

УДК 66.074.1

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ СЕПАРАЦИОННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ОТ ДИСПЕРСНОЙ СРЕДЫ

Фарахов Т.М.

*Инженерно-внедренческий центр «Инжсхим», г. Казань*

Исхаков А.Р.

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань  
e-mail: aliskhakov@gmail.com*

Минигулов Р.М.

*ООО «НОВАТЭК», г. Москва*

**Аннотация.** *Представлен обзор конструкций высокоэффективных газосепараторов для очистки природного газа от капельной влаги на установках комплексной подготовки газа. Даны характеристики аппаратов, результаты экспериментальных исследований и расчетов.*

**Ключевые слова:** *насадочный, комбинированный, газосепаратор, фильтры, низкотемпературный сверхзвуковой сепаратор, эффективность очистки*

### Введение

Газоконденсатные залежи северных месторождений являются потенциально важным поставщиком товарного нестабильного углеводородного конденсата (НК). Например, предстоящий ввод в эксплуатацию нижнемеловых отложений Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения обеспечит поставку НК более 3 млн т/год.

Актуальной задачей освоения перспективных нефтегазоконденсатных месторождений является проектирование и строительство установок комплексной подготовки газа и конденсата (далее – УКПГ), оборудование которых обеспечит углубленное извлечение из газа компонентов  $C_{5+}$ , пропан-бутанов и этана (на уровне температуры точки росы по углеводородам ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). На УКПГ важное значение имеет очистка газа от дисперсной фазы. В статье рассмотрены некоторые научно-технические разработки для повышения эффективности процессов газоочистки.

### Насадочный сепаратор

Сепараторы этого класса относительно просты по конструкции и поэтому находят широкое применение в процессах газоочистки, когда в обрабатываемых газах нет твердой фазы [1 - 3]. Для запыленного газа используется мокрая очистка (с орошением слоя насадки).

В процессе работы насадочных сепараторов капли жидкости из газового потока под действием различных механизмов (в основном инерционный и турбулентный) оседают в криволинейных каналах на поверхности насадки. Образовавшаяся пленка жидкости стекает в нижнюю часть насадки и затем выводится из сепаратора. При высоких скоростях газа пленка жидкости может увлекаться газовым потоком и образуется срыв и унос капель жидкости.

Для очистки природного газа от капельной влаги разработана конструкция насадочного сепаратора [4]. Сепаратор (рис. 1), содержащий корпус с патрубками входа 2 неочищенного газа и выхода 3 очищенного газа, сепарационное устройство 4 и 5, тарелку 6 с трубой 7 слива жидкости и сборник жидкости 10, отличающийся от известных аппаратов тем, что сепарационное устройство состоит из двух частей (секций), нижней и верхней. Секции выполнены в виде двух пакетов регулярной насадки, установленных с образованием между ними свободного пространства, в котором размещен распределитель орошения 13, а сборник жидкости снабжен вертикальной перегородкой 8.

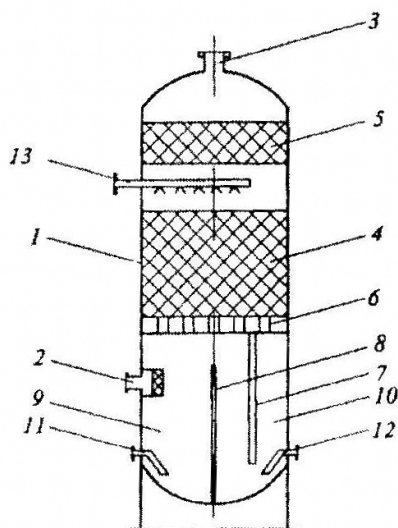


Рис.1. Насадочный газосепаратор

Сепаратор работает следующим образом. Через штуцер 2 подается газ с дисперсной фазой. На выходе из штуцера имеются контактные устройства (отбойники), которые улавливают крупнодисперсную фазу (механические включения и капли). Отсепарированная фаза попадает в нижнюю часть аппарата 9, где выводится через патрубок 11. Далее после предварительной очистки газ после штуцера 2 поступает через распределительную решетку 6 в слой насадки 4. Слой насадки 4 орошается водой оросителем 13 для повышения эффективности очистки газа от дисперсной фазы. Загрязненная жидкость из слоя 4 удаляется через трубу 7 в

нижнюю часть аппарата 10, где выводится через патрубок 12. Секция насадки 5 выполняет роль демистера (каплеуловителя). Очищенный газ удаляется через штуцер 3.

В качестве насадочных элементов в секциях 4 и 5 используется регулярная насадка «Инжехим» с удельной поверхностью  $200 \text{ м}^2/\text{м}^3$  и свободным объемом 0,95 [3]. Насадочный сепаратор с данной насадкой имеет небольшое гидравлическое сопротивление (не более 3000 Па) и высокую степень очистки газа (более 97 % для частиц  $\geq 5 \text{ мкм}$ ). Эксплуатация сепаратора на УКПГ при очистке природного газа от дисперсной фазы дает положительные результаты.

### Комбинированные сепараторы

Механизмы осаждения взвешенных частиц подразделяются на гравитационный, инерционный, зацепления, диффузионный, центробежный и электростатический. Частицы размерами менее 50 мкм наиболее эффективно улавливаются в центробежных аппаратах и различными фильтрами. Причем за счет центробежных сил могут улавливаться частицы с размерами до 1 мкм, а в фильтрах до 0,01 мкм и менее [1, 2, 5, 6].

Учитывая эти обстоятельства, ниже рассмотрены конструкции газосепараторов, сочетающие центробежное разделение и последующую фильтрацию [7 - 9].

Техническая задача решается за счет того, что сепаратор для очистки газа содержит корпус с патрубками входа неочищенного газа, выхода очищенного газа и выхода жидкости и расположенные в корпусе входную и выходную секции (рис. 2). Входная (нижняя) секция выполнена в виде установленной над патрубком входа неочищенного газа тарелки с прямоточно-центробежными сепарационными элементами и размещенным под ней газораспределительным устройством, выполненным в виде расширяющегося снизу вверх усеченного конуса или усеченной пирамиды. Выходная (верхняя) фильтрующая секция выполнена в виде не менее чем двух расположенных одна над другой разборных тарелок с кольцевыми сетчатыми насадками, а между тарелками расположена газораспределительная решетка.

Расстояние между верхней и нижней секциями составляет от 0,7 до 1,0 внутреннего диаметра корпуса сепаратора, а расстояние между тарелками выходной фильтрующей секции составляет от 1,0 до 1,5 внутренних диаметров.

Каждая кольцевая сетчатая насадка может быть выполнена в виде набора кассет с кольцевыми сетчатыми элементами, установленными с возможностью их монтажа и демонтажа без нарушения целостности кольцевого сетчатого сепаратора и последующей замены кассет в случае необходимости.

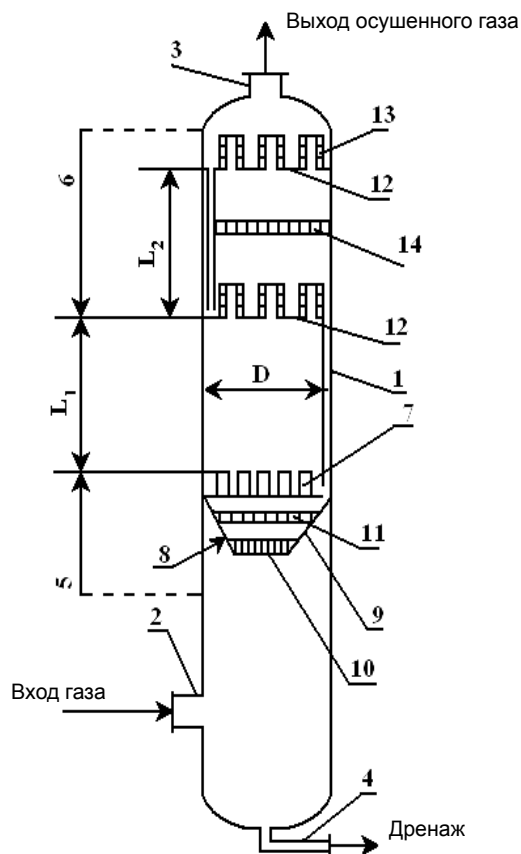


Рис. 2. Схема комбинированного газосепаратора

Как показал анализ работы различных по конструкции сепараторов, эффективность их работы может быть значительно повышена за счет более рационального подвода очищаемого газа к сепарационным устройствам. Особенно это важно, когда в сепараторе установлено несколько сепарационных элементов, например, когда на тарелке размещены однотипные сепарационные элементы, а именно прямоточно-центробежные сепарационные элементы или кольцевые сетчатые насадки. Чем с более равномерным профилем скоростей подойдет поток осушаемого газа к тарелке с сепарационными элементами, тем более равномерной будет нагрузка на каждый сепарационный элемент, тем более эффективно будут использованы возможности каждого сепарационного элемента, тем более качественно будет очищен газ. Положение осложняет то, что, как правило, патрубки для ввода очищаемого газа располагают на боковой стенке корпуса.

В ходе исследования и расчетов [8] было установлено, что наиболее рациональным в этой ситуации является размещение под тарелкой с прямоточно-центробежными сепарационными элементами газораспределительного устройства, выполненного в виде расширяющегося снизу вверх усеченного конуса или усеченной пирамиды, во входном и промежуточном сечении которой установлены

направляющие решетки с прямоугольными или квадратными отверстиями. Размещение расширяющегося по ходу потока очищаемого газа диффузорного осесимметричного канала позволяет резко повысить турбулентность потока газа на участке от патрубка входа неочищенного газа до входного сечения газораспределительного устройства. Далее, подача газа по осесимметричному расширяющемуся по ходу потока каналу позволяет дополнительно выровнять профиль скоростей. Установленные в газораспределительном устройстве направляющие решетки оказывают дополнительное стабилизирующее воздействие на поток газа. При этом как с технологической точки зрения, так и с точки зрения эксплуатации наиболее рационально выполнение направляющих решеток с квадратными или прямоугольными в поперечном сечении отверстиями.

На рис. 2 схематически показан продольный разрез сепаратора [7]. Сепаратор для осушки газа содержит корпус 1 с патрубками входа неочищенного газа 2, выхода очищенного газа 3 и выхода жидкости 4 и расположенные в корпусе входную 5 и выходную 6 фильтрующие секции. Входная фильтрующая секция 5 выполнена в виде установленной над патрубком входа неочищенного газа тарелки с прямоточно-центробежными сепарационными элементами 7 и размещенным под ней газораспределительным устройством 8, выполненным в виде расширяющегося снизу вверх усеченного конуса или усеченной пирамиды 9, во входном и промежуточном сечении которой установлены направляющие решетки 10 и 11 с прямоугольными или квадратными отверстиями. Направляющие решетки изготовлены из вертикально установленных плоских пластин, высота которых равна длине одной из сторон квадратного отверстия или меньшей стороне прямоугольного отверстия. Выходная фильтрующая секция 6 выполнена в виде не менее чем двух расположенных одна над другой разборных тарелок 12 с кольцевыми сетчатыми насадками 13, а между тарелками 12 расположена газораспределительная решетка 14. В результате численных расчетов [9] установлено, что для наиболее равномерного распределения профиля скорости потока газа коэффициент аэродинамического сопротивления газораспределительной решетки должен быть  $4,9 < \xi < 5,9$ .

Расстояние  $L_1$  между входной 5 и выходной 6 фильтрующими секциями составляет от 0,7 до 1,0 внутреннего диаметра  $D$  корпуса сепаратора, а расстояние  $L_2$  между тарелками 12 выходной фильтрующей секции 6 составляет от 1,0 до 1,5 внутренних диаметров  $D$  корпуса сепаратора.

Каждая кольцевая сетчатая насадка 13 выполнена в виде набора кассет с кольцевыми сетчатыми элементами, установленных с возможностью их монтажа и демонтажа без нарушения целостности кольцевого сетчатого сепаратора и последующей замены кассет в случае необходимости.

Рассмотренный газосепаратор работает следующим образом. Неочищенный газ через патрубок 2 подается в корпус 1 и поступает под газораспределитель-

тельное устройство 9. Далее через газораспределительное устройство 9 неочищенный поток газа поступает в прямоточно-центробежные сепарационные элементы 7. В последних поток неочищенного газа, разбитый на множество потоков, закручивается, что вызывает отделение от газа дисперсной фазы, в частности примесей жидких сред. Отделившиеся примеси стекают с тарелки сепарационных элементов 7 в нижнюю часть корпуса и удаляются из корпуса через патрубок 4 выхода жидкости. Частично очищенный от примесей газ из прямоточно-центробежных сепарационных элементов 7 далее поступает в фильтрующую секцию 6, где в результате перемешивания отдельные потоки газа преобразуются в единый поток с достаточно равномерным градиентом скоростей. Далее этот поток газа поступает в кольцевые сетчатые насадки 13, где происходит окончательная очистка или, что более правильно, осушка газа от преимущественно жидкостных примесей. Газораспределительная решетка 14 позволяет выровнять поток газа между тарелками с кольцевыми сетчатыми насадками. Осушенный газ выходит через патрубок 3, а отделившаяся жидкость с тарелок сливается в нижнюю часть корпуса и удаляется через патрубок 4.

Для расчета эффективности разработанного газосепаратора использовался энергетический метод [3].

Выполнены расчеты осушки газа (удаление жидкой дисперсной фазы) в разработанном сепараторе. Получено, что для частиц  $\geq 2 - 3$  мкм эффективность при интенсивном гидродинамическом режиме составляет не менее 97 - 98 % (при  $F = W_2 \sqrt{\rho_2} > 10$ ), где  $W_2$  – скорость газа в сепарирующих элементах, м/с;  $\rho_2$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>.

Сепаратор используется на установке комплексной подготовки природного газа на ООО «Ямбурггаздобыча» и дает положительные результаты [12].

Разработанный газосепаратор может быть использован на предприятиях ТЭК, где требуется очистка газа от разного рода мелкодисперсной фазы, преимущественно примесей жидких сред.

Разработан также комбинированный сепаратор осушки газов от капельной влаги, обеспечивающий высокую эффективность очистки [9].

Технический результат достигается за счет того, что в сепараторе осушки газов от капельной влаги, состоящем из корпуса с патрубками входа исходной газожидкостной смеси, выхода очищенного от влаги газа и выхода отделенной жидкой фазы, введены внутренняя труба, в которой последовательно расположены направляющая решетка секция нерегулярных металлических насадок, трубки с ленточным завихрителем и сетчатый демистер (рис. 3).

Направляющая решетка представляет собой проницаемую поперечную перегородку из металлического листа с отверстиями. Коэффициент сопротивления направляющей решетки  $\xi$  от 4,9 до 5,9, вследствие чего за решеткой не наблюдаются зоны циркуляции потока. В качестве контактных устройств в насадочной

секции используются нерегулярные насадки «Инжехим-2000» [3, 9, 10]. Трубки с ленточным завихрителем установлены на тарелке. Сетчатый демистер расположен по периметру между центральной трубой и корпусом аппарата под углом  $45^\circ$  и состоит из мелкой сетки, уложенной в пакет.

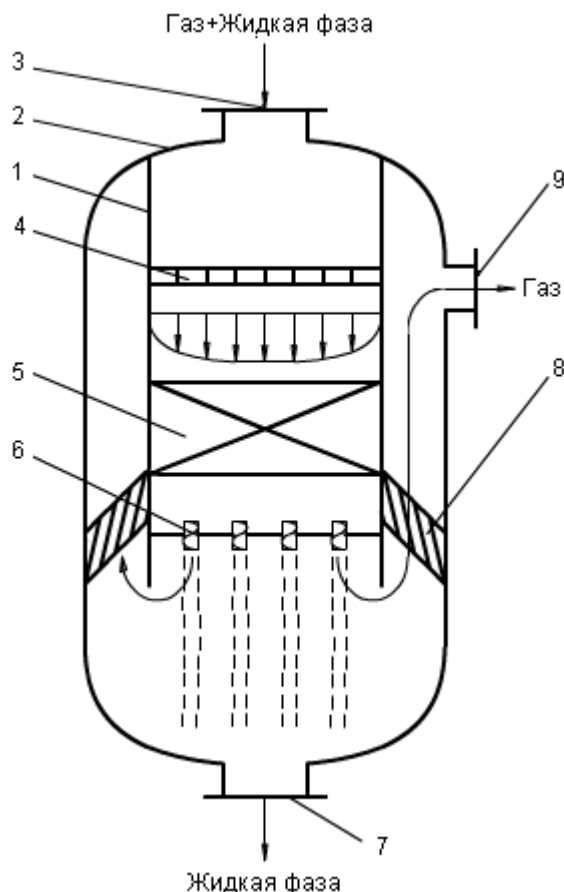


Рис. 3. Сепаратор осушки газов от капельной влаги

Рассматриваемый сепаратор работает следующим образом. Исходная газожидкостная смесь поступает во внутреннюю трубу 1 сепаратора через патрубок 3. Далее смесь, минуя направляющую решетку 4, где происходит выравнивание потока, поступает на секцию нерегулярных насадок 5, где происходит укрупнение капель жидкости. После секции насадок смесь проходит через трубки с ленточным завихрителем 6. Жидкая фаза осаждается на внутренней стороне стенок трубок за счет центробежной силы (при скорости газа  $W_2 > 30$  м/с), вызванной ленточным завихрителем, и стекает в нижнюю часть аппарата под действием силы тяжести. Через патрубок 7 отделенная жидкость покидает аппарат. Очищенный газ через сетчатый демистер 8, предотвращающий вторичный унос жидкой фазы, покидает внутреннюю трубу 1 и выходит из аппарата через патрубок 9.

Данный газосепаратор может быть использован в химической, нефтехимической и нефтегазовой промышленности, где требуется очистка газа от жидкой фазы. Эффективность очистки газов для капель  $> 5$  мкм не менее 99 %.

### Фильтры

В настоящее время в связи с повышением экологических требований и требований к подготовке газа, а также необходимости снижения потерь жидких продуктов все большее применение находит фильтрационное оборудование.

Для определения основного направления совершенствования отечественного фильтрационного оборудования проведен ряд научно-исследовательских работ [13]. В частности, определены основные области применения фильтрационного оборудования для удаления капельной жидкости из газового потока – фильтрации аэрозолей;

- для удаления капельной жидкости и механических примесей из газового потока;

- для удаления механических примесей из газового потока;

- для разделения несмешивающихся жидкостей (водных растворов абсорбентов, ингибиторов и углеводородных жидкостей).

При этом решались задачи защиты последующих за фильтрационным оборудованием аппаратов или процессов.

Основными проблемами в совершенствовании фильтрационного оборудования являются;

- увеличение срока службы фильтр-патронов;

- повышение эффективности фильтрации в условиях наличия в очищаемых потоках механических примесей, углеводородных жидкостей и водных растворов;

- снижение гидравлических сопротивлений.

Проведены стендовые и промышленные испытания фильтр-патронов различных конструкций с внутренней и наружной подачей фильтруемой среды – газа и жидкости. В процессе испытаний было установлено, что:

- фильтрующий материал по длине патрона работает неравномерно;

- для одинаковых фильтрующих материалов максимальный срок службы у фильтрующих патронов с внутренней подачей среды, при применении специального каркаса с распределителями потоков по длине элемента;

- максимальная эффективность фильтрации (минимальный диаметр уловленных частиц) достигнута на фильтрах с применением в качестве фильтр-коалесцирующего материала супертонкого стекловолокна (СТВ) с диаметром волокна 1 - 2 мкм;

- наименьшее гидравлическое сопротивление при сохранении высокой эффективности имеют фильтрующие патроны из материала марки СТВ при толщине

намотки около 8 мм (два слоя 10-миллиметровых матов) и толщине волокна 3 мкм с применением газораспределительного каркаса.

Патроны с наружной подачей среды сохраняют форму и выдерживают перепад давления 0,15 МПа при одном внутреннем несущем каркасе.

Для сохранения формы и целостности фильтрующего материала при внутренней подаче среды разработан фильтрующий патрон с внутренним и наружным несущими каркасами.

На всех фильтрах, снятых с фильтрационного оборудования (без газораспределительного каркаса), выявлена неравномерность загрузки фильтр-патронов по их длине отделяемыми примесями, особенно при больших соотношениях длины патрона к его диаметру. При больших скоростях фильтруемых потоков при внутренней подаче очищаемого потока в фильтр-патрон частицы, из-за большей массы на единицу объема, чем фильтруемый поток, направляются силами инерции в тупиковую зону, где и отлагаются, забивая поверхность фильтр-патрона в этой части. При наружной подаче очищаемого потока на фильтр-патрон частицы по инерции пролетают вдоль фильтрующей поверхности к тарелке крепления и забивают наружную сторону патрона со стороны открытого торца.

Неравномерность работы фильтр-патрона сокращает срок его службы и снижает эффективность работы (фильтрации и коалесценции). Для исключения этого недостатка в фильтр-коалесцирующем патроне опорный элемент был выполнен из просечно-вытяжного листа с расположением кромок просечек по окружности, а каналы просечек от торцов патрона направлены в разные стороны, причем каналы просечек развернуты открытой частью навстречу очищаемому потоку.

Такое техническое решение позволяет увеличить срок службы фильтр-патронов и уменьшить их гидравлическое сопротивление.

В промышленных условиях гидрофильные фильтрующие элементы, изготовленные ООО «Регион-Трейд» из материала СТВ, были испытаны в фильтр-сепараторах ГП 605.00.000 на КС Тума-Гавриловского УМГ, в фильтр-сепараторе ФС-1 блока очистки топливного газа УПТГ ДКС-1 (II-я очередь), на сепараторе 20С-1/7 УКПГ-1С Заполярного ГНКМ.

Начальное содержание примесей – до 10 мг/м<sup>3</sup>, в т.ч. мехпримесей – до 3,6 мг/м<sup>3</sup>. Минимальный размер уловленных частиц – 0,8 - 3,0 мкм. Максимальный размер уловленных частиц – 6 мкм и более. Толщина фильтрующих волокон – 2 мкм и более. Эффективность очистки частиц 3 мкм и выше составляет 100 %. Эффективность очистки частиц 1,2 - 3,0 мкм составляет 99,2 %. Толщина рабочей поверхности – 9 мм (60 % от толщины слоя). Материал СТВ: гидрофильный и гидрофобный варианты.

Гидравлическое сопротивление аппаратов с фильтрами из материалов марки СТВ с гидрофобной обработкой и толщиной волокон 3 мкм, при толщине

рабочей поверхности 9 мм, более чем в два раза ниже, чем у аппаратов с фильтрами из материала марки СТВ с волокнами 1 - 2 мкм без обработки.

Фильтр-коалесцирующие патроны также нашли применение в фазных разделителях для отделения углеводородных жидкостей от водных растворов абсорбентов и ингибиторов. Применение фильтр-патронов в разделителях углеводородный конденсат - раствор гликоля позволяет снизить потери абсорбента в несколько раз в сравнении с гравитационными разделителями, т.е. до 100 - 150 мг/м<sup>3</sup> конденсата.

Результаты проведенных исследований подтверждают необходимость применения фильтрующего оборудования, расширения области его применения и дальнейшего совершенствования.

### Низкотемпературный сверхзвуковой сепаратор

Традиционные крупнотоннажные УКПГ, у которых низкотемпературная сепарация происходит за счет дросселирования газа (эффект Джоуля-Томпсона), не отвечают современным требованиям по снижению капитальных и эксплуатационных затрат при обустройстве и эксплуатации удаленных месторождений.

Далее описана конструкция 3S-сепаратора, приведены реальные технологические параметры 3S-технологий в составе УКПГ газоконденсатного месторождения и расчетные параметры работы блоков 3S-сепарации, которые готовятся для промышленных испытаний на объектах ООО «Газпром добыча Ямбург».

3S-сепаратор (Super Sonic Separator) – низкотемпературный сверхзвуковой сепаратор, конструкция которого основана на использовании достижений современной аэродинамики и технологиях, связанных с аэрокосмической техникой.

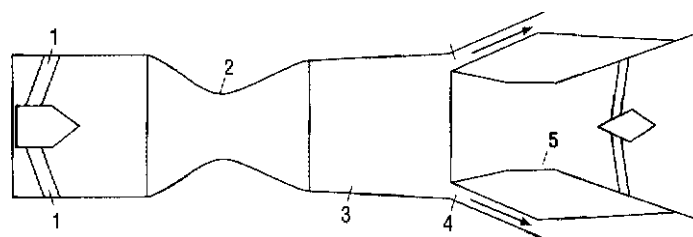


Рис. 4. Принципиальная схема 3S-сепаратора

Общая схема сепаратора представлена на рис. 4 [14]. Ее характерной особенностью является размещение закручивающего устройства 1 в форкамере. Далее последовательно размещены: сверхзвуковое сопло 2, рабочая секция 3, устройство 4 для отбора части потока, содержащей сжиженные компоненты, сверхзвуковой и дозвуковой диффузоры со спрямляющим устройством 5. Для закрутки потока, обеспечивающей поле центробежных сил с ускорением не менее 105 g, могут использоваться различные типы закручивающих устройств: с лопатками,

расположенными на центральном теле, с вдувом газа по касательной к поверхности входного участка форкамеры и использованием одной или нескольких струй и т.п.

Течение природного газа в канале сверхзвукового сепаратора сопровождается сложными физическими процессами, такими как:

- охлаждение газа за счет адиабатического расширения газа и эффекта Джоуля-Томсона;
- зарождение ядер конденсации, их рост в диффузионном режиме, коагуляция капель в турбулентном потоке газа;
- сепарация капель в поле центробежных сил;
- развитие двухфазного пограничного слоя на поверхности сверхзвукового сопла и т.д.

Работа 3S-сепаратора происходит следующим образом. Входной поток закручивается в форкамере 1 и подается в сопло 2 (рис. 4), где падают его давление и температура и резко возрастает скорость. В результате сильного охлаждения образуются капли жидкости, которые нарастают за счет коагуляции (этому процессу способствует турбулизация потока, вызванная его вращением). Рост капель продолжается в рабочей секции 3, в которой образуется газожидкостный пограничный слой, обогащенный жидкими компонентами, центральный поток оказывается очищенным от целевых компонентов. Затем потоки проходят через диффузоры 4, где их скорость гасится, а давление повышается.

Таким образом, на вход 3S-сепаратора подается газовый поток (он может содержать до 20 % жидкости), а из 3S-сепаратора выходит два потока: один – подготовленного товарного газа, а второй – газожидкостный, обогащенный жидкими компонентами.

В 3S-сепараторе капли жидкости образуются в условиях низких температур при падении давления в сверхзвуковом сопле, обеспечивая эффективную сепарацию целевых компонентов при существенно меньшем перепаде давления, чем при использовании базовой схемы низкотемпературной сепарации (НТС) [15, 16].

3S-сепараторы прошли всестороннее тестирование в лабораторных и полевых условиях в России и Канаде. С июля 2007 г. 3S-сепараторы работают в промышленном режиме на Губкинском ГКМ ООО «РН-Пурнефтегаз».

По сравнению с традиционной схемой НТС использование 3S-сепараторов имеет следующие преимущества:

- продление периода безкомпрессорной эксплуатации месторождения;
- понижение температуры точки росы товарного газа и увеличение степени извлечения  $C_{5+}$  и удельного выхода НК при значительно меньшем перепаде давления;
- предотвращение безвозвратных потерь (капельного уноса) конденсата с осушенным газом из концевого низкотемпературного сепаратора.

Основные преимущества 3S-сепараторов:

- оптимальное использование пластовой энергии газа;
- обеспечение высокого уровня надежности и эксплуатационной безопасности;
- обеспечение минимального техногенного воздействия на окружающую среду;
- низкие капитальные и эксплуатационные затраты;
- малогабаритность и низкая металлоемкость, возможность размещения в ограниченных условиях;
- возможность использования в составе проектной схемы УКПГ параллельно оборудованию НТС;
- термодинамические характеристики 3S-сепаратора близки к характеристикам работы турбодетандера, объединяя функции расширения, типовой циклонной сепарации газ/жидкость и повторного сжатия в одном компактном стационарном трубном устройстве. При этом в 3S-сепараторе отсутствуют какие-либо движущие части и, как следствие, нет необходимости в трудоемком и высококвалифицированном обслуживании аппарата.

В табл. 1 приводятся сравнительные параметры работы УКПГ с установкой 3S-сепарации и без нее [14].

Таблица 1. Сравнительные характеристики блока НТС

Показатели блока НТС	Блок НТС	
	с 3S-сепаратором	без 3S-сепаратора
Давление в первичном сепараторе, МПа (абс.)	12,0	12,0
Температура газа на входе в теплообменник, °С	7	7
Давление на выходе из блока 3S, МПа (абс.)	7,6	-
Давление на выходе из клапана, МПа (абс.)	-	7,6
Расход газа на выходе из сепаратора 10С-1, м <sup>3</sup> /ч	10300	10300
Температура точки росы газа по углеводородам на выходе из УКПГ, °С (при давлении 75 атм)	ниже -40	-21,4
Температура точки росы газа по воде на выходе из 3S-сепаратора, °С (при давлении 75 атм)	ниже -25	-

Показатели блока НТС	Блок НТС	
	с 3S-сепаратором	без 3S-сепаратора
Температура точки росы газа по воде на выходе из УКПГ, °С (при давлении 75 атм)	-	-25,2
Давление газа на выходе УКПГ, МПа (абс)	7,5	7,5
Содержание компонентов C <sub>5+</sub> в товарном газе на выходе из 3S-сепаратора, г/м <sup>3</sup>	менее 4	-
Содержание компонентов C <sub>5+</sub> в товарном газе на выходе из сепаратора НТС, г/м <sup>3</sup>	-	8
Содержание капельной жидкости в товарном газе на выходе из 3S-сепаратора, г/м <sup>3</sup>	отсутствует	-
Содержание капельной жидкости в товарном газе на выходе из сепаратора НТС, г/м <sup>3</sup>	-	1,5

Установка 3S-сепаратора на этом объекте позволит понизить температуру точки росы по углеводородам с -20 °С до -40 °С.

Как видно из приведенных параметров, использование блока 3S-сепарации позволяет существенно снизить температуру точки росы по углеводородам в товарном газе, а также увеличить выход товарного конденсата.

### Заключение

Аппараты для очистки газов и паров от твердых и жидких механических включений являются важной составляющей частью при комплектовании технологической аппаратуры в энергетике, а также в химической, нефтехимической и родственными им отраслям промышленности. Разнообразие условий работы установок и поставленных задач вызывают необходимость в создании новых конструкций сепарирующей аппаратуры или модернизации действующей.

Рассмотренные в статье разные по принципу действия аппараты газоочистки характеризуются высокой эффективностью и внедрены на УКПГ. Причем, наиболее перспективным методом разделения газоконденсатных смесей является низкотемпературная сверхзвуковая сепарация.

Рассмотренные насадочный, комбинированный сепараторы и фильтры могут также использоваться на различных предприятиях топливно-энергетического комплекса, где требуется очистка газов от разного рода дисперсной фазы.

### Литература

1. Чохонелидзе А.Н., Галустов В.С., Холпанов Л.П., Приходько В.П. Справочник по распыливающим, оросительным и каплеулавливающим устройствам. М.: Энергоатомиздат, 2002. 608 с.
2. Зиганшин М.Г., Колесник А.А., Посохин В.Н. Проектирование аппаратов пылегазоочистки. М.: Экопресс-ЗМ, 1998. 505 с.
3. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Разделение гетерогенных систем в насадочных аппаратах. Казань: Казанск. гос. энерг. ун-т, 2006. 342 с.
4. Патент Российской Федерации на полезную модель № 42182. Сепаратор. Минигулов Р.М., Лысов В.И., Ключов В.А./ заявитель и патентообладатель ООО «ТюменНИИгипрогаз» - №2004123537; заявл. 04.08.2004; опубл. 27.11.2004.
5. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.
6. Сугак Е.В., Войнов Н.А., Николаев Н.А. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами. 2-е изд. Казань: Отечество, 2009. 224 с.
7. Патент Российской Федерации на изобретение № 2252813. Сепаратор для осушки газа. Андреев О.П., Салихов З.С., Минигулов Р.М. и др./ заявитель и патентообладатель ООО «Ямбурггаздобыча» - №2004101025; заявл. 19.01.2004; опубл. 27.05.2005.
8. Минигулов Р.М., Фарахов М.И., Тараскин М.М. Очистка газов от жидкой дисперсной фазы комбинированным сепаратором // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. № 3 - 4. С. 3 - 7.
9. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2011125495/05 (037613) от 21.06.2011. Сепаратор осушки газов от капельной влаги. Лаптев А.Г., Башаров М.М., Тараскин М.М., Исхаков А.Р.
10. Фарахов Т.М., Башаров М.М., Шигапов И.М. Гидравлические характеристики новых высокоэффективных нерегулярных теплообменных насадок // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". 2011. № 2. С. 192 - 207. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Farakhov/Farakhov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Farakhov/Farakhov_1.pdf).
11. Лаптев А.Г., Фарахов М.И. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике: Пособие к расчету аппаратов. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. 729 с.
12. Минигулов Р.М., Лаптев А.Г., Тараскин М.М. Внедрение научно-технических разработок при добыче и подготовке природного газа // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2009. № 3. С. 8 - 13.
13. Зиберт Г.К., Валиуллин И.М., Султанов К.Ш., Хайрулин Г.М., Минигулов Р.М. Совершенствование фильтрационного оборудования в нефтегазовой промышленности // Нефть. Газ. Промышленность. 2007. № 3(31). С. 12 - 13.

14. Андреев О.П., Минигулов Р.М., Коротников Р.В., Багиров Л.А., Имаев С.З. Технологические схемы УКПГ на основе 3S-технологии для северных нефтегазоконденсатных месторождений // Наука и техника в газовой промышленности. 2009. № 2. С. 4 - 10.

15. Alfyorov V.I., Bagirov L.A., Dmitriev L.M., Feygin V., Imayev S., Lacey J.R. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components // Oil & Gas Journal, May 23, 2005, pp. 53 - 58.

16. Крылов Г.В., Лапердин А.Н., Маслов В.Н. Совершенствование методов геологического изучения, анализа и проектирования разработки газовых месторождений севера Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 392 с.

## HIGH-PERFORMANCE SEPARATION EQUIPMENT FOR PURIFICATION OF NATURAL GAS FROM DISPERSED MEDIUM

T.M. Farakhov

*Engineering and Innovation Center "Inzhehim", Kazan, Russia*

A.R. Iskhakov

*Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia*

*e-mail: aliskhakov@gmail.com*

R.M. Minigulov

*Novatek LLC, Moscow, Russia*

**Annotation.** *We consider the construction of high-performance gas separator for purification of natural gas from the condensed moisture on the complex gas installations. The article contains apparatus characteristics, experimental results and calculations results.*

**Keywords:** *packed, combined, gas separators, filters, low-temperature supersonic separator, cleaning efficiency*

### References

1. Chokhnelidze A.N., Galustov V.S., Kholpanov L.P., Prikhod'ko V.P. Spravochnik po raspylivayushchim, orositel'nym i kapleulavlivayushchim ustroystvam (A reference book of spraying and drop-catching devices). Moscow, Energoatomizdat, 2002. 608 p.
2. Ziganshin M.G., Kolesnik A.A., Posokhin V.N. Proektirovanie apparatov pylegazoochistki (Designing of a dust and gazes cleaning devices). Moscow, Ekopress-ZM, 1998. 505 p.
3. Laptev A.G., Farakhov M.I. Razdelenie geterogennykh sistem v nasadochnykh apparatakh (Separation of heterogeneous systems in packed devices). Kazan, Kazan State Power Engineering University, 2006. 342 p.
4. Utility model of Russian Federation № 42182. Separator / Minigulov P.M., Lysov V.I., Klyusov V.A. Appl. 04.08.2004. Publ. 27.11.2004.
5. Uzhov V.N., Val'dberg A.Yu., Myagkov B.I., Reshidov I.K. Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli (Dust removal from industrial gases). Moscow, Khimiya, 1981. 392 p.
6. Sugak E.V., Voinov N.A., Nikolaev N.A. Ochistka gazovykh vybrosov v apparatakh s intensivnymi gidrodinamicheskimi rezhimami (Cleaning of gas emissions in the units with intensive hydrodynamic regimes). 2 ed. Kazan, Otechestvo, 2009. 224 p.
7. Patent of Russian Federation № 2252813. Gas drying separator / Andreev O.P., Salikhov Z.S., Minigulov P.M. et al. Appl. 19.01.2004; Publ. 27.05.2005.

8. Minigulov R.M., Farakhov M.I., Taraskin M.M. Ochistka gazov ot zhidkoi dispersnoi fazy kombinirovannym separatorom (Purification of gases from liquid disperse phase combination separator), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Problemy energetiki*, 2010, Issue 3 - 4, pp. 3 - 7.

9. The decision to grant a utility model patent for application № 2011125495/05 (037613) ot 21.06.2011. Drying gas separator from the condensed moisture / Laptev A.G., Basharov M.M., Taraskin M.M., Iskhakov A.R.

10. Farakhov T.M., Basharov M.M., Shigapov I.M. Gidravlicheskie kharakteristiki novykh vysokoeffektivnykh neregulyarnykh teplomassoobmennykh nasadok (Hydraulic properties of new highly irregular heat and mass exchange attachments), *Electronic scientific journal "Oil and Gas Business"*, 2011, Issue 2, pp. 192-207. [http://www.ogbus.ru/authors/Farakhov/Farakhov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Farakhov/Farakhov_1.pdf).

11. Laptev A.G., Farakhov M.I. Gidromekhanicheskie protsessy v neftekhimii i energetike: Posobie k raschetu apparatov (Hydro-mechanical processes in the petrochemical and power industry: A guide to apparatuses calculation). Kazan, Kazan State University, 2008. 729 p.

12. Minigulov P.M., Laptev A.G., Taraskin M.M. Vnedrenie nauchno-tekhnicheskikh razrabotok pri dobyche i podgotovke prirodnogo gaza (Realization of scientific and technical developments in natural gas production and treatment), *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2009, Issue 3, pp. 8 - 13.

13. Zibert G.K., Valiullin I.M., Sultanov K.Sh., Khairulin G.M., Minigulov R.M. Sovershenstvovanie fil'tratsionnogo oborudovaniya v neftegazovoi promyshlennosti (Filtration equipment Improvement in oil and gas industry), *Neft'. Gaz. Promyshlennost' - Oil. Gas. Industry*, 2007, Issue 3(31), pp. 12 - 13.

14. Andreev O.P., Minigulov R.M., Korytnikov R.V., Bagirov L.A., Imaev S.Z. Tekhnologicheskie skhemy UKPG na osnove 3S-tekhnologii dlya severnykh neftegazokondensatnykh mestorozhdenii (Flow charts for comprehensive gas treatment facilities based on 3S-technology for Northern oil, gas and condensate fields), *Nauka i tekhnika v gazovoi promyshlennosti - Science & Technology in the Gas Industry*, 2009, Issue 2, pp. 4 - 10.

15. Alforyov V.I., Bagirov L.A., Dmitriev L.M., Feygin V., Imayev S., Lacey J.R. Supersonic nozzle efficiently separates natural gas components, *Oil & Gas Journal*, May 23, 2005, pp. 53 - 58.

16. Krylov G.V., Laperdin A.N., Maslov V.N. Sovershenstvovanie metodov geologicheskogo izucheniya, analiza i proektirovaniya razrabotki gazovykh mestorozhdenii severa Zapadnoi Sibiri (Improvement of methods of geological exploration, analysis and reservoir engineering of fields located in the north of West Siberian). Novosibirsk, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2005. 392 p.