

16. Wollf R.L., Combe N.A. Accurate determination of trans 18:1 isomers by capillary gas-liquid chromatography on cyanoalkyl polysiloxane stationary phases // *Oleagineux, corps gras, lipids*. – 1998. – Vol. 5. – № 4. – P. 295–300.

17. Sedman J., Van de Voort F.R., Ismail A.A. Simultaneous determination of iodine value and trans content of fats and oils by single bounce horizontal attenuated total reflectance FT-IR spectroscopy // *J. of American Oil Chemistry Society*. – 2000. – Vol. 77. – № 4. – P. 399–403.

18. Li H., Sedman J., Van de Voort F. R., Ismail A. A. Rapid determination of cis and trans content, iodine value, and saponification number of edible oils by FT-NIR spectroscopy // *J. of American Oil Chemistry Society*. – 1999. – 76. – № 4. – P. 491–497.

19. Moya-Moreno M. C., Mendosa-Olivares D. Determination of unsaturated grade and trans-isomers generated during thermal oxidation of edible oils and fats by FT-IR spectroscopy // 24<sup>th</sup> European Congress Molecular Spectroscopy, 1998. – Prague: Bertran. – 1998. – P. 138.

20. Bertran E., Blanco M., Coello F. Determination of olive oil free fatty acid by FT-IR spectroscopy. – *J. Journal of American Oil Chemistry Society*. – 1999. – Vol. 76. – № 5. – P. 611–616.

УДК 66.073.7

В.Н. Фарафонов, доцент

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОЛИЧЕСТВА ВОДЯНОГО ПАРА НА РЕГЕНЕРАЦИЮ АКТИВНОГО УГЛЯ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ВРЕДНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

The technique is intended for calculation of quantity water pair on regeneration of a sorbent and an estimation of power expenses for realization of this process.

В качестве поглотителей органических растворителей широко используются углеродные сорбенты. Для многократного их использования необходимо проводить регенерацию, которая может быть осуществлена водяным паром.

Настоящая работа посвящена определению теоретического количества водяного пара для регенерации активного угля.

Методика основана на использовании теплового баланса процесса регенерации, который может быть представлен следующим выражением:

$$Q_p = Q_n + Q_d + Q_{\text{п}}, \quad (1)$$

где  $Q_p$  – теплота регенерации, кДж;  $Q_n$  – теплота на нагрев сорбента, кДж;  $Q_d$  – теплота десорбции адсорбтива, кДж;  $Q_{\text{п}}$  – потеря теплоты в окружающую среду, кДж.

Рассмотрим расходную часть теплового баланса.

Теплота, затрачиваемая на нагрев сорбента, определяется по формуле

$$Q_n = m_c \cdot C_p \cdot (t_k - t_n), \quad (2)$$

где  $m_c$  – масса сорбента, кг;  $C_p$  – массовая теплоемкость сорбента, кДж/кг;  $t_k$ ,  $t_n$  – конечная и начальная температуры сорбента, °С.

Теплота десорбции находится из выражения

$$Q_d = m_a \cdot h_d, \quad (3)$$

где  $m_a$  – масса поглощенного адсорбтива, кг;  $h_d$  – теплота десорбции, кДж/кг.

Массу поглощенного адсорбтива можно определить по формуле

$$m_a = c \cdot V \cdot \tau \cdot \eta, \quad (4)$$

где  $c$  – концентрация адсорбтива в воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $\tau$  – время адсорбции, ч;  $\eta$  – степень очистки воздуха.

Теплоту адсорбции определяем по известной изотерме адсорбции, используя теорию объемного заполнения Дубинина – Астахова [1].

При этом принимаем, что теплота адсорбции равна теплоте десорбции.

Потери теплоты в окружающую среду через слой изоляции осуществляются за счет теплопроводности, и для вычисления их используем уравнение

$$Q_n = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t'_{ст} - t''_{ст}), \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/мК;  $\delta$  – толщина слоя изоляции, м;  $F$  – поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>;  $t'_{ст}$  и  $t''_{ст}$  – температуры внутренней и наружной поверхностей слоя изоляции, °С.

Для расчета тепловых потерь определим толщину изоляции при условии равенства тепловых потоков за счет теплопроводности и конвекции в установившемся стационарном режиме:

$$\frac{\lambda}{\delta} \cdot (t'_{ст} - t''_{ст}) = \alpha(t''_{ст} - t_b), \quad (6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup> К;  $t_b$  – температура окружающего воздуха, °С.

Охлаждение наружной поверхности аппарата осуществляется за счет свободной конвекции, следовательно, для определения  $\alpha$  можно воспользоваться критериальным уравнением, которое для воздуха имеет вид [2]

$$Nu_{ж} = C \cdot (Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^n, \quad (7)$$

где  $Nu_{ж}$ ,  $Gr_{ж}$ ,  $Pr_{ж}$  – числа подобия;  $C$  и  $n$  – коэффициенты.

Определив число  $Nu_{ж}$ , находим коэффициент теплоотдачи из выражения

$$\alpha = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda}{l}, \quad (8)$$

где  $l$  – геометрический размер, м.

Задаваясь температурой наружной поверхности слоя изоляции  $t''_{ст}$ , из выражения (6) вычисляем  $\delta$ .

Приходная часть теплового баланса состоит из теплоты перегретого пара  $Q_{п.п}$  и теплоты его конденсации  $Q_k$ :

$$Q_p = Q_{п.п} + Q_k, \quad (9)$$

которые определяем по формулам:

$$Q_{п.п} = G_{п.п} \cdot h_{п.п}, \quad (10)$$

$$Q_k = G_{п.п} \cdot r, \quad (11)$$

где  $h_{п.п}$  – удельная энтальпия перегретого пара, кДж/кг;  $r$  – теплота парообразования, кДж/кг. Следовательно, пользуясь выражениями (1), (10) и (11), можно определить количество перегретого пара на регенерацию заданного количества сорбента.

В качестве примера определим количество перегретого пара на регенерацию активного угля AP-B, применяемого для поглощения этилацетата на установке, описанной в работе [3].

Исходные данные для расчетов следующие. Расход воздуха в аппарате  $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , концентрация этилацетата  $350 \text{ мг}/\text{м}^3$ , степень очистки  $0,95$ , теплота адсорбции его на AP-B составляет  $18,3 \text{ кДж}/\text{моль}$ , или  $208 \text{ кДж}/\text{кг}$ , температура перегретого пара  $110^\circ\text{C}$ , температура сорбента в процессе регенерации  $100^\circ\text{C}$ , температура наружной поверхности слоя стекловаты  $t''_{ст} = 30^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $t_b = 20^\circ\text{C}$ , поверхность аппарата  $2,2 \text{ м}^2$ , высота аппарата  $0,5 \text{ м}$ , регенерация осуществляется при атмосферном давлении. Теплофизические свойства адсорбента, воздуха и водяного пара взяты из [2, 4].

По выражению (2) находим

$$Q_H = 30 \cdot 1,31 \cdot (100 - 20) = 3144 \text{ кДж}.$$

Массу поглощенного этилацетата определяем по (4):

$$m_a = 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 35 \cdot 0,95 = 3,5 \text{ кг},$$

тогда  $Q_d = 3,5 \cdot 208 = 624 \text{ кДж}$ .

Потери теплоты вычисляем по (5)–(8):

$$Nu_{ж} = 0,75 \cdot (1,84 \cdot 10^8 \cdot 0,703)^{0,25} = 80.$$

$$\text{Следовательно, } \alpha = \frac{80 \cdot 2,593 \cdot 10^{-2}}{0,5} = 4,2 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К},$$

а толщина изоляции

$$\delta = \frac{\lambda(t'_{ст} - t''_{ст})}{\alpha(t''_{ст} - t_b)} = \frac{0,0372 \cdot (100 - 30)}{4,2 \cdot (30 - 20)} = 6,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Отсюда потери теплоты

$$Q_{п} = \frac{0,0372}{6,2 \cdot 10^{-2}} \cdot 2,2 \cdot 70 = 92,4 \text{ кДж}.$$

Подвод теплоты на регенерацию находим из выражений (10), (11):

$$Q_{п.п} = G_{п.п} \cdot 2700,$$

$$Q_k = G_{п.п} \cdot 2258,2.$$

Тогда из (1) находим теоретическое количество пара на регенерацию AP-B:

$$G_{\text{п.п}} = \frac{3144 + 624 + 92,4}{2700 + 2258,2} = \frac{3860,4}{4958,2} = 0,78 \text{ кг.}$$

Анализ проведенных расчетов показал, что основные затраты энергии идут на нагрев сорбента. Потери тепла в окружающую среду незначительны, и ими можно пренебрегать.

Следовательно, предлагаемая методика позволяет производить расчет необходимого количества водяного пара и оценить энергетические затраты на процесс регенерации углеродных сорбентов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинин М.М. Микропористые структуры углеродных сорбентов. В кн.: Адсорбция в микропорах. – М.: Наука, 1983.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977.
3. Исследование процесса очистки газообразующих выбросов от органических растворителей на активных углях /В.Н. Фарафонов, И.С. Елинсон, А.В. Кашинский, Л.И. Титова//Труды БГТУ. Сер. химии и химической технологии. – Минск, 1998. – Вып. VI. – С.115 – 117.
4. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. – М.: Энергия, 1980.

УДК 676.064.1

Н.В. Жолнерович, мл. науч. сотрудник; Н.В. Черная, доцент; Г.М. Горский, профессор

#### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЛЕЕННЫХ ВИДОВ БУМАГИ ИЗ МАКУЛАТУРЫ**

Comparative estimation of efficiency of operating of polyelectrolytes by effecting the glued kinds of a paper from waste-paper.

Известно [1–2], что на стратегию использования полиэлектролитов при производстве клееных видов бумаги и картона доминирующее влияние оказывает их флокулирующая активность. Она зависит от степени полимеризации и диссоциации полимера и наличия в нем активных ионогенных групп. Эффективность применения полиэлектролитов определяется степенью удержания волокна в структуре бумажного листа при одновременном сохранении гидрофобных и улучшении прочностных показателей качества бумаги и картона, состоящих из различных видов волокнистых полуфабрикатов.

Для производства высококачественных видов бумаги и картона широко используются различные виды целлюлозы. Однако в Республике Беларусь большинство предприятий в качестве волокнистых полуфабрикатов используют макулатуру. Применение вторичного сырья вызывает загрязнение оборотных и сточных вод мелким волокном (мельштоффом). Поэтому для комплексного решения проблем, направленных на стабилизацию качественных показателей клееных видов бумаги и картона и одновременное повышение удержания мельштоффа в их структуре, целесообразно использовать полиэлектролиты.