

ПОДБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СПГ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ ASPEN HYSYS

И.А. Банчу, Д.Ш. Измайлова, Л.В. Шишмина, П.Н. Зятиков
Томский политехнический университет
E-mail: shik.igor.95@mail.ru

Введение

В настоящее время обезвоживание газа является одним из основных технологических процессов подготовки природного газа для трубопроводного транспорта и производства сжиженного природного газа (СПГ). Одним из способов обезвоживания газа является адсорбционная дегидратация, так как при транспортировке газа образуются гидраты в технологических трубопроводах и сосудах при производстве СПГ [1]. Поэтому вопрос об эффективном обезвоживании газа остается актуальным. Отложения гидрата в трубопроводах и резервуарах уменьшают их внутренние размеры, увеличивают гидравлическое сопротивление, что приводит к дополнительному потреблению энергии и эксплуатационным расходам, а иногда и к аварийным остановам [3].

Поэтому целью нашей работы являлось сравнительная оценка силикагеля типа KSMG и цеолита типа NaA-BS (типа 4A) и определение оптимальной температуры и давления адсорбции природного обезвоживания газа с целью повышения его эффективности при обработке природного газа для сжижения.

Сравнительная оценка силикагеля и цеолита для дегидратации природного газа

Давление процесса дегидратации не влияет на адсорбционную активность адсорбентов, поэтому давление определяется сжижение единицы давления. Однако температура процесса адсорбции оказывает существенное влияние на эффективность процесса [2]. Для сравнения свойств адсорбентов рассматривается сушильная установка с давлением газа на входе 4,5 МПа. Температура входящего газового потока составляет 20 °С. Свойства адсорбентов, производимых катализаторной установкой в Салавате, представлены в таблице.

Таблица. Физические и химические свойства силикагеля KSMG и гранулированного цеолита NaA-BS

Размер гранул по среднему диаметру	Объем пор	Объемная плотность
4,5 мм	0,40 см ³ /г	0,85 г/см ³
4,5 ± 0,5 мм	0,38 см ³ /г	0,82 г/см ³

В этих термобарических условиях содержание влаги в природном газе составляет 30,44 мг/м³. Был проведен эксперимент по изучению влияния температуры на равновесную активность выбранных адсорбентов. Образец адсорбента

помещали в U-образную трубку, а трубку - в термостат. Температура внутри термостата изменялась с плюс 20 до минус 20 °С с шагом 5 °С. Воздух, насыщенный водяным паром, пропускали через образец адсорбента на каждом этапе изменения температуры. Пробирку с образцом адсорбента взвешивали перед экспериментом и после достижения равновесия. Адсорбционную активность образца рассчитывали по уравнению:

$$a_t = (G_s - G_0) \cdot G_0^{-1} \quad (1)$$

где a_t - равновесная адсорбционная активность образца при температуре t ; G_s - вес образца в равновесном состоянии (г); G_0 - масса образца перед пропуском насыщенного воздуха через адсорбент (г).

Зависимость адсорбентов KSMG и NaA-BS от равновесной адсорбционной активности от температуры при давлении 4,5 Мпа и с учетом производительности установки обезвоживания - 300 т/ч, количество удаляемой влаги - 30,44 мг/Нм³, время стадии адсорбции - 24 ч. показана на рисунке 1. Можно заметить, что при снижении температуры от 20 °С до минус 20 °С силикагель активность увеличивается с 4 до 6,7 %_{масс.}, в то время как активность цеолита увеличивается с 16 до 27,8 %_{масс.}

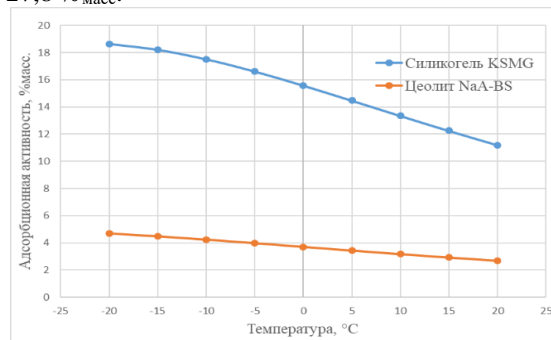


Рис. 1. Зависимость адсорбента от равновесной адсорбционной активности от температуры при давлении 4,5 Мпа

Согласно результатам расчетов, при температуре минус 20°С количество силикагеля KSMG в 1,66 раза меньше, чем при температуре 20°С, количество цеолита NaA-BS в 1,74 раза меньше при таком же изменении температуры. В то же время количество цеолита NaA-BS по сравнению с силикагелем KSMG примерно в 4 раза меньше. Уменьшение требуемой массы заряда адсорбента для данной степени сушки газа позволяет уменьшить размер адсорберов и, следовательно, уменьшить интенсивность стали и стоимость адсорбера. Это означает, что процесс

низкотемпературной адсорбции с цеолитом может повысить эффективность дегидратации газа.

Термодинамические расчеты в программной среде Aspen HYSYS

Для упрощения расчетов были сделаны следующие допущения:

- чистый метан был взят в качестве исходного потока;
- гидравлическое сопротивление теплообменников и теплообмен с окружающей средой не учитывались.

Технологический вариант низкотемпературного обезвоживания обеспечивает охлаждение газа в цикле предварительного охлаждения на рисунке 2 и имеет некоторые особенности. Размещение блока дегидратации между циклом предварительного охлаждения и циклом сжижения может вызвать образование гидратов, поскольку температура газового потока на этой стадии может варьироваться от минус 30 °С до минус 80 °С из-за ведения технологического процесса.

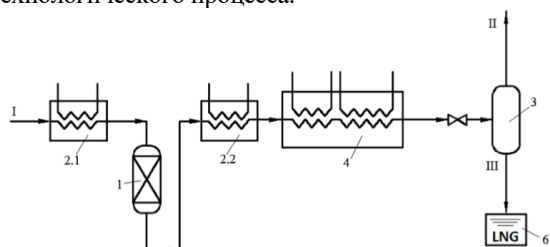


Рис. 2. Схема охлаждения природного газа перед блоком дегидратации (I - природный газ; II - паровой газ; III - СПГ; 1 - блок адсорбционной сушки; 2 - блок предварительного охлаждения; 3 - сепаратор; 4 - установка для сжижения; 6 - резервуар для хранения СПГ)

Как правило, циклы предварительного охлаждения, независимо от состава хладагента, являются многоступенчатыми, поэтому эффективность использования энергии увеличивается. Чтобы выбрать оптимальную температуру процесса низкотемпературной адсорбции, можно разместить установку для дегидратации между отдельными стадиями цикла предварительного охлаждения.

Влияние низкотемпературного процесса адсорбции при понижении температуры показано на рисунке 3. Изменения основных параметров устройства представлены в виде функции:

$$\varphi(t) = 1 - (A_t \cdot A_{20}^{-1}) \quad (2)$$

где A_t - значение параметра при температуре t ; A_{20} - значение параметра при 20 °С.

В качестве параметров установки дегидратации были выбраны следующие параметры:

- масса загруженного адсорбента;
- масса адсорбера;
- расход регенерационного газа;
- расход газа на охлаждение адсорбера;
- расход топливного газа для нагрева регенерационного газа в печи.

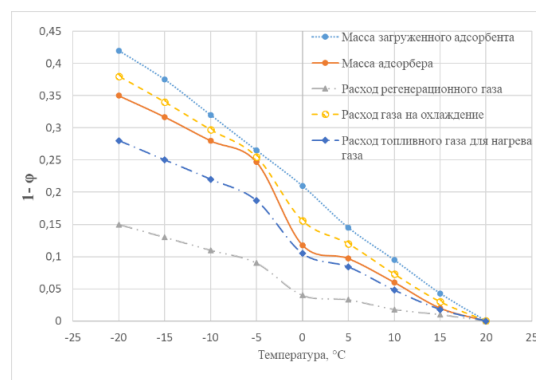


Рис. 3. Зависимость параметров установки обезвоживания от температуры

Таким образом, снижение температуры природного газа, поступающего в блок адсорбционной сушки, позволяет снизить массу загруженного адсорбента, массу адсорбера, расход регенерационного газа и расход охлаждающего газа, а также снизить расход топливного газа. Следовательно, размещение адсорбционной сушильной установки между стадиями цикла предварительного охлаждения без дополнительных затрат энергии на охлаждение потока природного газа может существенно снизить как капитальные, так и эксплуатационные затраты на обезвоживание газа при производстве СПГ.

Заключение

Было показано, что снижение температуры природного газа перед дегидратацией уменьшает массу загруженного адсорбента, массу адсорбера, расход газа регенерации, охлаждающих газов и топливного газа для нагрева газа регенерации. Рекомендовано размещение установки обезвоживания после стадии предварительного охлаждения с целью снижения капитальных и эксплуатационных расходов на дегидратацию газа. Полученные результаты важны при проектировании и модернизации технологических процессов производства СПГ.

Список использованных источников

1. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии СПГ: технологии и оборудование / Е.Б. Федорова; под. общ. ред. Е.Б. Федорова. – М.: Российский гос. университет нефти и газа им. Губкина (НИУ), 2011–159 с.
2. Федорова Е.Б., Мельников В.Б. Особенности переработки природного газа при производстве СПГ / Е.Б. Федорова, В.Б. Мельников; под. общ. ред. Е.Б. Федорова. – М.: Российский гос. университет нефти и газа им. Губкина (НИУ), 2015–114 с.
3. Мельников В.Б. Коммерческий сбор и переработка газа и газового конденсата. Учебник. / В.Б. Мельников; под. общ. ред. В.Б. Мельникова. – М.: Российский гос. университет нефти и газа им. Губкина (НИУ), 2017–464 с.