

Развитие технологий глубокой адсорбционной осушки природного газа в установках подготовки импульсного газа

Ю.Л. Кузнецов
А.В. Бураков
А.С. Перминов
С.Ю. Титова
С.Э. Шарифова

ООО «Компрессор Газ», Россия,
Санкт-Петербург

В статье рассмотрены вопросы адсорбционной осушки природного газа, выявлены основные факторы, влияющие на глубину осушки и пропускную способность установок глубокой осушки природного газа, определены оптимальные рабочие параметры для эффективной осушки природного газа, произведено сравнение существующих методов регенерации адсорбента, определены эффективные способы регенерации для конкретных условий работы адсорбционных установок осушки природного газа.

Ключевые слова

осушка, природный газ, импульсный газ, УПИГ, адсорбер, регенерация, адсорбент

Специфика эксплуатации запорно-регулирующей арматуры на объектах газовой промышленности требует особенно тщательной очистки от влаги и механических частиц отбираемого из газопровода природного газа, который направляется в приводы с пневматической или пневмогидравлической системой управления запорно-регулирующих устройств.

Для подготовки импульсного газа на компрессорных станциях магистрального газопровода и других объектах газовой промышленности применяются установки подготовки импульсного газа (далее — УПИГ) производства ООО «Компрессор Газ», особенности конструкции и этапы развития которых описаны в [3–11].

Основными параметрами УПИГ являются: пропускная способность (или расходимпульсного природного газа), рабочее давление, степень осушки или влагосодержание осушенного газа, измеряемое температурой точки росы. УПИГ должна обеспечивать непрерывную осушку природного газа, работать в широком диапазоне давлений без потери производительности (пропускной способности) и качества осушки, но при этом необходимо, чтобы установка имела компактные габаритные размеры (прежде всего минимальную высоту) для обеспечения размещения и обслуживания установки в транспортном контейнере.

В соответствии с пунктом 6.3.3.2 [13] пропускная способность блока осушки составляет от 300 до 500 ст. м³/ч, при этом давление на входе в установку может изменяться и составлять от 11,8 МПа до 3,5 МПа, влагосодержание осушенного газа должно соответствовать температуре точки росы не выше 218 К (–55°C).

При работе установки осушки природного газа особое значение имеет рабочее давление, так как при его снижении увеличивается равновесное влагосодержание

природного газа и увеличивается объемный расход природного газа, а значит и скорость прохождения газа через слой цеолитового адсорбента, что ухудшает условия работы и сокращает время насыщения адсорбента влагой.

В соответствии с графиком, приведенном на рис. 1.1 в [1] при давлении 9,8 МПа влагосодержание природного газа составляет 0,25 г/м³, а при давлении 3,5 МПа влагосодержание природного газа составляет 0,6 г/м³.

Для обеспечения производительности 500 ст. м³/ч при давлении 9,8 МПа необходимо удалить из газа 125 г воды за час, а при давлении 3,5 МПа вследствие повышения влагосодержания необходимо удалить из газа 300 г воды за час, таким образом объем адсорбента и диаметр сечения должны рассчитываться, проверяться и иметь запас для обеспечения возможности работы на низком давлении.

В настоящее время основной задачей при проектировании УПИГ является повышение эффективности процесса осушки, которая характеризуется минимальным энергопотреблением и снижением потерь газа при технологических операциях разгрузки трубопроводов и продувках адсорбера в процессе регенерации.

Важным вопросом в организации процесса осушки также является эффективная регенерация адсорбента, при которой должна в полной мере происходить десорбция поглощенных адсорбентом воды и углеводородов.

В частности, проверено, что, в случае применения вакуума на цеолитовых адсорбентах, десорбция воды достигается при пороговой температуре регенерации 423 К (150°C) [2], что ниже температуры регенерации цеолитового адсорбента при атмосферном или избыточном давлении. Например, в установке для регенерации цеолита от паров



Рис. 1 — Реактор перед сборкой



Рис. 2 — Блок термопар для замера поля температур



Рис. 3 — Монтаж блока термопар

Параметр, единица измерения	Значение
Пропускная способность, $\text{нм}^3/\text{ч}$	от 280 до 350
Расчетное / рабочее давление, МПа	11,8 / от 7,5 до 9,8
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	1800x750x1930
Масса, не более, кг	800
Температура точки росы газа на выходе, не выше, °C	-60
Тип адсорбента	цеолит NaX
Тип регенерации адсорбента	вакуумная с электронагревом (термовакuumная)
Управление технологическим процессом	автоматизированное
Энергопотребление, не более, кВт:	
общее	4,0
при регенерации	3,0

Таблица — Основные технические характеристики УПИГ-00.000-30

воды использован нагрев адсорбера электрическим током до 633 К (до 360 °C) [2].

Для исследования процессов нагрева и регенерации различных адсорбентов специалистами разработан лабораторный реактор (рис. 1–3), оборудованный датчиками температуры, измеряющими температуру адсорбента в контрольных точках по сечению адсорбера. Датчики температуры измеряют температуру непосредственно адсорбента внутри адсорбера в процессе нагрева. Предусмотрено измерение, индикация и запись трендов в режиме реального времени.

Разработанный реактор позволил провести исследования поля температур при нагреве адсорбера при атмосферном и избыточном давлении, а также в условиях вакуума, благодаря которым получена возможность подтверждения расчетных данных по режимам работы установки и подбора наиболее эффективных режимов регенерации.

Исследования показали, что проведение регенерации в условиях вакуума технологически оправдано в виду возможности организации технологического процесса без

сбросов газа в атмосферу, то есть появляется возможность свести к минимуму потери газа, что особенно важно при пропускной способности УПИГ до 1250 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

В настоящее время спроектирована и изготовлена установка УПИГ-00.000-30 для эксплуатации на УКПГ-2 Ярактинского НГКМ.

Внешний вид УПИГ-00.000-30 представлен на рис. 4 и 5.

Основные технические характеристики УПИГ-00.000-30 приведены в таблице.

Технологической особенностью



Рис. 4 — Установка подготовки импульсного газа УПИГ-00.000-30 (вид спереди)



Рис. 5 — Установка подготовки импульсного газа УПИГ-00.000-30 (вид сзади)

УПИГ-00.000-30 является процесс термовакuumной регенерации адсорбента, при котором осуществляется нагрев адсорбента до температуры десорбции при создании вакуума в объеме адсорбера с одновременным удалением десорбированных компонентов.

УПИГ по [3–11] базируются на термической регенерации. Удаление десорбированных компонентов осуществляется продувкой регенерируемого адсорбента некоторым расходом осушенного газа, отбираемым с выходного коллектора УПИГ, предварительно редуцированным до давления, близкого к атмосферному, и последующим сбросом газа, содержащего десорбат, в атмосферу.

Преимущества термовакuumной регенерации относительно термической заключаются в следующем:

1. Десорбция компонентов в условиях вакуума происходит при значительно более низких температурах, чем при избыточном или атмосферном давлении, что позволяет сократить время нагрева адсорбера, температуру процесса десорбции и, соответственно, потребляемую мощность УПИГ.
2. Удаление десорбированных компонентов производится за счет создания в адсорбере вакуума мембранным вакуумным насосом, при этом сброс продуктов десорбции осуществляется под атмосферным давлением в дренажную емкость. Такой способ удаления продуктов десорбции позволяет организовать процесс регенерации без расхода газа на продувку адсорберов. Таким образом, сброс газа в атмосферу производится только при разгрузке адсорбера, отработавшего цикл осушки, от рабочего давления перед началом цикла регенерации, что, соответственно, позволяет реализовать технологический процесс с минимальными потерями газа.
3. Испытания также показали, что охлаждение адсорбера при поддержании вакуума происходит быстрее, что позволяет сократить время на регенерацию адсорбента.

Таким образом основными факторами, определяющими эффективность процесса термовакuumной регенерации относительно термической являются:

- глубина (полнота) десорбции;
- сокращение времени на проведение регенерации;
- сокращение потерь природного газа;
- энергопотребление установки.

При термической регенерации энергопотребление установки определяется мощностью электронагревательных элементов (далее — ТЭН) и мощностью, потребляемой на открытие электроуправляемой арматуры, отвечающей за проведение процесса регенерации:

$$N_{обц}^{TP} = N_{нагр} + N_{эп} \quad (1).$$

При термовакuumной регенерации потребляемую мощность составляет также мощность вакуумного насоса:

$$N_{обц}^{TBP} = N_{нагр} + N_{эп} + N_{нв} \quad (2).$$

При дальнейшем сравнении $N_{обц}^{TP}$ и $N_{обц}^{TBP}$, мощностью на открытие электроуправляемой арматуры $N_{эп}$ можно пренебречь ввиду относительно небольших затрат

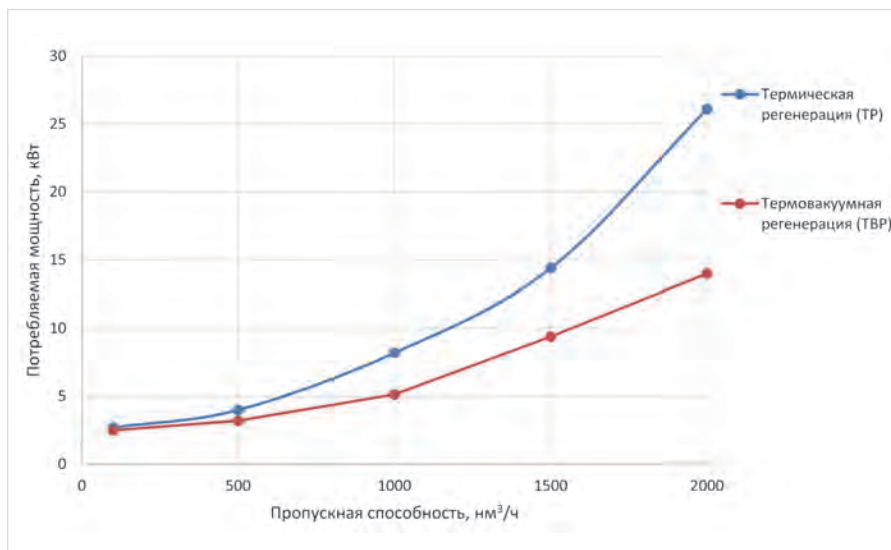


Рис. 6 — График зависимости потребляемой мощности от пропускной способности УПИГ при различных способах регенерации.

на управление арматурой.

Определяющее значение в данном сравнении имеет мощность, затрачиваемая на нагрев адсорбента $N_{нагр}$ и зависящая от температуры, до которой осуществляется нагрев, и от времени нагрева, причем влияние времени нагрева значительно больше влияния разности температур. Очевидно, что время, затрачиваемое на равномерный прогрев слоя адсорбента по сечению адсорбера, также зависит от температуры нагрева. Таким образом, можно сделать вывод, что основным параметром, влияющим на параметр $N_{нагр}$ является время работы электронагревательных элементов.

Соответственно, для УПИГ, пропускной способности до 350 нм³/ч, мощность, потребляемая за однократный цикл термической регенерации будет составлять $N_{обц}^{TP} = 16,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$, при термовакuumной — $N_{обц}^{TBP} = 4,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Таким образом, коэффициент эффективности процессов регенерации для УПИГ данной пропускной способности составляет 3,4. Полученные данные свидетельствуют о приоритете термовакuumной регенерации относительно термической для исполнения УПИГ-00.000-30.

Изменение входных параметров УПИГ влечет изменения в конструктиве установки. Как было указано ранее, в условиях снижения давления и, соответственно, увеличения влагосодержания природного газа и пропускной способности, необходимо вносить изменения в конструкцию адсорберов, а именно увеличивать объем за счет увеличения диаметра вследствие необходимости увеличения площади полезного сечения адсорбента. Предпочтительная схема и конструкция приведена в [12].

Подобное изменение в конструкции адсорбера приводит к увеличению потребляемой мощности за счет увеличения мощности ТЭН и времени, затраченного на равномерный прогрев слоя адсорбента по сечению.

Для выбора оптимального способа регенерации адсорбента в конкретных условиях эксплуатации УПИГ были получены зависимости энергопотребления от пропускной способности установки при организации

термовакuumной и термической регенерации (рис. 6).

Данные графические зависимости показывают, что энергопотребление УПИГ при организации термовакuumной регенерации меньше, чем при термической во всем диапазоне пропускных способностей. Причем с ростом расхода газа через УПИГ это снижение становится все более существенным, соответственно, при больших пропускных способностях более выгодным по затрачиваемой мощности является процесс термовакuumной регенерации.

Дальнейшее направление научных исследований для развития технологий глубокой осушки природного газа связано с синтезом новых адсорбентов с более высокой эффективностью, увеличенной динамической емкостью по парам воды и углеводородов, улучшенной временной стабильностью, стойкостью к загрязняющим факторам, увеличенным сроком службы. Также возможна комбинация применяемых методов осушки газов, например, адсорбционного, мембранного и рефрижераторного.

Список литературы

1. Жданова Н.В., Халиф А.Л. Осушка углеводородных газов, М: Химия, 1984.
2. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники, М: Химия, 1976.
3. Патент РФ №2163990 от 10.03.2001.
4. Патент РФ №2209365 от 27.07.2003.
5. Патент РФ №33423 от 20.10.2003.
6. Патент РФ №36484 от 10.03.2004.
7. Патент РФ №2239123 от 27.10.2004.
8. Патент РФ №42620 от 10.12.2004.
9. Патент РФ №2273794 от 10.04.2006.
10. Патент РФ №74188 от 20.06.2008.
11. Патент РФ №138290 от 10.03.2014.
12. Патент РФ №179040 от 25.04.2018.
13. СТО Газпром 2-3.5-230-2008. Типовые технические требования к устройствам подготовки газа на компрессорных станциях ОАО «Газпром». М.: Газпром, 2008.