

Зартдинов А.Ю.,

студент,

Тюменского индустриального университета

2 курс, факультет «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых

месторождений»

Нефтегазовый институт

Россия, г. Тюмень

АНАЛИЗ РАСЧЁТА ПРОЦЕССА ДЕСОРБЦИИ ПРИ АБСОРБЦИОННОЙ ОСУШКЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА

***Аннотация:** В статье рассмотрены основные подходы к расчёту процесса десорбции воды из растворов гликолей в установках абсорбционной осушки природного газа. Описаны термодинамические и кинетические критерии, используемые для оценки равновесия между жидкой и паровой фазами, методы определения массового потока испаряющейся воды, общий коэффициент массопереноса и энергетические потребности регенератора. Даны рекомендации по практической оптимизации процесса и оценке погрешностей расчёта.*

***Ключевые слова:** десорбция, абсорбционная осушка, диэтиленгликоль, регенерация, массоперенос, теплообмен, общий коэффициент массопереноса.*

***Annotation:** This article examines the main approaches to calculating the process of water desorption from glycol solutions in natural gas absorption dehydration units. It describes the thermodynamic and kinetic criteria used to assess the equilibrium between the liquid and vapor phases, methods for determining the mass flow of evaporating water, the overall mass transfer coefficient, and the energy requirements of the regenerator. Recommendations for practical process optimization and estimation of calculation errors are provided.*

Key words: *desorption, absorption drying, diethylene glycol, regeneration, mass transfer, heat exchange, overall mass transfer coefficient.*

Абсорбционная осушка природного газа с использованием гликолей (обычно TEG, DEG) — широко распространённый промышленный метод доведения газа до товарных кондиций по точке росы. Насытка абсорбента влагой на абсорбере требует регулярной регенерации (десорбции) в регенераторной колонне: вода отгоняется нагревом при пониженном давлении или с подачей теплоносителя/стриппинг газа. Точный расчёт процесса десорбции необходим для определения размеров колонны/насадки, потребной тепловой мощности и оценки уноса абсорбента. Статья систематизирует расчётные подходы и подчеркивает практические аспекты.

Термо-равновесные основы десорбции.

Равновесие между жидкой (раствор гликоля с водой) и паровой фазой описывается зависимостью парциального давления воды над раствором (1):

$$p_w = a_w \cdot p_w^{sat(T)}, \quad (1)$$

где a_w — активность воды в растворе (функция концентрации гликоля и температуры), $p_w^{sat(T)}$ — давление насыщенного пара воды при температуре T . Для концентрированных гликолевых растворов a_w существенно меньше единицы; для точного расчёта используются экспериментальные данные или модели активности (NRTL, UNIQUAC, UNIFAC). При проектировании регенератора практически используются таблицы равновесия «влажностное содержание гликоля — точка росы/влажность газа при заданной T ».

Критически важны два режима:

- Пикировый режим отгонки под вакуумом: снижение давления уменьшает необходимую температурную энергию для испарения воды.
- Атмосферный/низковакуумный режим с повышенной температурой: ограничен температурой термической стабильности гликоля (для ДЭГ ≈ 160 – 165 °C).

Кинетика и массоперенос.

Десорбция — процесс массопереноса, который описывается локальными коэффициентами переноса в жидкой (K_L) и паровой (K_G) фазах и общим коэффициентом K (2) [1]:

$$j = K_G \cdot (p_w - p'_w) = K_L \cdot (c_L - c'_L),$$

где p'_w и c'_L — равновесные значения парциального давления и концентрации воды соответственно. Приведение коэффициентов (3)

$$\frac{1}{K_G} = \frac{1}{K_G} + \frac{H}{K_L}, \quad (3)$$

где H — фактор превращения (связь между концентрацией и парциальным давлением). В колоннах массообменных характеристик описывают через НЕТР или число теоретических ступеней N_T , определяемое площадной диаграммой (равновесие — рабочая линия, метод Трейнора).

Коэффициенты K_L и K_G получают из эмпирических корреляций (Re–Sc–Sh) для конкретного типа насадки/тарелок. НЕТР (высота эквивалента теоретической тарелки) зависит от скорости газа и жидкости, свойств насадки и концентрации абсорбента.

Энергетический баланс регенератора.

Тепловая нагрузка регенератора рассчитывается как сумма тепла, необходимого для [2]:

- нагрева НДЭГ от входной до температуры отпарки;
- парообразования испаряемой воды;
- компенсации потерь тепла и нагрева сопутствующих потоков (теплообменники, утечки).

Последовательность проектно-расчётных операций.

1. Задать исходные параметры: расход газа G , давление P , температура T , входная и требуемая влажность газа (g/m^3 или ppmv), тип гликоля и начальная концентрация X .

2. На основе равновесных данных определить количество воды,

подлежащее отгонке.

3. Оценить необходимый расход регенерированного гликоля для достижения требуемой степени дегидратации, используя равновесные кривые и баланс массового переноса (N_T , HETP).

4. Определить общий коэффициент массопереноса и HETP, применив эмпирические корреляции для выбранной насадки/тарелок и рабочих скоростей; рассчитать высоту насадки.

5. Рассчитать тепловую потребность Q регенератора с учётом рекуперации тепла (рекуперативный теплообменник РДЭГ–НДЭГ), паровых потерь, эффективности печи и вакуумных насосов.

6. Оценить унос гликоля и подобрать систему сепарации (сепараторы, фильтры, патроны) и очистки (гидроциклоны, сорбция).

Влияние ключевых факторов.

- Давление: понижение давления вверху колонны облегчает десорбцию, но повышает потребность в вакуумном оборудовании.

- Температура: рост температуры увеличивает $p_w^{sat(T)}$ и скорость десорбции, но ограничена стабильностью ДЭГ (разложение начинается ≈ 164 °C) [3].

- Концентрация абсорбента: более концентрированный ДЭГ увеличивает способность поглощать влагу, но требует более интенсивной регенерации.

- Гидравлический режим: увеличение скорости газа повышает массовый перенос до определённого предела, но увеличивает унос гликоля и гидравлическое сопротивление.

- Стриппинг-газ или пар: ввод стриппинг газа (например, сухого газа или пара) может уменьшить требуемую температуру и время регенерации.

Практические рекомендации и оценка неопределённости.

- Использовать экспериментально полученные равновесные кривые для конкретного состава гликоля и присутствующих примесей (метанол, соли,

органические примеси), так как модели активности могут давать погрешность.

- Применять рекуперацию тепла (рекуперативный теплообменник) для уменьшения расхода топлива/энергии.
- Проектировать эффективные сепараторы и системы очистки (гидроциклоны, фильтрация) перед регенератором, чтобы снизить засорение фильтр-патронов и унос абсорбента.
- Учесть деградацию гликоля и образование кислот при высоких температурах; контролировать состав РДЭГ и обеспечивать систему очистки/подпитки.
- Выполнять чувствительный анализ (вариации P , T , G , X) для оценки диапазона рабочих режимов и резервов безопасности.

Расчёт процесса десорбции при абсорбционной осушке природного газа — многопараметрическая задача, сочетающая термодинамические модели равновесия, кинетику массопереноса и тепловой баланс регенератора. Для надёжного проектирования необходимы точные равновесные данные для конкретного абсорбента и состава газа, эмпирические корреляции массопереноса для выбранного оборудования и учёт эксплуатационных факторов (загрязнения, унос, деградация абсорбента). Практические меры — улучшение предварительной сепарации, усиленная рекуперация тепла и контроль рабочих режимов — позволяют существенно снизить энергозатраты и потери абсорбента, повышая экономическую и экологическую эффективность установки.

Использованные источники:

1. Кузнецов А. А., Судаков Е. Н. Расчёты основных процессов аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. – М.: Химия, – 1983. – 224с., ил.
2. Атауллаев Ш.Н., Тиллоев Л.И., Халимов А.А. Анализ технологии глубокой осушки газа с применением растворов гликолей // журнал «Теория и

практика современной науки» - 2019.

3. Шумский Н.М., Грынив О.Б., Шумская К.А. Основные способы осушки газа // журнал «Молодой ученный». – 2023.