№5 / 2021

WWW.COMPRESSORTECH.RU

КОМПРЕССОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

РАЗРАБОТКА КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ СУХОГО СЖАТИЯ ГАЗА В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СЕРИЙНОЙ МКУ ТАКАТ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОМПРИМИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ДОБЫЧИ ПАО «ГАЗПРОМ»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОЙ РАБОТЫ ПОДШИПНИКОВ КОМПРЕССОРОВ И ОПЫТ КОРПОРАЦИИ NTN

ОПЫТ СОЗДАНИЯ СЕРИЙНОЙ МКУ ТАКАТ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОМПРИМИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ДОБЫЧИ ПАО «ГАЗПРОМ»

Ш.Ш. Биктимеров[1], А.Ф. Сарманаева[1], Ф.Ф. Калимуллин[1], Л.Б.Минязев[1], Е.Р. Ибрагимов[1], А.С. Жуков[2]
[1]АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» (Группа ГМС), г. Казань
[2]Бизнес-единица «ГМС Компрессоры» (Группа ГМС)

В статье представлены достижения единого научно-технического компрессоростроительного комплекса АО «Казанькомпрессормаш» и АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» в структуре машиностроительного холдинга АО «Группа ГМС», в области проектирования, производства и пэкиджа, а также в области систем автоматизации и регулирования компрессорной техники для объектов добычи природного газа.

АО «Казанькомпрессормаш» является ведущим производителем компрессорного оборудования, в основу изделий которого закладываются современные и высокоэффективные технические решения АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», позволяющие Группе ГМС совместно с другими бизнес-единицами холдинга держать на рынке позицию основного поставщика импортозамещающей продукции.

Предприятие имеет полувековой опыт производства широкой номенклатуры центробежных и винтовых компрессорных установок, в том числе установок типа «ТАКАТ» в блочно-модульном исполнении. Учитывая современные требования потребителей, при проектировании закладываются технические решения обеспечивающие комплексный подход, для большего расширения возможностей и повышения эффективности всех взаимосвязанных систем компрессорных установок (КУ).

Одним из последних примеров такого комплексного подхода был реализованный АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» и АО «Казанькомпрессормаш» проект по созданию первой отечественной винтовой модульной компрессорной установки МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1 [1, 2] для применения в технологии распределенного компримирования. Общий вид установки приведен на рис. 1.

Рисунок 1. Общий вид модульной компрессорной установки МКУ-611 (ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1) на объекте эксплуатации

Эта установка, предназначенная для повышения давления газа, поступающего с устьев малодебитных скважин куста газовых скважин (КГС) №611 газового промысла ГП№6 Ямбургского НГКМ ООО «Газпром добыча Ямбург», имеет: оптимальную компоновку для уменьшения площади застройки на месторождении; модульное исполнение и полную заводскую готовность блоков для осуществления ввода в эксплуатацию в минимально короткие сроки; систему автоматизации обеспечивающую работу установки в автономном режиме по принципу «безлюдных технологий».

В соответствии со стратегией ПАО «Газпром» по импортозамещению в МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1 применены материалы и комплектующие только российского производства.

В ноябре 2019 г. МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1 прошла ресурсные испытания в течении 5000 часов и межведомственную приемку. По итогам пусконаладочных работ и ресурсных испытаний головного образца МКУ был выполнен полный анализ проекта, проведен научно-технический совет (НТС) с участием профильных департаментов ПАО «Газпром», эксплуатирующей организацией ООО «Газпром добыча Ямбург» и основных поставщиков применяемого в установке оборудования. По результатам обсуждения на НТС сформированы технические решения, которые легли в основу технических условий ТУ 3643-051-00218288-2019 на серийные компрессорные установки МКУ ТАКАТ производства АО «Казанькомпрессормаш».

В соответствии с техническими условиями серийная МКУ ТАКАТ должна обеспечивать работоспособность в широком диапазоне рабочих параметров КГС Ямбургского НГКМ: входное давление от 0,12 до 0,61 МПа (абс.); выходное давление от 0,45 до 0,7 МПа (абс.); производительность от 40 000 до 565 000 н.м3/сут, а также обладать высокой энергоэффективностью (значения КПД на уровне лучших мировых аналогов).

Оценочный анализ параметров газосборных кустов

ООО «Газпром добыча Ямбург» показал, что требуемые для компримирования расходы газа можно систематизировать и, за счет их оптимизации по техническим характеристикам, минимизировать типоразмеры применяемых компрессорных установок.

В рамках поставки первой очереди серийных установок спроектированы и переданы в производство АО «Казанькомпрессормаш» два типоразмера МКУ: МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1 и МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1. Сравнительный анализ характеристик МКУ приведен в табл. 1 и 2.

Серийные МКУ имеют следующие преимущества:

1. Широкий диапазон работы по производительности, давлениям всасывания и нагнетания;
2. Повышенный КПД (на 5-7% выше чем на МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1);
3. Применение комплектующих отечественного производства;
4. Унифицированные решения и взаимозаменяемость;
5. Удобство монтажа, отсутствие межблочных связей, максимальная заводская готовность;
6. Малая площадь застройки (на 40% меньше чем на МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1).

Таблица 1. Технические характеристики модульных компрессорных установок типа МКУ ТАКАТ

Наименование характеристики	Марка компрессорной установки		
	МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1	МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1	МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1
Производительность: - по условиям всасывания, м³/мин - по нормальным условиям (0,1013 МПа, 0°С), нм³/час - рабочий диапазон при (0,1013 МПа, 0°С), нм³/час	 78,53 12788 3512...15178	 52,57 4584 2100...11243	 118,02 12987 2100...23533
Давление начальное: - номинальное, кгс/см², абс. - рабочий диапазон, кгс/см², абс.	 1,8 1...3,1	 1,39 2...10,5	 1,75 2...10,2
Температура начальная, °С	от минус 10 до плюс 10	от минус 10 до плюс 10	от минус 10 до плюс 10
Давление конечное: - номинальное, кгс/см², абс. - рабочий диапазон, кгс/см², абс.	 5,5 5,5...7,0	 5,3 6,6...12,1	 5,3 6,4...13,8
Температура газа конечная, °С -летнее время года	≤ 10 от температуры окружающей среды	≤ 10 от температуры окружающей среды	≤ 10 от температуры окружающей среды
Мощность, потребляемая компрессором на номинальном режиме, кВт	597,1	313	711
Удельный расход электроэнергии, кВт/м³	7,6	5,95	6,0
Мощность электродвигателя, кВт	800	500	1000
Частота вращения электродвигателя, об/мин	3000	1500	3000
Система смазки	Общая	Общая/раздельная*	Общая/раздельная *
Регулирование производительности: -золотниковым регулятором -байпасированием	 100 до 20% 20% до 0	 100 до 20% 20% до 0	 100 до 20% 20% до 0
*) общая с возможностью перевода на раздельную систему посредством использования комплекта специальных частей, поставляемых с установкой			

Таблица 2. Состав МКУ и массогабаритные характеристики

Наименование характеристики	Марка компрессорной установки		
	МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1	МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1	МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1
Габариты составных частей (ДхШхВ), м: -блок компрессорный -блок сепарации -АВО газа - АВО масла -дренажная емкость	 12,5х3,0х3,5 12,5х3,0х3,5 4,025х2,33х4,0 2,015х1,94х4,0 4,56х2,32х5,35	 12,5х3,0х4,465 12,5х3,0х4,465* 5,36х1,985х2,46 2,51х2,36х2,44 6,854х2,5х0,4	 12,5х3,0х4,465 12,5х3,0х4,465* 6,0х2,285х2,94 3,35х2,36х2,44 6,854х2,5х0,4
Площадь застройки	21,0х15,5	15,0х8,5	15,0х8,5
Масса, т	100	100	105
*) собирается с блоком компрессорным в единое блочно-модульное здание			

Отмеченные преимущества гарантированы реализованными техническими и компоновочными решениями основных элементов установок. Принципиальная технологическая схема КУ и общий вид МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1 показаны на рис. 2 и 3.

Технологическая схема МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1 и МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1 выполнена на основе унифицированных решений. Поступающий со скважины природный газ проходит очистку от механических примесей, пластовой и капельной жидкости в сепараторе (СП101), которые в свою очередь отводятся в дренажную емкость (ЕД401), либо в шлейф на линии нагнетания МКУ. После этого очищенный газ через газовый фильтр (Ф101) поступает на сжатие в компрессор маслозаполненного типа (КМ101). Компримированная маслогазовая смесь проходит двукратную очистку от масла в маслоотделителе (МО101) и фильтре-коалесцере (ФК101). Охлаждение газа до требуемой температуры нагнетания выполняется на линии между МО101 и ФК101 в аппарате воздушного охлаждения (АТ101).

Использование одного входного сепаратора СП101 с технологией двухступенчатой очистки, по сравнению со схемой МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1 выполненной на основе двух сепараторов, уменьшает номенклатуру

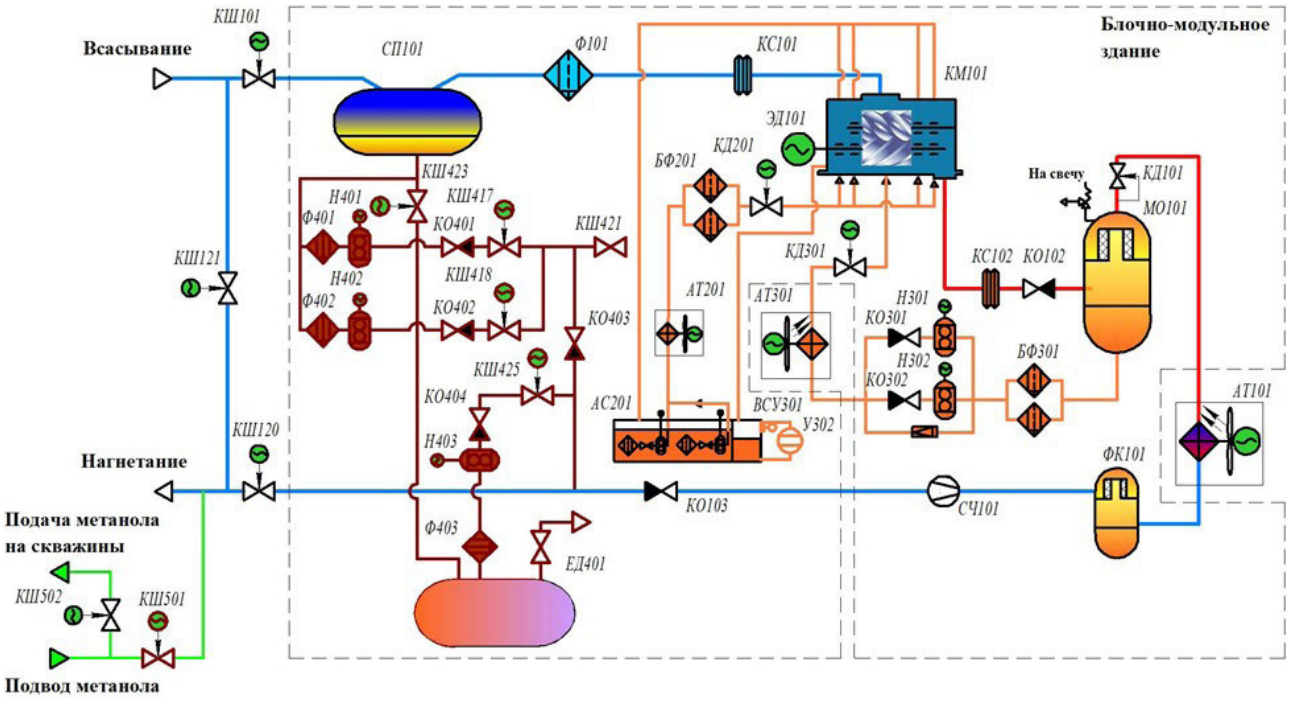

Рисунок 2. Принципиальная технологическая схема МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1 и МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1

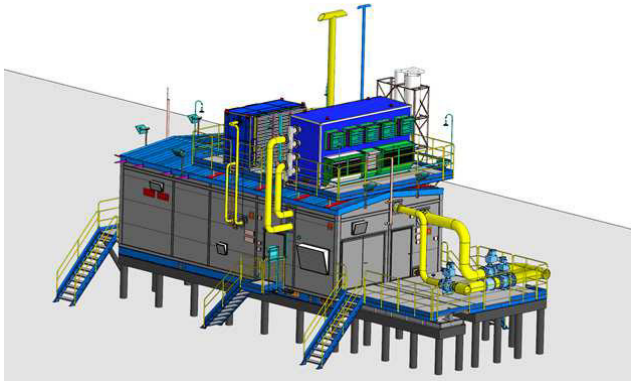

Рисунок 3. Общий вид МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а

оборудования и контрольно-измерительных приборов (КИП). Установка дополнительной емкости в агрегате смазки (АС201) для улавливания утечек с торцевого уплотнения КМ101 обеспечивает контроль фактического состояния рабочих элементов уплотнения в процессе эксплуатации. Регулирующий клапан (КД301) в зависимости от режима работы КМ101 оптимизирует количество масла на впрыск и нагрузку на теплообменное оборудование. Узел подачи метанола на выход МКУ через кран (КШ501) и другие скважины через кран (КШ502) обеспечивают безгидратную работу куста газовых скважин (КГС) и шлейфа.

В сдвоенном блочно-модульном здании, условно разделяемом на компрессорный и сепарационный блоки размещается основное и вспомогательное технологическое оборудование, отсеки высоковольтного оборудования, системы автоматизации и управления, дизельной электростанции. Отсутствие межблочных связей, в отличии от МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1, встроенная внутри контейнера блока сепарации дренажная емкость и размещение аппаратов воздушного охлаждения газа и масла на верхней площадке предопределяют минимальную площадь застройки на объекте.

Основной частью КУ является компрессорный агрегат (рис. 4), смонтированный на раме-маслобаке 6. Он состоит из винтового компрессора 1, электродвигателя 2, которые соединены пластинчатой муфтой 3 и систем обеспечения: маслонасосов 4, фильтра масла 5, трубопроводов обвязки 7, арматуры 8 и КИП.

Конструкция деталей и узлов агрегата компрессорного обеспечивает 90% взаимозаменяемости и унификации решений МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1 и

МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1, что позволяет сократить номенклатуру запасных частей и сформировать групповой ЗИП. Модификация компрессорных агрегатов МКУ 1000 в МКУ 500 производится заменой приводного двигателя 1000 кВт, 3000 об/мин на двигатель 500 кВт, 1500 об/мин., при этом двигатели обоих типоразмеров МКУ имеют одинаковые габаритно-присоединительные размеры.

В компрессорном агрегате применен винтовой компрессор маслозаполненного типа (рис. 5) разработки АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа». Для создания винтового компрессора, обеспечивающего параметры работы всех кустов газовых скважин в рамках проекта «Реконструкция ГСС с применением МКУ и объединением УКПГ Ямбургского НГКМ», согласно ТУ 3643-051-00218288-2019, специалистами АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» были проведены научно-исследовательские работы по разработке принципов построения нового эффективного ряда винтового маслозаполненного компрессора и исследованию рассогласования геометрических степеней сжатия в золотнике и в торце окна нагнетания, для повышения эффективности работы в широком диапазоне изменения давлений и расхода.

Компрессор отличается новым типоразмером роторов; эффективным запатентованным профилем ведущего и ведомого роторов поз. 1 и 2 [3, 4]; запатентованной конструкцией подшипниковых узлов 3 [5]; встроенным регулятором производительности с гидроприводом 4, позволяющим осуществить разгруженный пуск установки и плавный выход на расчетный режим, а так же в процессе работы в ши-

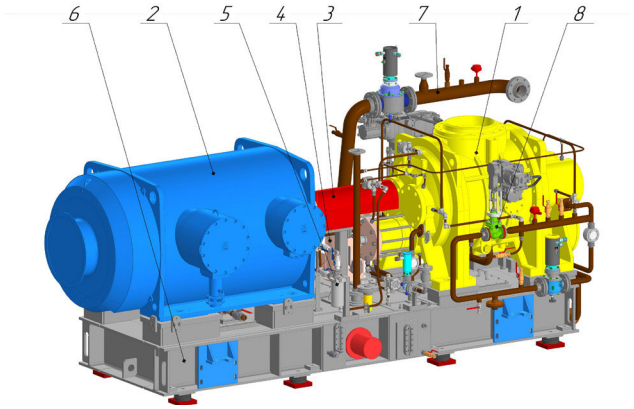

Рисунок 4. Общий вид агрегата компрессорного МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а:
1 - компрессор, 2 - электродвигатель, 3 - муфта дисковая с защитным кожухом, 4 - установка маслонасоса, 5 - фильтра масла, 6 - рама-маслобак, 7 – трубопроводная обвязка, 8 - арматура

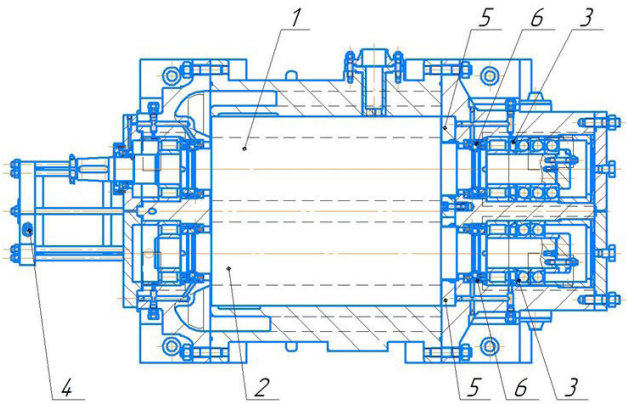

Рисунок 5. Компрессор винтовой:
1 – ведущий ротор, 2 – ведомый ротор, 3 – подшипниковый узел, 4 - гидропривод, 5 – вставки, 6 – уплотнение

Рисунок 6. Общий вид винтового компрессора для серийной МКУ

роком диапазоне регулировать производительность установки; наличием сменных вставок 5 для изменения внутренней степени сжатия, для обеспечения требуемых газодинамических параметров в течении всего срока службы (30 лет); возможностью установки торцевых уплотнений 6 для увеличения ресурса подшипниковых узлов и возможности применения отечественного минерального масла. Оптимизация геометрических параметров профильной части роторов и профильных зазоров позволили на 5-7% увеличить КПД компрессора, по сравнению с ранее выпускаемыми компрессорами, в том числе и примененном на МКУ ТАКАТ 78.2-7 М3а ХЛ1, что соответствует лучшим мировым аналогам. Общий вид винтового компрессора серийной МКУ приведен на рис. 6.

В феврале 2021 г. проведены заводские испытания головного образца винтового компрессора для серийных МКУ на всех режимах согласно ТУ, с участием профильных департаментов ПАО «Газпром» и эксплуатирующей организации ООО «Газпром добыча Ямбург». Испытания прошли успешно и подтвердили соответствие газодинамических, вибрационных характеристик и показателей эффективности компрессора требованиям Заказчика. Таким образом стендовые испытания подтвердили правильность принятых технических решений при создании новой базовой модели винтового компрессора.

В 2021 году АО «Казанькомпрессормаш» отгрузит ПАО «Газпром» первые серийные установки МКУ-500 и МКУ-1000.

Заложенные специалистами АО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» проектные технико-технологические и компоновочные решения и производственный потенциал АО «Казанькомпрессормаш» обеспечивают выполнение всех технических требований, предъявляемых Заказчиком к модульным компрессорным установкам МКУ-500 ТАКАТ 52.3-7 М4а ХЛ1 и МКУ-1000 ТАКАТ 120.2-7 М4а ХЛ1 и выполнение программы ПАО «Газпром» по импортозамещению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паранин Ю.А., Биктимеров Ш.Ш., Налимов В.Н., Сидоров А.И. Создание винтовой модульной компрессорной установки ТАКАТ для применения в системах компримирования на малодебитных скважинах ПАО «ГАЗПРОМ» // Труды XVII Международной научно-технической конференции по компрессорной технике.-Казань: Изд-во «Слово», 2017. – С. 93-100.

2. Паранин Ю.А., Биктимеров Ш.Ш., Налимов В.Н., Минязев Л.Б., Сидоров А.И., Ефимов А.Н. Создание винтовой модульной компрессорной установки ТАКАТ для систем компримирования на малодебитных скважинах ПАО «Газпром» // Газотурбинные технологии, №1, 2018. – С. 10-14.

3. Верный А.Л., Налимов В.Н., Шварц А.И. Зубчатое зацепление винтовой машины / Патент на изобретение РФ №1401158, 11.08.1993.

4. Анишина Р.Т., Верный А.Л., Налимов В.Н., Шварц А.И. Зацепление винтовой машины с асимметричным профилем зубьев ведущего и ведомого роторов/ Патент на изобретение РФ №1733696, 14.05.1993.

5. Паранин Ю.А., Биктимеров Ш. Ш., Калимуллин Ф. Ф., Сарманаева А.Ф. Подшипниковый узел ротора винтового компрессора / Патент на изобретение РФ №2702818, МПК F04C 18/16 , F04C 29/00, F01C 21/02 , 11.10.2019.