

Научная статья
УДК 665.662.4
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-4-41-48>
EDN GGVEVJ

Изучение влияния сероводорода на адсорбционные свойства цеолитов

*Дария Алексеевна Чудиевич[✉], Ирина Владимировна Савенкова,
Вера Борисовна Петрова*

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, dchudoral@gmail.com[✉]*

Аннотация. Процесс осушки товарного газа играет значительную роль в обеспечении его безопасного транспортирования и применения. В современных технологиях осушки используют различные абсорбенты, важное место среди них занимают искусственные цеолиты марок KA, NaA, CaA, NaX, CaX. Многолетняя практика эксплуатации установок осушки природного газа, в т. ч. и на Астраханском газоперерабатывающем заводе (филиал ООО «Газпром переработка») показывает, что наряду с основной задачей по осушке данные абсорбенты хорошо поглощают сероводород. Анализ доступных литературных и практических данных показал, что независимо от содержания сероводорода в обессеренном газе (на уровне 0,005–0,010 г/м³, в отдельных случаях до 0,012 г/м³), его содержание в товарном газе стабильно и составляет 0,002–0,003 г/м³. Это свидетельствует о доочистке газа от сероводорода на установках осушки и отбензинивания газа и имеющемся значительном запасе по этому показателю качества. Адсорбционная способность цеолитов по отношению к сероводороду зависит от природы самого адсорбента, температуры и давления процесса адсорбции. Известно, что с повышением температуры давление снижается, а при повышении – уменьшается. Поглощательная способность цеолитов NaA и NaX в условиях реального технологического процесса была рассчитана теоретически и проведено сравнение с полученными аналитическими данными. Изучены распределения сероводорода в материальных потоках установки осушки и отбензинивания и дано научное обоснование наблюдаемой доочистке природного газа на этих установках. Проведенные исследования показали, что одновременно проходящая адсорбция влаги и сернистых соединений может уменьшить срок службы адсорбента, например NaX, до 2,5 лет.

Ключевые слова: сероводород, цеолит, товарный газ, осушка

Для цитирования: Чудиевич Д. А., Савенкова И. В., Петрова В. Б. Изучение влияния сероводорода на адсорбционные свойства цеолитов // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2024. № 4. С. 41–48. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-4-41-48>. EDN GGVEVJ.

Original article

Study of the effect of hydrogen sulfide on the adsorption properties of zeolites

Dariy A. Chudievich[✉], Irina V. Savenkova, Vera B. Petrova

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, dchudoral@gmail.com[✉]*

Abstract. The process of dehydration of commercial gas plays a significant role in ensuring its safe transportation and use. Various absorbents are used in modern drying technologies, an important place among them is occupied by artificial zeolites of the brands KA, NaA, CaA, NaX, CaX. Long-term practice of operating natural gas dehydration units, including those at the Astrakhan gas processing plant (a branch of Gazprom Pererabotka LLC), shows that along with the main task of dehydration, these absorbents absorb hydrogen sulphur well. The analysis of available literature and practical data has shown that regardless of the content of hydrogen sulphide in desulfurized gas (at the level of 0.005-0.010 g/m³, in some cases up to 0.012 g/m³), its content in commercial gas is stable and amounts to 0.002-0.003 g/m³. This indicates that the gas has been purified from hydrogen sulfide at the gas dehydration and stripping units and that there is a significant margin for this quality indicator. The absorption capacity of zeolites in relation to hydrogen sulfide depends on the nature of the adsorbent itself, on the temperature and pressure of the adsorption process. It is known that with an increase in

temperature, it decreases, and with an increase in pressure, it decreases. The absorption capacity of zeolites NaA and NaX under the conditions of a real technological process was calculated theoretically and compared with the analytical data obtained. The distribution of hydrogen sulfide in the material flows of the dehydration and stripping unit is studied and a scientific justification for the observed post-treatment of natural gas at these installations is given. Studies have shown that simultaneous adsorption of moisture and sulfur compounds can reduce the service life of an adsorbent, for example, NaX, up to 2.5 years.

Keywords: hydrogen sulfide, zeolite, commercial gas, dehydration

For citation: Chudievich D. A., Savenkova I. V., Petrova V. B. Study of the effect of hydrogen sulfide on the adsorption properties of zeolites. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2024;4:41-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2024-4-41-48>. EDN GGVEVJ.

Введение

Газ Астраханского месторождения характеризуется высоким содержанием сероводорода (до 25 % об.), который является сильнодействующим ядом и опасным для здоровья человека веществом. Отраслевыми нормативными документами устанавливаются требования и нормы, предъявляемые к товарному газу газоперерабатывающих заводов. Массовое содержание сероводорода в товарном газе, подаваемое в магистральный трубопровод, не должно превышать 0,007 г/м³. Допускается поставка газа с содержанием сероводорода в отдельных случаях 0,02 г/м³ [1, 2].

Теоретические основы адсорбции H₂S различными адсорбентами

Большинство промышленных адсорбционных процессов основано на избирательном поглощении отдельных компонентов из их смесей. Адсорбционная способность зависит от типа адсорбента, его пористой структуры, природы поглощаемого вещества, его парциального давления (или концентрации) и температуры [2–5].

В процессах адсорбционной очистки газов от сероводорода и его производных в качестве адсорбентов наибольшее применение нашли синтетические молекулярные сита или цеолиты. Цеолиты – синтетические или природные адсорбенты с регулярной структурой пор, представляющие собой алюмосиликаты натрия, калия и других элементов. Различают синтетические цеолиты типов А, X и Y. Кроме

того, цеолиты обладают катионообменными свойствами и являются хорошими катализаторами. Аллюмосиликаты широко распространены в природе (шабазит, ферроврит, морденит и т. д.), а также их легко получить искусственным путем. Промышленным способом производятся искусственные цеолиты марок KA, NaA, CaA, NaX, CaX. Первая часть марки фиксирует название катиона, вторая – тип структуры. Цеолиты типа А относятся к низкокремнистым формам, в них отношение SiO₂ : Al₂O₃ не превышает 2, а диаметр входного окна составляет 0,3–0,5 нм. В цеолитах типа X отношение SiO₂ : Al₂O₃ – 2,2–3,3, диаметр входного окна – 0,8–1 нм. Отношение SiO₂ : Al₂O₃ определяет кислотостойкость цеолитов.

Цеолит NaA адсорбирует компоненты с размером молекул, не превышающих 0,4 нм, – воду, сероводород, сероуглерод, оксид и диоксид углерода, метан, этан, этилен, метанол. Он не сорбирует пропан и органические соединения с числом атомов углерода более трех [4].

Цеолит NaA обладает достаточной адсорбционной емкостью почти во всем интервале парциальных давлений сероводорода и этилмеркаптана (табл. 1), причем поглощательная емкость составляет значительные величины даже при малом содержании сероводорода в газах. Высокая емкость цеолитов по серосодержащим соединениям обусловлена наличием сильного электростатического поля в адсорбционных полостях [5].

Таблица 1

Table 1

Адсорбционная способность цеолитов по H₂S, % масс.Adsorption capacity of zeolites at H₂S, % by weight

Цеолит	Температура, °С	Давление, кПа						
		0,07	0,13	0,33	1,33	6,65	13,30	33,25
NaA	25	3,6	4,7	6,4	9,5	12,8	14,0	15,0
	75	1,3	2,2	3,6	6,0	8,0	11,5	13,0
	150	0,6	0,9	1,4	2,5	5,0	7,5	9,0
CaA	25	3,0	4,8	6,8	10,0	13,6	15,0	16,2
	75	1,3	1,7	2,7	7,2	9,6	11,8	13,2
	150	0,3	0,4	0,7	2,2	4,3	5,5	7,4
NaX	25	2,8	4,0	7,5	10,5	14,5	16,0	16,2
	75	1,0	2,0	4,0	6,0	9,5	11,8	14,0
	150	0,0	0,2	1,3	2,0	5,5	6,2	9,2

Показателем поглотительной способности цеолитов является удельная поверхность (емкость) поглотителя. В литературе емкость адсорбентов, как правило, выражается величиной в граммах поглощенного вещества на 100 г адсорбента. Для цеолита NaX она составляет: $a = 6,8 \text{ г H}_2\text{S} / 100 \text{ г}$.

Объем газа, который содержит H_2S , в количестве, равном удельной емкости цеолита, определяется по выражению [4]:

$$V_r = a / c_{\text{H}_2\text{S}}, \quad (1)$$

где V_r – объем газа, поступающего на очистку, м^3 ; a – емкость адсорбента, $\text{г}/100 \text{ г}$; $c_{\text{H}_2\text{S}}$ – концентрация H_2S в очищаемом газе, $\text{г}/\text{м}^3$.

Количество H_2S , которое извлекается в адсорбере, определяют по выражению [4]:

$$Q_{\text{H}_2\text{S}} = Q_{\text{газ}} \cdot (C'_{\text{H}_2\text{S}} - C_{\text{вых. H}_2\text{S}}), \quad (2)$$

где $Q_{\text{H}_2\text{S}}$ – объем извлеченного H_2S , м^3 ; $Q_{\text{газ}}$ – объем газа, прошедшего через адсорбер, м^3 ; $C'_{\text{H}_2\text{S}}$, $C_{\text{вых. H}_2\text{S}}$ – концентрация H_2S в очищенном газе и в газе после очистки, мол. доля.

Кроме высокой адсорбционной способности по сероводороду цеолиты обладают еще одним свойством, имеющим первостепенное значение для производства – они селективно извлекают сероводород из его смесей с диоксидом углерода. Например, при мольном соотношении в газовой фазе $\text{H}_2\text{S} : \text{CO}_2 = 1 : 1$ адсорбированная фаза обогащается сероводородом до 90 мол. %. В процессе одновременной очистки газа от сероводорода и диоксида углерода в первый период происходит полное удаление обоих компонентов из газов, затем диоксид углерода в адсорбированной фазе начинает вытесняться сероводородом, вследствие чего его содержание в выходящем из адсорбера потоке газа резко возрастает и даже превосходит по содержанию диоксид углерода в исходном газе. В то же время сероводород продолжает количественно поглощаться вплоть до момента проскока.

В процессе физической адсорбции извлекаемые из газа сернистые компоненты не вступают в химическую связь между собой и адсорбентом. Поглощенные из газового потока сернистые соединения периодически или постоянно извлекаются из адсорбента за счет изменения термодинамических параметров (p , t), при которых упругость паров извлеченных компонентов в процессе регенерации адсорбента выше, чем в процессе очистки газа. При этом концентрация сероводорода в газе регенерации значительно выше, чем в газе, поступающем на очистку [5].

Несмотря на то, что цеолиты отличаются сравнительно высоким адсорбционным объемом, тем не менее максимальная массовая доля серо-

водорода, который может поглотить цеолит, не превышает 50 % [6]. Наличие в газе высоких концентраций тяжелых алифатических или ароматических углеводородов и других соединений, хорошо сорбируемых цеолитом, может оказать значительное влияние на величину адсорбционной емкости цеолита по сернистым соединениям. Наибольшее влияние на емкость цеолитов по сернистым соединениям оказывают пары воды. В случае очистки влажных углеводородных газов вода сорбируется в лобовых слоях цеолита, практически полностью вытесняя из пор сернистые соединения.

Высокая избирательность цеолитов NaX к H_2S в присутствии CO_2 , поглотительная способность к полярным соединениям (вода, сероводород, сернистый ангидрид, метанол, меркаптаны и др.) позволили разработать и реализовать в промышленности технологии обработки углеводородных природных газов, содержащих H_2S [5, 6]. К достоинствам этих технологий относятся: достаточная простота технологической схемы, высокая степень очистки газов от H_2S и одновременное извлечение из них воды и тяжелых углеводородов. Особенно благоприятной оказывается экономика процессов, когда существует необходимость совмещать осушку природного газа и его очистку от сернистых соединений [4]. Так, успешное применение нашла технология одновременной очистки газа от H_2S и его осушки на комбинированном слое силикагеля и цеолита NaX (или CaA) [6, 7]. Преимущества этой технологии состоят в меньшей (примерно в 1,9 раза) энергоемкости регенерации адсорбентов, исключении их «закоксовывания» при этом и увеличении (не менее чем в 4,5 раза) срока службы адсорбента.

Разработан и рекомендован к опытно-промышленной проверке процесс совместной осушки и сероочистки природного сернистого газа на адсорбционной установке Оренбургского газоперерабатывающего завода (ГПЗ) [8].

Газ, поступающий на установку осушки и отбензинивания Астраханского ГПЗ, характеризуется высокой насыщенностью водяными парами. Такая насыщенность объясняется спецификой применяемой на Астраханском ГПЗ технологии подготовки газа. Обессеренный газ после процесса абсорбции кислых газов водным раствором диэтанолamina содержит в себе влагу, остаточное количество сероводорода, а также достаточно большое количество адсорбента во время вспенивания последнего. Диэтаноламин (ДЭА) является ядом для адсорбента осушки газа и должен быть промыт водой в промывной колонне. Промытый газ проходит стадию осушки на цеолитах NaA в адсорберах установок осушки.

На основании вышеприведенного анализа научно-технической литературе может быть сделан вывод о принципиальной возможности доизвлечения сероводорода из обессеренного газа на установках адсорбционной осушки газа цеолитами NaA.

Анализ динамики содержания сероводорода в обессеренном и товарном газе за выбранный промежуток времени

По проекту очищенный от сероводорода газ с ус-

тановок сероочистки кислых газов поступает в общий газовый коллектор и подается на две полулинии установки осушки и отбензинивания газа (рис. 1) [1].

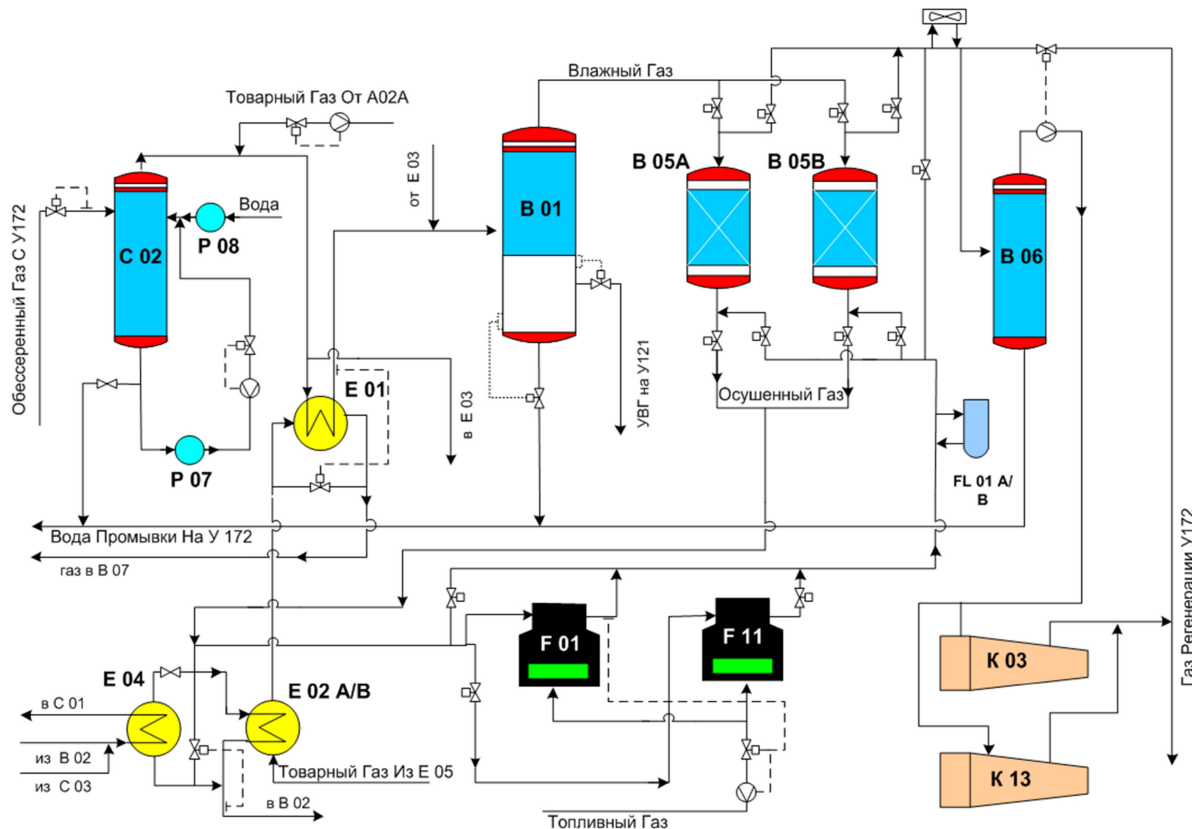


Рис. 1. Установка осушки и отбензинивания очищенного газа У 174/274 Астраханского ГПП филиала ООО «Газпром переработка» [1]

Fig. 1. Cleaned gas dehydration and stripping unit U 174/274 of Astrakhan GPP a branch of Gazprom Pererabotka LLC [1]

Обессеренный газ поступает с температурой не более 55 °С и давлением 5,8–6,3 МПа в нижнюю часть промывочной колонны С 02, где газ промывается от капель амина деминерализованной водой.

Для предотвращения чрезмерного насыщения воды аминами из буферной емкости насосами Р 08А/В непрерывно вводится свежая деминерализованная вода, подача которой осуществляется в линию промывочной воды после клапана. Балансовый избыток воды из С 02 выводится на установки сероочистки посредством автоматического регулятора.

Промытый газ выходит с верхней части колонны С 02 газ распределяется на два потока. Один поток газа поступает в трубное пространство теплообменника Е 01, где охлаждается до температуры не выше 25 °С обратным холодным потоком товарного газа. Второй поток проходит трубное пространство теплообменника Е 03, где охлаждается

до температуры не более 30 °С широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ).

После охлаждения газ смешивается и одним потоком поступает в трехфазный сепаратор В 01, где происходит отделение сконденсировавшейся воды и жидких углеводородов от газа. Вода из куба В 01 выводится на установку сероочистки, а жидкие углеводороды – на установку стабилизации конденсата.

Охлажденный до 25 °С газ проходит через каплеотбойную сетку в верхней части сепаратора и подается на осушку. Блок осушки включает в себя два адсорбера В 05А/В и печи F 01/11 для подогрева газа регенерации. Влажный обессеренный газ поступает в верхнюю часть адсорбера, проходит слой молекулярных сит NaA, пары воды адсорбируются до концентрации 0,0001 % об. Осушенный газ разделяется на два потока: основ-

ной поток подается в секцию отбензинивания, а другой поток – на регенерацию цеолитов NaA.

Регенерация молекулярных сит делится на две фазы: десорбция и охлаждение. Десорбция цеолитов длится 4 часа, охлаждение – не более 3,5 часа.

Газ регенерации после сепарации влаги и углеводородов поступает на установку сероочистки, в топливную сеть или на вход установки осушки и отбензинивания.

Основным продуктом установки осушки и отбензинивания газа является товарный газ, потребительские качества которого регламентированы отраслевым стандартом ОСТ 51.40-93 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам». Содержание серо-

водорода в товарном газе не может превышать 0,007 г/м³.

На технологической линии выхода обессеренного газа с установки очистки У 172 содержание сероводорода фиксируется с помощью газоанализатора А 02 с подачей на центральный пульт оператора. Ежедневно проводится аналитический контроль содержания сероводорода в товарном газе проводится с выдачей данных в Центральную операторную.

Анализ динамики содержания сероводорода в обессеренном и товарном газе проводился на основе аналитических данных и показаний выше-названных анализаторов. Данные приведены на рис. 2 и в табл. 2.

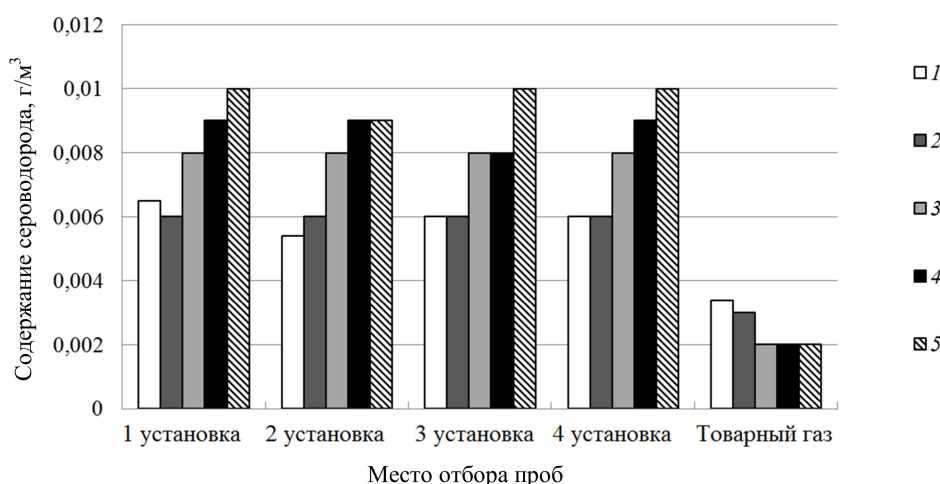


Рис. 2. Динамика содержания сероводорода, г/м³, в товарном и обессеренном газе за определенный период: 1–5 – номер отобранной пробы (пробы были отобраны в разный период)

Fig. 2. Dynamics of hydrogen sulfide content, g/m³, in commercial and desulfurized gas for a certain period: 1-5 – number of the sample taken (samples were taken in different periods)

Таблица 2

Table 2

Содержание сероводорода, г/м³, в материальных потоках установки осушки и отбензинивания газа № 1 (аналитические данные)

Hydrogen sulfide content, g/m³, in the material flows of the dehydration and dehydration unit Gas stripping No 1 (analytical data)

Параметр	Номер периода анализа данных (средние значения)				
	1	2	3	4	5
Газ очистки	0,005	0,004	0,012	0,01	0,012
Промытый газ	0,003	0,016	0,003	0,004	0,003
Осушенный газ	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003
Товарный газ	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
Газ регенерации	0,054	0,042	0,053	0,029	0,19
Технологическая вода на установку очистки	0,0014	0,0005	0,0056	0,0045	0,0013
Газ дегазации, % масс.	1,86	1,8156	0,5068	0,7796	–
Дегазированный конденсат, % масс.	0,0036	0,0021	0,0021	0,0012	–

В табл. 3 приведено содержание сероводорода в материальных потоках установки осушки и отбензинивания газа за период обследования установки, полученные расчетным методом.

Таблица 3

Table 3

Содержание сероводорода в материальных потоках установки осушки и отбензинивания газа по одной установке за 1–3 период обследования (расчетные данные)

Hydrogen sulfide content in the material flows of the gas dehydration and stripping unit one unit per 1-3 inspection period (calculated data)

Параметр	Период обследования								
	1			2			3		
	объем H ₂ S	концентрация H ₂ S, г/м ³	масса H ₂ S, кг/ч	объем H ₂ S	концентрация H ₂ S, г/м ³	масса H ₂ S, кг/ч	объем H ₂ S	концентрация H ₂ S, г/м ³	масса H ₂ S, кг/ч
Газ после очистки, тыс. м ³ /ч	274,38	0,008	2,195	267,02	0,004	1,068	257,24	0,012	3,087
Общее количество сероводорода, поступающего на установки У 274			2,195			1,068			3,087
Промытый газ, тыс. м ³ /ч	274,38	0,003	0,823	267,02	0,016	4,272	257,24	0,003	0,772
Осушенный газ, тыс. м ³ /ч	263,08	0,004	1,052	267,92	0,003	0,804	253,4	0,003	0,760
Товарный газ, тыс. м ³ /ч	249,65	0,003	0,749	251,92	0,002	0,504	229,92	0,002	0,460
ШФЛУ, тыс. м ³ /ч	46,37	0	0	25,92	0	0	40,59	0,0001	0,004
Технологическая вода на установке очистки, % масс. (м ³)	11,05	0,001	0,028	11,09	0,001	0,010			0,011
Углеродородный конденсат, м ³	0,3	0,003	0,761	0,3	0,002	0,554	0,3	0,002	0,307
Общее количество сероводорода, выводимое с установки осушки, без учета газа регенерации, кг/ч	1,538			1,068			0,782		
Количество сероводорода, оставшееся в процессе осушки и отбензинивания (в адсорбенте и газе регенерации), кг/ч	0,657			0,001			2,305		
% расхождения	29,951			0,037			74,658		

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что средние данные по содержанию сероводорода в товарном газе гораздо ниже этих же показателей в газе после установок очистки газа от кислых компонентов.

Некоторый разброс численного содержания сероводорода в обессеренном газе объясняется нестабильной работой установок сероочистки.

Статистический анализ показателей контроля ка-

чества товарного газа за 2001–2006 гг. показывает, что содержание сероводорода в нем, в независимости от его содержания в обессеренном газе, поступающем на установку осушки и отбензинивания газа, остается стабильным.

Этот факт, а также практика использования цеолитов в качестве адсорбентов для очистки газов от сероводорода, убедительно свидетельствует о том,

что в адсорбере В 05 происходит не только осушка газа на цеолитовых адсорбентах типа NaA, но и активная адсорбция сероводорода.

Из данных рис. 2 наглядно видно изменение содержания H_2S по технологической цепочке обессеренный газ – товарный газ. Таким образом, статистический анализ показателей контроля качества товарного газа за выбранный период показывает, что содержание сероводорода в нем стабильно и в 1,5–2 раза ниже содержания сероводорода в обессеренном газе, поступающем на установки осушки и отбензинивания.

Приведенные в табл. 3 расчетные данные полностью коррелируются с данными как аналитического характера, так и с данными автоматического контроля качества товарного газа по содержанию сероводорода.

Заключение

Анализ научно-технических исследований по вопросу адсорбции сероводорода цеолитами показал, что цеолит NaA обладает высокой сорбционной способностью по отношению к сероводороду в условиях его малой концентрации в газах. В присутствии водяных паров цеолит NaA способен адсорбировать не более 50 % содержащегося в газе

сероводорода.

Статистический анализ содержания сероводорода в обессеренном и товарном газе за период изучения данных показал, что независимо от содержания сероводорода в обессеренном газе в пределах 0,003–0,012 г/м³ в товарном газе содержание сероводорода не превышает 0,003–0,002 г/м³. Эти данные не противоречат требованиям отраслевого стандарта ОСТ 51.40-93 «Газы горючие природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным газопроводам. Технические условия», по требованию которого содержание сероводорода в товарном газе не должно превышать 0,007 г/м³ или в особых случаях 0,02 г/м³.

Изучение содержания сероводорода в различных потоках установки осушки газа показало, что на промежуточных этапах процесса осушки газа больше всего сероводорода содержится в газе регенерации (начало цикла регенерации), что свидетельствует о прохождении одновременно процессов адсорбции сероводорода и осушки газа на цеолитах NaA. Прохождение одновременно процессов адсорбции сероводорода и осушки газа на цеолитах NaA по литературным данным приводит к снижению адсорбционной способности адсорбента и уменьшению его срока службы до 2–2,5 лет.

Список источников

1. ООО «Газпром добыча Астрахань». Технический справочник по Астраханскому газовому комплексу / под ред.: Г. С. Пономарева, М. М. Баранова. Астрахань: Нова, 2017. 189 с.
2. Тараканов Г. В. Технология переработки природного газа и газового конденсата на Астраханском газоперерабатывающем заводе: учеб. пособие. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2013. 148 с.
3. Тараканов Г. В., Мановян А. К. Основы технологии переработки природного газа и конденсата / под ред.: Г. В. Тараканова. Изд. 2, перераб. и доп. Астрахань: Изд-во АГТУ, 2010. 192 с.
4. Потехин В. М. Химия и технология углеводородных газов и газового конденсата: учеб. 4-е изд., испр. СПб.: Лань, 2022. 712 с.
5. Кинди А. Дж., Парриш У. З., Маккартни Д. Основы переработки природного газа / перевод 2-го изд. под

- ред. О. П. Лыкова, И. А. Голубевой. СПб.: Профессия, 2014. 664 с.
6. Переработка природного и попутного газа: информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. URL: <https://burondt.ru/files/ProjectFiles/ProjectFile1726.pdf> (дата обращения: 08.10.2024).
7. Молчанов С. А. Разработка процесса осушки и очистки природного сернистого газа силикагелем и цеолитом: дис. ... канд. техн. наук. М., 2001. 101 с.
8. Калименеева О. А., Кириллова Г. В. Подбор и испытание новых эффективных адсорбентов на предприятиях ООО «Газпром добыча Оренбург». URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podbor-i-ispytanie-novyh-effektivnyh-adsorbentov-na-predpriyatiyah-ooo-gazprom-dobycha-orenburg> (дата обращения: 17.09.2024).

References

1. ООО «Gazprom dobycha Astrahan'». *Tehnicheskij spravochnik po Astrahanskomu gazovomu kompleksu* [Gazprom Dobycha Astrakhan LLC. Technical guide to the Astrakhan gas complex] / pod redakciej: G. S. Ponomareva, M. M. Baranova. Astrahan', Nova Publ., 2017. 189 p.
2. Tarakanov G. V. *Tehnologija pererabotki prirodnogo gaza i gazovogo kondensata na Astrahanskom gazopererabatyvajushhem zavode: uchebnoe posobie* [The technology of processing natural gas and gas condensate at the Astrakhan Gas Processing Plant: textbook]. Astrahan', Izd-vo AGTU, 2013. 148 p.
3. Tarakanov G. V., Manovjan A. K. *Osnovy tehnologii pererabotki prirodnogo gaza i kondensata* [Fundamentals of natural gas and condensate processing technology] / pod

- redakciej: G. V. Tarakanova. Izd. 2, pererab. i dop. Astrahan', Izd-vo AGTU, 2010. 192 p.
4. Potehin V. M. *Himija i tehnologija uglevodородnyh gazov i gazovogo kondensata: uchebnik* [Chemistry and technology of hydrocarbon gases and gas condensate: textbook]. 4-e izd., ispr. Saint Peterburg, Lan' Publ., 2022. 712 p.
5. Kindi A. Dzh., Parrish U. Z., Makkartni D. *Osnovy pererabotki prirodnogo gaza* [Fundamentals of natural gas processing] / perevod 2-go izdaniya pod redakciej O. P. Lykova, I. A. Golubevoj. Saint Peterburg, Professija Publ., 2014. 664 p.
6. *Pererabotka prirodnogo i poputnogo gaza: informacionno-tehnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tehnologijam* [Processing of natural and associated gas: an

information and technical guide to the best available technologies]. Available at: <https://burondt.ru/files/ProjectFiles/ProjectFile1726.pdf> (accessed: 08.10.2024).

7. Molchanov S. A. *Razrabotka processa osushki i ochistki prirodnogo sernistogo gaza silikagelem i ceolitom: dissertacija ... kandidata tehniceskikh nauk* [Development of the process of drying and purification of natural sulfur dioxide with silica gel and zeolite: dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 2001. 101 p.

8. Kalimeneeva O. A., Kirillova G. V. *Podbor i ispytanie novyh jeffektivnyh adsorbentov na predpriyatijah OOO «Gazprom dobycha Orenburg»* [Selection and testing of new effective adsorbents at the enterprises of Gazprom Dobycha Orenburg LLC]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/podbor-i-ispytanie-novyh-jeffektivnyh-adsorbentov-na-predpriyatijah-ooo-gazprom-dobycha-orenburg> (accessed: 17.09.2024).

Статья поступила в редакцию 05.09.2024; одобрена после рецензирования 21.10.2024; принята к публикации 08.11.2024
The article was submitted 05.09.2024; approved after reviewing 21.10.2024; accepted for publication 08.11.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Дария Алексеевна Чудиевич – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; dchudoral@gmail.com

Dariy A. Chudievich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; dchudoral@gmail.com

Ирина Владимировна Савенкова – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; sirvht@mail.ru

Irina V. Savenkova – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; sirvht@mail.ru

Вера Борисовна Петрова – магистрант кафедры химической технологии переработки нефти и газа; Астраханский государственный технический университет; petrovaverab@mail.ru

Vera B. Petrova – Master's Course Student of the Department of Chemical Technology of Oil and Gas Refining; Astrakhan State Technical University; petrovaverab@mail.ru

