

УДК 621.59.01

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ПОДГОТОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА К ОЖИЖЕНИЮ

Ивашин А.А. (Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

Научный руководитель – д.т.н. проф. Баранов А.Ю. (Университет ИТМО, Санкт-Петербург)

На сегодняшний день сектор СПГ является одним из самых динамично развивающихся в энергетической отрасли. Мировое потребление сжиженного природного газа ежегодно растет. Перед тем как природный газ станет жидкостью, из него удаляются нежелательные компоненты. В связи с этим подготовка газа к сжижению является очень важной операцией при производстве СПГ.

Процесс сжижения природного газа накладывает существенные ограничения на состав газа. Для предотвращения эксплуатационных проблем в криогенных установках (закупоривание теплообменников из-за образования льда и газогидратов вследствие замерзания воды или углекислого газа, разъедание ртутью алюминиевых частей оборудования, коррозия оборудования) ограничивается концентрация следующих веществ:

- влага - 1 ppmv (одна объемная часть воды на миллион);
- углекислый газ - 50 ppmv;
- ртуть - 10 нг/м³ (10⁻⁹ г/м³).

Для удовлетворения коммерческих спецификаций меркаптаны удаляют так, что содержание серы не должно превышать 30 мг/м³, а содержание сероводорода в газе должно быть снижено до 4 ppmv.

Для удаления из природного газа кислых примесей существует ряд технологий:

- регенеративная абсорбция физическими и химическими сорбентами;
- регенеративная адсорбция;
- отделение кислых газов на мембранах;
- нерегенеративные методы.

Абсорбционные процессы очистки природного газа от кислых компонентов остаются экономически наиболее эффективными для крупнотоннажного производства СПГ. Существует множество разновидностей этих процессов, объединенных в три группы:

1. процессы химической абсорбции;
2. процессы физической абсорбции;
3. процессы с физико-химическими и смешанными сорбентами.

В процессах химической абсорбции кислые газы вступают с поглотителем в химическую реакцию. Таким образом, сорбенты взаимодействуют с сероводородом, углекислым газом и, в некоторой степени, с серооксидом углерода с образованием водорастворимой соли и воды. Меркаптаны и органические соединения серы извлекаются из потока природного газа в меньшей степени в связи с тем, что меркаптаны слабо растворимы в данных сорбентах, а соединения серы не вступают в химическую реакцию с сорбентами.

Для извлечения кислых газов из промышленных газовых потоков широко применяются методы химической абсорбции, основанные на применении сорбентов. Наиболее распространены так называемые этаноламины или аминоспирты. Это вещества, в которых соединены две структурные группы – спиртовая группа, которая позволяет этим веществам легко растворяться в воде, и аминогруппу, которая обеспечивает поглощающую способность этих веществ по отношению к кислым газам. Исходя из структуры строения аминоспиртов их подразделяют на 3 группы: первичные, вторичные и третичные. Такая классификация основана на оценке количества атомов углерода, находящихся в связанном с атомами азота состоянии, т.е. на строении аминогруппы.

Очистку газовых потоков от кислых газов водными растворами аминоспиртов относят к хемосорбции и эта очистка основана на реализации нескольких реакций. Одним из

промежуточных продуктов взаимодействия углекислого газа с аминспиртами является образование карбамата, который ухудшает процесс абсорбционного извлечения кислых газов из газовых потоков, например, из потока природного газа, потому что плохо поддается регенерации и способствует развитию коррозии технологических аппаратов.

Одной из технологических проблем эксплуатации аминовых блоков очистки от кислых газов является вспенивание абсорбента в технологических колоннах. Вспенивание приводит к резкому ухудшению извлечения кислых газов из основного потока и, как правило, возникает в абсорбере, а в дальнейшем может распространиться и на десорбер. Образование пены резко увеличивает гидравлическое сопротивление аппаратов и ухудшает условия очистки потоков от жидкости. Основной причиной пенообразования является загрязнение амина, поэтому технология очистки с использованием аминспиртов обязательно предполагает периодическую и систематическую очистку абсорбента от механических и химических примесей, а также периодическое пополнение запаса абсорбента в технологическом аппарате. При разработке технологии аминовой очистки необходимо предусмотреть периодическую очистку и промывку аппаратов от накопившегося при их эксплуатации шлама, который будет накапливаться в нижних частях абсорбера и десорбера. Кроме того, часть шлама оседает в фильтрах, которые необходимо очищать. Также в последнее время рекомендуется использование специальных веществ – пеногасителей, которые растворяются в основном абсорбенте в незначительных концентрациях.

Основные затраты в цикле связаны с работой теплообменника-нагревателя регенерируемого абсорбента. Температура нагрева по разным источникам составляет от 110 до 125 °С. Раствор МЭА в воде как правило имеет концентрацию 15-20%. Давление абсорбции определяется технологическими требованиями, в частности давлением прямого потока газа, а давление десорбции определяется технологией дальнейшей переработки образовавшегося потока кислых газов и может выбираться в широких пределах.

Полученные на основании произведенных расчетов данные дают подробное представление об энергетических и материальных потоках в реально действующей установке, а также позволяет оценить затраты энергии на реализацию технологии. По факту энергия затрачивается только в двух местах – в нагревателе чистого амина, где подогрев может осуществляться как за счет электронагревателя, так и за счет подвода теплоты от других источников, а также в насосе, который нагнетает жидкость через рекуперативный теплообменник для того, чтобы поднять давление абсорбента до уровня давления основного потока. Используя эти данные была рассчитана суммарная затрачиваемая электрическая и тепловая мощность.

По результатам расчетов видно, что основные затраты энергии – это затраты на регенерацию абсорбента и для рассматриваемого случая они достигают гигантской величины (около 14 МВт). На этом фоне электрическая мощность привода насоса незначительна. Используя эти данные были просчитаны и удельные затраты электрической и тепловой мощности на реализацию технологии.

Получено, что затраты электрической мощности пренебрежимо малы и составляют менее 1 Вт час/м³. А тепловая мощность более существенна, но также значительно меньше затрат энергии на ожижение и составляет 0,016 КВт час/м³. Полученные результаты будут использованы для последующей оценки полных затрат энергии на подготовку магистрального природного газа к ожижению.