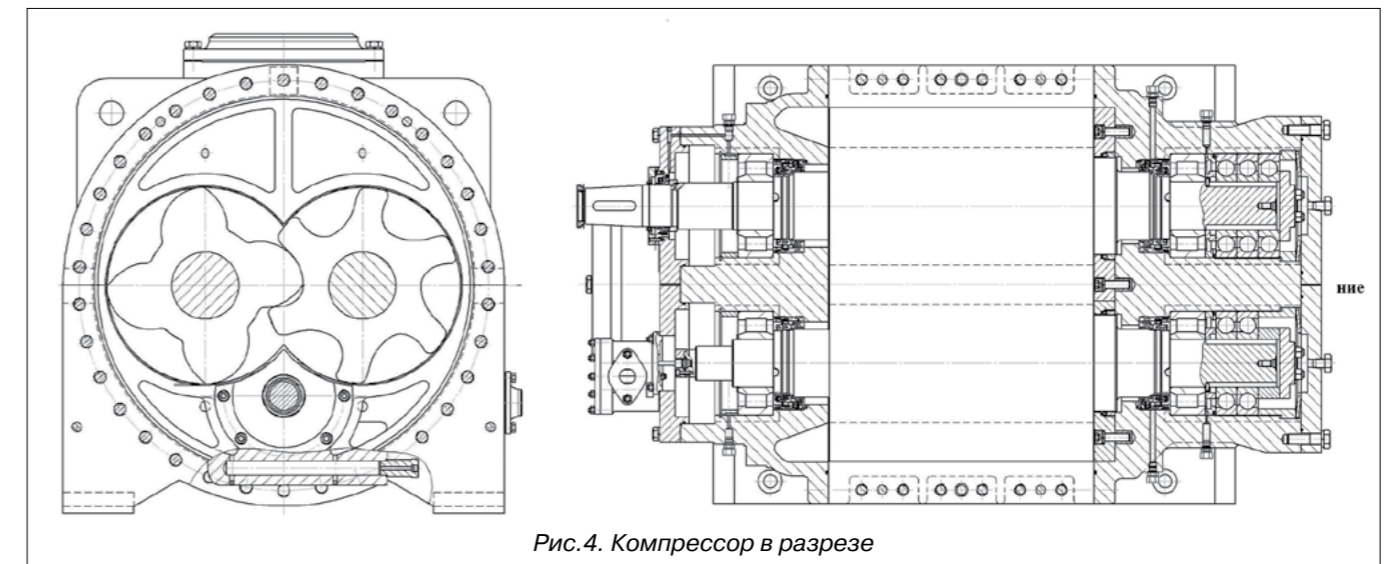


Рис.4. Компрессор в разрезе



правляющей при любом положении. Применение золотниковой устройства обеспечивает энергоэффективный диапазон регулирования производительности (пропорционально потребляемой мощности) от 15 до 100% и улучшенные вибрационные характеристики.

7. В процессе освоения промышленного производства была применена новая технология нарезки роторов. Нарезка осуществлялась на универсальном оборудовании, не требовала разработки и изготовления специального режущего инструмента (рис.5).

В январе-феврале 2017 г. три компрессорные установки ТАКАТ132.08М4аХЛ1 успешно прошли приемо-сдаточные испытания в ОАО «Казанькомпрессормаш» и отгружены Заказчику. Основные результаты приемо-сдаточных испытаний компрессорных установок приведены в табл. 2.



Рис. 5. Универсальное оборудование для нарезки роторов

Основные результаты приемо-сдаточных испытаний компрессорных установок

Таблица 2

Наименование параметра	Расчетное/нормативное значение	Фактическое значение
Давление всасывания, кгс/см ² (абс.)	1,02	1,017
Давление нагнетания, кгс/см ² (абс.)	8,16	8,2
Температура нагнетания, °С	100	98
Производительность по условиям всасывания, м ³ /мин	132	132,51
Потребляемая мощность, кВт	860	857
Виброскорость компрессора, мм/с (вертикальная)	4,5	1,87...3,35
Виброскорость компрессора, мм/с (горизонтальная)	4,5	1,93...3,18

Компрессорная установка ТАКАТ 132.08 М4а открывает большие перспективы не только для АО «НИИтурбокомпрессор им.В.Б. Шнеппа» и ОАО «Казанькомпрессормаш», но и для отечественного компрессоростроения в целом. Применение винтовых компрессоров высокой производительности обеспечивает потребителю ряд преимуществ:

1) с уменьшением количества оборудования упрощается обвязка станции и снижаются капитальные затраты на строительство;

2) снижаются затраты на эксплуатацию за счет уменьшения обслуживаемых единиц, количества запасных частей, обслуживающего персонала;

3) снижаются требования к чистоте газа на входе в компрессор при применении, взамен центробежного.

В результате проделанной работы была освоена новая область применения винтовых маслозаполненных компрессоров, производительностью до 150 м³/мин. Разработанный компрессор имеет усовершенствованную конструкцию и производительность, соизмеримую с областью применения центробежных компрессоров. На сегодняшний день установка ТАКАТ 132.08 М4а ХЛ1 не имеет аналогов среди отечественных производителей винтовых компрессоров.

Список литературы

1. Амосов П.Е., Бобриков Н.И., Шварц А.И., Верный А.Л. Винтовые компрессорные машины. Справочник. Л., «Машиностроение», 1977.–256 с.

