

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Джамалудинов Рустам Гасан-Кадиевич*

аспирант

ФГБОУ ВПО «Московский государственный

машиностроительный университет»

младший программист

ООО БИТ «Основа Бизнеса»

г. Москва

*Пикулин Юрий Георгиевич*

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Московский государственный

машиностроительный университет»

г. Москва

### ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА РЕГЕНЕРАЦИИ ХЕМОСОРБЕНТА

*Аннотация:* в отечественной промышленности наибольшее распространение получили процессы хемосорбционной очистки от диоксида углерода растворами моноэтаноламина (МЭА). Для очистки от диоксида углерода применяют водный раствор МЭА с концентрацией активного компонента до 20% массовых. Растворы более высокой концентрации использовать нецелесообразно по следующим причинам: резко усиливается коррозия оборудования, возрастают потери растворителя, увеличивается вязкость раствора. При МЭА очистке основные энергозатраты связаны с расходом теплоты на регенерацию абсорбента. При исследованиях была использована однопоточная циркуляционная установка очистки газа от диоксида углерода с применением хемосорбентов для сокращения объема циркулирующего раствора. В результате проделанной работы было получено уравнение для расчета количества десорбированного диоксида углерода в зависимости от параметров процесса регенерации.

**Ключевые слова:** энергоэффективность, регенерация, хемосорбент, моноэтаноламин, энергозатраты, расход.

Целью работы является разработка метода расчета процесса регенерации хемосорбента и рекомендаций по снижению приведенных затрат на стадии очистки промышленных газов от диоксида углерода.

Преимуществом циркуляционных методов является снижение расхода абсорбента. Однако при этом мы получаем возрастающий расход энергии и усложнение аппаратурно-технологическое оформление. На рис.1 представлена технологическая схема однопоточной циркуляционной установки очистки газа от диоксида углерода. Применение хемосорбентов позволяет сократить объем циркулирующего раствора.

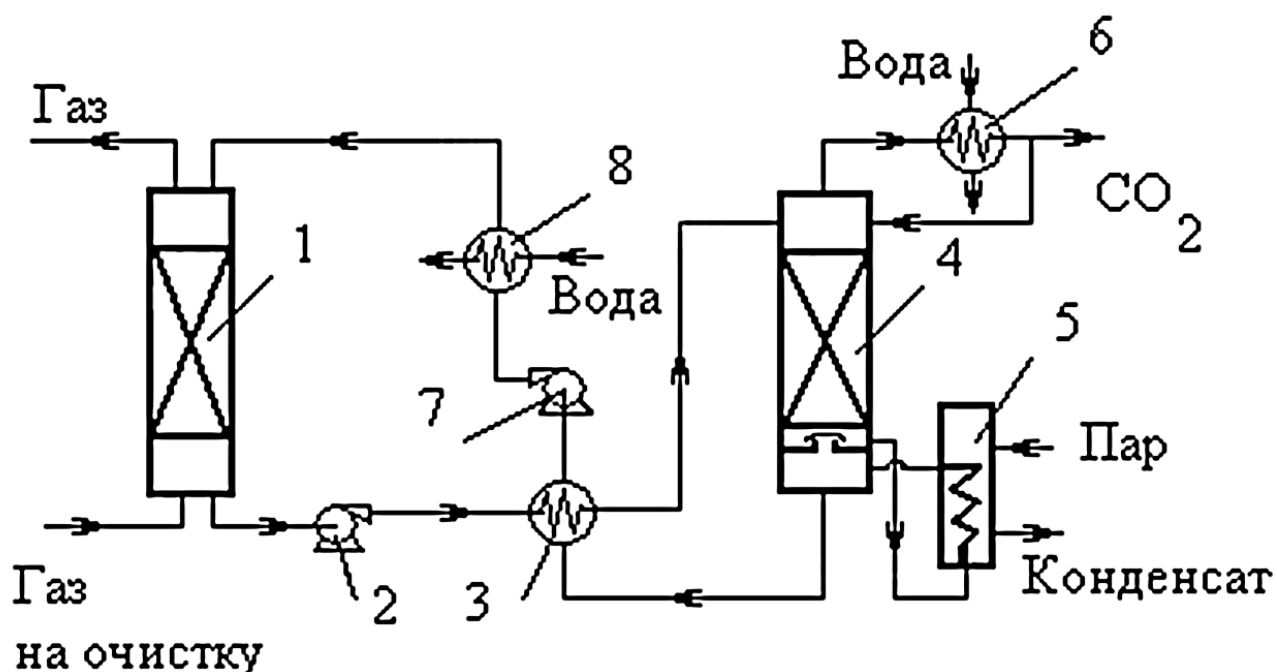
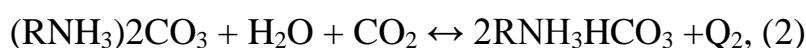
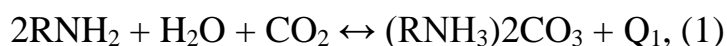


Рис.1. Схема однопоточной циркуляционной установки:

1 – абсорбер 2,7 – насосы 3 – теплообменник 4 – регенератор

5 – кипятильник 6 – дефлегматор 8 – холодильник

Поглощение CO<sub>2</sub> с помощью хемосорбента, например, моноэтанолamina (МЭА) сопровождается протеканием обратимых химических реакций:



**Научные исследования: от теории к практике**

Для регенерации необходимо количество теплоты, которое можно определить из уравнения теплового баланса:

$$Q = Q_{\text{дес}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{отд}} \quad (3)$$

где  $Q_{\text{дес}}$  – теплота, необходимая для десорбции  $\text{CO}_2$  (численно равная теплоте абсорбции  $\Delta H$ ),  $Q_{\text{н}}$  – теплота, необходимая для нагревания раствора до температуры регенерации,  $Q_{\text{отд}}$  – теплота, затраченная на образование отдувочного пара при отгонке  $\text{CO}_2$ .

Тепловые потери в балансе не указаны, т.к. они снижаются за счет теплоизоляции применяемой аппаратуры и коммуникаций.

Количество десорбированного  $\text{CO}_2$  из раствора хемосорбента может быть определено следующим образом:

$$G = L \cdot (X_1 - X_2) \quad (4)$$

где  $L$  – расход раствора,  $X_1$  и  $X_2$  – концентрация  $\text{CO}_2$  в растворе на входе и выходе из регенератора.

Разделив и левую и правую часть уравнения (3) на  $G$ , получим удельные величины, соответственно, десорбции  $-q_{\text{дес}}$ , нагревания раствора  $-q_{\text{н}}$  и отдувки  $-q_{\text{отд}}$ . И тогда уравнение (3) можно записать в виде:

$$q = q_{\text{дес}} + q_{\text{н}} + q_{\text{отд}} = \Delta H + \frac{C_p \cdot \Delta t_{\text{кип}}}{\Delta X} + r_2 \Phi_2 \quad (5)$$

где  $C_p$  – теплоёмкость раствора,  $\Delta X$  – абсорбционная ёмкость раствора,  $\Delta t_{\text{кип}}$  – разность температур кипения раствора на выходе и входе в аппаратуру,  $r_2, \Phi_2$  – теплота парообразования воды и флегмовое число при температуре регенерации соответственно.

Предварительный анализ зависимости  $Q$  от параметров процесса, таких как температура, давление, расход раствора показывает, что практически при увеличении каждого из перечисленных параметров происходит пропорциональное увеличение расхода теплоты. С целью проведения оптимизации энергоёмкости процесса регенерации раствора по тепловым затратам была выполнена обработка ранее полученных экспериментальных данных на опытно-промышленной

установке, схема которой приведена на рис.1. Было получено уравнение для расчета количества десорбированного  $\text{CO}_2$  от параметров процесса регенерации:

$$G = 1,02 \cdot \left( 18,07 \cdot \frac{L}{L_0} + 184 \cdot \frac{t_p}{t_0} - 210,8 \right) \cdot \left( \frac{P_p}{P_0} \right)^{\left( 0,847 - 0,294 \cdot \frac{L}{L_0} - 1,496 \cdot \frac{t_p}{t_0} \right)} \quad (6)$$

где  $\frac{L}{L_0}$ ;  $\frac{P_p}{P_0}$ ;  $\frac{t_p}{t_0}$  относительные безразмерные величины;

$t_p, t_0$  – температура регенерации и стандартная температура, соответственно;

$P_p, P_0$  – давление регенерации и стандартное давление, соответственно;

Обработка выполнена методом наименьших квадратов, коэффициент корреляции составляет 0,968.

Работоспособность и применимость уравнения (6) проиллюстрирована на рис.2 (при  $t_p=115 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и рис.3 ( $t_p=120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) с приведением отдельных экспериментальных значений.

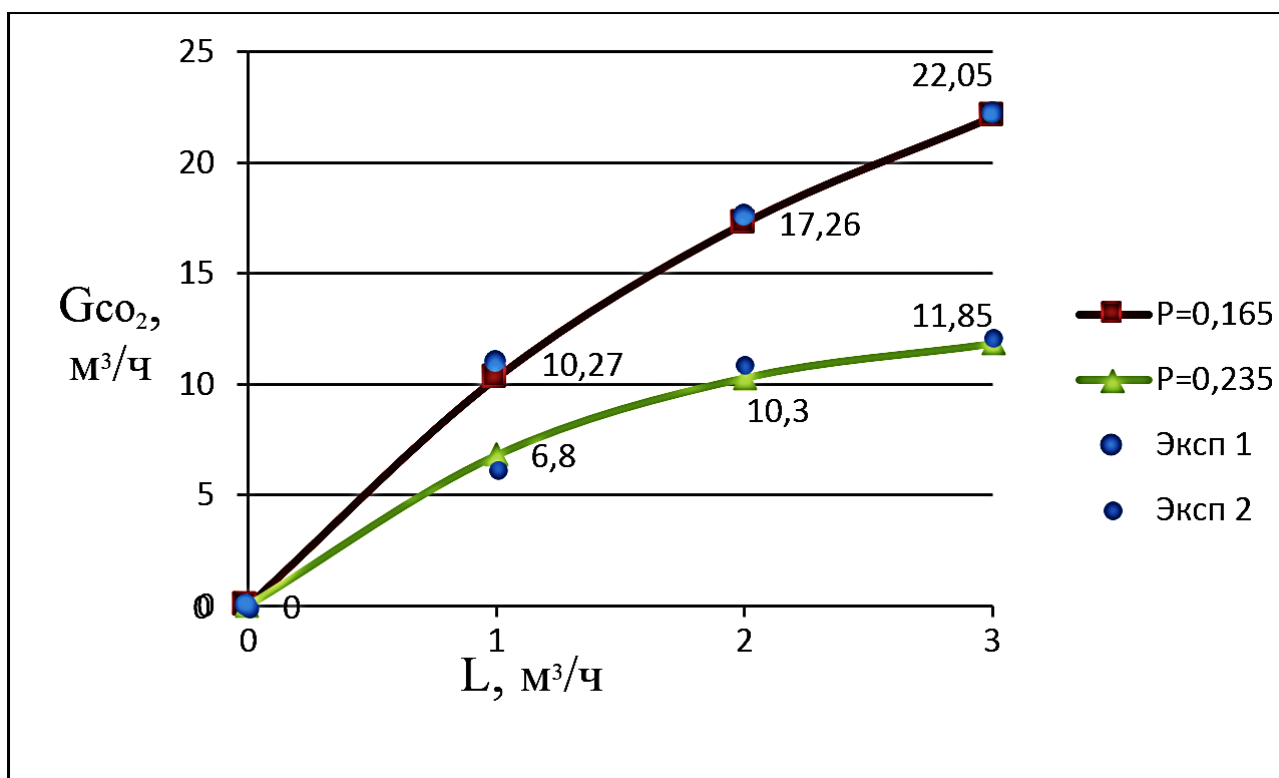


Рис.2

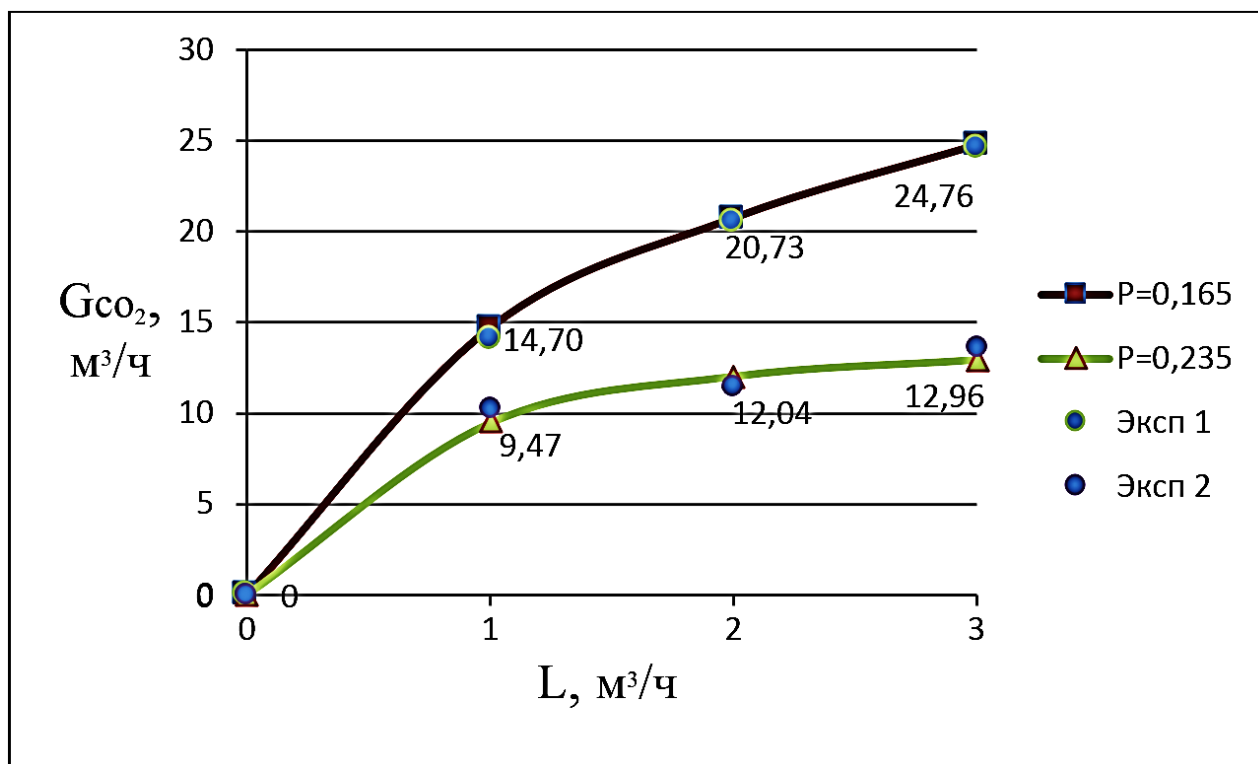


Рис.3

Расчеты проводились с использованием пакета программ LabVIEW 2012.

Таким образом, в результате выполненной обработки экспериментальных данных для опытно-промышленной установки получено уравнение для расчета количества десорбированного  $\text{CO}_2$ , что позволяет рассмотреть зависимости удельных затрат теплоты от каждого параметра технологического процесса в отдельности.

### *Список литературы*

1. Жаворонков Н.М. Роль фундаментальных исследований в развитии химической технологии //ТОХТ, 1972. – №5, т.6. – С. 659-674.
2. Семенов В.П., Воротилина З.И., Сосна М.Х. Новые исследования и разработки энергосберегающих схем крупнотоннажных агрегатов производства аммиака //Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, 1987. – т.32. – №4. – С. 388-391.
3. Слинько М.Г. Моделирование химических реакторов. – Новосибирск: Наука, 1968. – 255 с.
4. Семенова Т.А., Лейтес И.Л., Харьковская К.И. Маркина М.И., Сергеев С.П. Очистка технологических газов. – М.: Химия, 1969. – С.322.

5. Подвигайлова И.Г., Зейналов Б.К., Кругликов А.А. Растворимость CO<sub>2</sub> в органических растворителях // Химическая промышленность, 1970. – №5. – С. 338-339.

6. Клатер С.Д., Шкаяр Р.Л., Василин В.И. Химическая промышленность // ТОХТ, 1967. – №8. – С. 50.

7. Рант К.Т. Анализ химико-технологических систем // Химическая промышленность, 1956. – С. 27.