

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛИКАГЕЛЯ И ЦЕОЛИТА ПРИ АДсорбЦИОННОЙ ОСУШКЕ ГАЗА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ МЕДВЕЖЬЕ**  
Трухачев М.С.

Научный руководитель доцент Л.В. Шишмина

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Месторождение Медвежье – одно из крупнейших месторождений России по запасам природного газа. С момента ввода в эксплуатацию в 1972 году по 2015 год было отобрано около 80 % от установленных запасов природного газа сеноманских залежей. В тоже время геологическая изученность ниже- и вышележащих отложений низка. При разбуривании вышележащих сеноманских отложений проявлялись косвенные признаки наличия газогидратов. При бурении разведочных скважин достичь неоксомских отложений удалось лишь с пятой попытки, а отложения ачимовской и тюменской свиты до настоящего времени не изучены. На 2022–2023 год запланировано продолжить разведочное бурение для доизучения глубинных отложений и изучения сеноманских залежей [1].

Месторождение находится на завершающей стадии разработки и характеризуется высокой обводненностью добываемой продукции и значительным снижением энергетических характеристик пласта. При снижении давления сырого газа повышается его влагосодержание. Совокупность указанных факторов диктует требование к повышению качества осушки природного газа для подачи в сеть магистральных газопроводов. В промышленности для осушки природных газов применяются следующие типы адсорбентов: силикагель, цеолиты и активированный оксид алюминия. Наиболее распространен в применении – силикагель, обладает сильно развитой структурой пор. Силикагель производится в виде гранул, шариков, таблеток прозрачные или матовые, бесцветные или светло-коричневого цвета. Оксид алюминия применяется наряду с цеолитами и силикагелями благодаря следующим достоинствам: доступность сырья для производства, легкость изготовления, термодинамическая стабильность. Цеолиты представляют собой структуры алюмосиликатов, содержащих включения щелочных и щелочноземельных металлов. Цеолиты характеризуются строго регулярной структурой пор. Адсорбироваться цеолитами могут не все вещества, а только те молекулы, критический диаметр которых меньше входного окна структуры цеолита. Если задачей является только осушка газа, то рекомендуется [5] использовать цеолит NaA. Если наряду с осушкой газа ставится задача извлечения тяжелых углеводородов, тогда следует использовать цеолит NaX.

В цехе (ГП) № 1 месторождения Медвежье адсорберы заполнены послойно. Первым по ходу движения газа расположен слой муллита или его заменителя уралита для распределения потока газа по всей площади адсорбера. Вторым слоем расположен слой крупнопористого силикагеля, предназначенного для защиты последующего слоя мелкопористого силикагеля от капельной влаги. Слой мелкопористого силикагеля предназначен непосредственно для поглощения влаги. Последним слоем расположен муллит или уралит, для распределения газа регенерации по всей площади адсорбера.

Целью работы является определение технологической эффективности применения силикагеля и цеолита при адсорбционной осушке природного газа месторождения Медвежье в период падающей добычи.

Состав газа представлен в таблице 1.

*Таблица 1*

*Компонентный состав природного газа месторождения Медвежье [5]*

Компонент	Содержание, % об.	Компонент	Содержание, % об.
Метан	97,37-99,68	Изопентан	менее 0,0001
Этан	0,08-0,096	Норм. пентан	менее 0,0001
Пропан	менее 0,0003	Углекислый газ	0,02-0,68
Изобутан	менее 0,00025	Азот	0,08-1,2
Норм. бутан	менее 0,00025	Гелий	0,005-0,21
Неопентан	0,00126-0,00145	Аргон	0,68-1,92

В настоящее время на месторождении эксплуатируется шесть установок комплексной подготовки газа, две из которых – адсорбционные, остальные – абсорбционные. Оборудование адсорбционных установок запущено в работу с начала разработки месторождения. Для сравнения технологических показателей адсорбционных установок с различными типами адсорбентов был проведен расчет адсорберов по методике Танатарова [7] и уточнен по [4] при следующих параметрах: давление в адсорбере – 2 МПа; температура адсорбции 10 °С; объёмный расход осушаемого газа –  $2 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup>/сут; плотность газа при рабочих условиях – 14,47 кг/м<sup>3</sup>; вязкость газа –  $103,5 \cdot 10^{-7}$  Па·с; длительность цикла адсорбции 10 ч; относительная влажность газа – 100 %. Отметим, что при расчетах принято допущение о полном удалении воды из потока газа.

Исходя из максимально допустимой скорости газа в адсорбере, был рассчитан его диаметр – 1,5 м. Обычно высоту слоя адсорбента принимают в 2 – 5 раз больше диаметра аппарата [3]. В работе приняли высоту слоя адсорбента в два раза больше диаметра, т. е. 3 метра.

Сравнение результатов расчета технологических параметров адсорбционной установки представлено в таблице 2. Важным критерием возможности применения цеолита и силикагеля, в качестве адсорбента для осушки природного газа, является превышение прочности адсорбента на раздавливание над давлением, оказываемым на нижние гранулы в слое адсорбента. Так, значение давления на нижние гранулы около 22 кПа (табл. 2), при этом прочность гранул цеолита и силикагеля на раздавливание составляет 7 МПа [6].

Таблица 2

Результаты расчета технологических параметров адсорбционной установки для различных адсорбентов

Параметры	Единицы измерения	Силикагель	Цеолит
Допустимая линейная скорость газа в адсорбере	м/мин	0,86	0,69
Длительность цикла адсорбции	ч	10	10
Число циклов осушки в сутки	–	2,4	2,4
Диаметр адсорбера	м	1,5	1,5
Линейная скорость газа в свободном сечении	м/мин	0,68	0,68
Удельная нагрузка слоя по воде	кг/(м <sup>2</sup> ·ч)	25,9	25,9
Принятая высота слоя адсорбента	м	3	3
Минимально необходимая высота слоя адсорбента	м	2,10	2,92
Продолжительность работы слоя до проскока влаги	ч	14,26	10,28
Давление, больше которого должна быть прочность адсорбента на раздавливание	Па	21 980,6	22 322,2
Масса адсорбента	кг	4 239	3 709
Стоимость адсорбента	тыс. руб.	2 246,67	2 143,87

Из-за высокой адсорбционной способности цеолитов при низкой влажности газа относительно других адсорбентов, цеолит в заданных условиях потребовал большей высоты слоя адсорбента – 2,92 м – при прочих равных условиях в сравнении с силикагелем мелкопористым – 2,1 м (табл. 2). Силикагель же, напротив, обладает высокой адсорбционной способностью при высокой влажности газа [2]. Технологическая эффективность применения силикагеля обусловлена меньшей минимальной высотой слоя адсорбента и большим временем работы слоя до проскока влаги – 14,26 часов (табл. 2).

Ещё одним фактором в пользу применения силикагеля является температура регенерации – до 200°C, в сравнении с цеолитом, требующем температуры регенерации порядка 300 – 350 °C.

Для экономической оценки приняты цены компании SORBIS GROUP [6]: 53 тыс. рублей за центнер силикагеля мелкопористого и 57,8 тыс. рублей за центнер цеолита NaA.

При использовании силикагеля мелкопористого в качестве адсорбента возможно уменьшить высоту слоя адсорбента из-за того, что принятая высота слоя больше минимально необходимой. При снижении высоты слоя силикагеля до 2,2 метров, что все еще будет превышать минимальную высоту слоя, время работы слоя до проскока влаги будет составлять 10,06 часа, что практически соответствует принятому времени цикла адсорбции. Масса адсорбента составит 3 108,6 кг и его стоимость уменьшится до 1 647,56 тыс. рублей.

Таким образом, показано, что в условиях высокой влажности газа при адсорбционной осушке природного газа предпочтительнее использовать силикагель.

#### Литература

1. Ахмедсафин С.К., Рыбальченко В.В. Новая жизнь Медвежье. 50 лет с начала разработки первого газового гиганта Западной Сибири // Газовая промышленность. 2022. – №2 (833). – С. 58 – 68.
2. Балыбердина И. Т. Физические методы переработки и использование газа: Учебник для Вузов. – Недра, 1988.
3. Гвоздев, Б. П. Осушка природного газа твердыми сорбентами - Москва: [ВНИИЭгазпром], 1975. – 51 с.
4. Кемпбел Д. М. Очистка и переработка природных газов // М.: Недра. – 1977. – Т. 349.
5. Мурин В. И. и др. Технология переработки природного газа и конденсата. Справочник: В 2 ч // М.: ООО «Недра-Бизнесцентр. – 2002. – С. 517.
6. Продукция: сорбенты и продукты на их основе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sorbis-group.com/products/products.php> (дата обращения: 23.02.2023).
7. Танатаров М. А., Ахметшина М. Н. Технологические расчеты установок переработки нефти. – Рипол Классик, 1987.
8. Тер-Саркисов Р. М. Разработка месторождений природных газов. – 1999.