

Пикулин Юрий Георгиевич

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

г. Москва

К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ КАРБОНИЗОВАННОГО АБСОРБЕНТА

***Аннотация:** показано влияние температуры на энергозатраты процесса регенерации хемосорбента, приведено полученное автором уравнение для расчёта температуры кипения карбонизованного водного раствора моноэтаноламина (МЭА), которое можно использовать при расчёте энергозатрат на процесс регенерации хемосорбента, применяемого для очистки промышленных газов от диоксида углерода. Выполнена практическая оценка погрешности вычисления температуры кипения раствора в широком диапазоне изменения входящих в него параметров.*

***Ключевые слова:** расчёт температуры кипения, водный раствор, карбонизованный раствор, расход теплоты, оптимизация.*

В работе [1] приведено уравнение для расчёта интегральных затрат теплоты на стадию регенерации хемосорбента (из уравнения теплового баланса процесса):

$$Q = Q_{\text{дес}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{отд}} + Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{дес}}$ – теплота реакции десорбции CO_2 (численно равна теплоте абсорбции ΔH); $Q_{\text{н}}$ – теплота для подогрева раствора до температуры начала регенерации; $Q_{\text{отд}}$ – теплота, затраченная на образование отдувочного водяного пара, при десорбции CO_2 ; $Q_{\text{п}}$ – тепловые потери в окружающую среду (как правило, не более 5%).

Для сокращения расхода теплоты и снижения стоимости очистки в промышленных условиях стремятся возможно полнее рекуперировать теплоту регенерированного раствора, выделенного диоксида углерода и водяного пара. Тепловые потери в окружающую среду снижают за счёт теплоизоляции аппаратуры и

коммуникаций. Обычно проводят расчёт, используя удельную теплоту (в расчёте на $1 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$), которая определяется следующим образом [1]:

$$q = q_{\text{дес}} + q_{\text{н}} + q_{\text{отд}} = \Delta H + (C_p \cdot \Delta t_{\text{кип}}) / \Delta x + r_2 \cdot \Phi_2, \quad (2)$$

где ΔH – теплота химической реакции растворения диоксида углерода, $\Delta t_{\text{кип}}$ – разность температур кипения (например, водного раствора МЭА) при степенях карбонизации на выходе из регенератора и на входе в него, соответственно; C_p – теплоёмкость раствора абсорбента, Δx – абсорбционная ёмкость раствора, r_2 – теплота парообразования воды при условиях выхода раствора абсорбента из регенератора, т.е. при максимальной температуре, Φ_2 – флегмовое число.

Чем выше давление регенерации, тем больше температура кипения раствора. Её увеличение целесообразно, когда теплота десорбции газа выше теплоты испарения растворителя. В этом случае при возрастании температуры кипения уменьшается флегмовое число, ввиду скорейшего роста давления газа над раствором по сравнению с давлением паров растворителя. Поэтому в отличие от многих процессов физической абсорбции и хемосорбции, в этом случае целесообразно повышать давление в регенераторе, что позволяет полнее регенерировать раствор.

Чем выше концентрация CO_2 в абсорбенте на входе регенератор x_1 , тем меньше циркуляции раствора и, следовательно, ниже расход теплоты на нагрев. Но, при степени карбонизации $\alpha_1 > 0,5$ скорость химической реакции резко снижается, а равновесное давление возрастает. К тому же при высокой степени насыщения раствора диоксидом углерода необходимо учитывать возможное увеличение скоростей побочных реакций и коррозии.

Повышение концентрации хемосорбента при одинаковой степени карбонизации приводит к росту равновесного давления CO_2 над раствором (или при заданном P_{CO_2} – к уменьшению α). Однако увеличивается абсолютная поглощательная способность раствора. Поэтому, увеличивая концентрацию МЭА, можно уменьшить циркуляцию раствора вследствие повышения его поглощательной

способности (или абсорбционной ёмкости) Δx и, следовательно, снизить расход теплоты на нагрев $q_H = C_p \cdot \Delta t_{\text{кип}} / \Delta x$. Кроме того, несколько уменьшается флегмовое число.

Проанализировав три слагаемых в уравнении (2), можно видеть, что нельзя не учитывать три параметра процесса: давление, температура проведения процесса, концентрация хемосорбента в водном растворе. Особенно влияет изменение температуры – практически на каждую составляющую уравнения (2). Для вычисления температуры кипения водного раствора МЭА было предложено уравнение

$$T_{\text{кип}} = 10^{(2,654 + 1,376 \cdot 10^{-4} \cdot X_{\text{МЭА}}) P^{0,01368} - \alpha^{A\alpha+B}} \quad (3)$$

где $A = 9 - 0,004 \cdot P^{-1,857} - 0,154 \cdot X_{\text{МЭА}}$;

$$B = \frac{P}{(0,782 - 0,01213 \cdot X_{\text{МЭА}}) P + 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot X_{\text{МЭА}} - 0,0483} - 1,621 \cdot P^2$$

Выполненная впоследствии оценка погрешности вычисления температуры кипения водного раствора МЭА в диапазоне изменения параметров

$$0 < \alpha < 0,55 \text{ моль/моль,}$$

$$0,1 \leq P \leq 0,5 \text{ МПа,}$$

$$15 \leq X_{\text{МЭА}} \leq 30\% \text{ масс.}$$

по отношению к значениям, приведённым в [1] показало точность ± 1 градус, что вполне достаточно для выполнения оценочных расчётов теплотрат для процесса абсорбции (стадия регенерации хемосорбента) диоксида углерода из промышленного газа.

Список литературы

1. Очистка технологических газов / Под ред. Т.А. Семеновской и И.Л. Лейтеса. – М.: Химия, 1977. – 488 с.
2. Регенерация абсорбента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studwood.ru/1805855/tovarovedenie/regener>