

УДК 66.047:54641-36

**ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ СУШКИ ИЗВЕСТКОВОГО
ХИМИЧЕСКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ПОДЛОЖКЕ**

М.П. Вихляева^{1,2}, С.И. Дворецкий²

*ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов (1);
кафедра «Технологии продовольственных продуктов»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (2); Arhimar@yandex.ru*

Ключевые слова и фразы: диоксид углерода; хемосорбент; химический поглотитель; энергозатраты; энергосбережение.

Аннотация: Исследованы различные способы сушки опытных образцов известкового химического поглотителя на подложке. Проведены сравнительные расчеты по количеству энергозатрат и коэффициента полезного действия для каждого вида сушки. Произведен выбор способа сушки известкового хемосорбента.

Введение

Химические поглотители (хемосорбенты) диоксида углерода на основе гидрата оксида кальция применяются на предприятиях химической промышленности для удаления диоксида углерода из выхлопных газов, а также в устройствах для регенерации и кондиционирования воздуха. В России более 40 лет производится химический поглотитель известковый (ХП-И) из гидрата оксида кальция и гидрата оксида натрия в форме гранул. За рубежом аналогом ХП-И являются следующие марки известкового поглотителя: Sodalime, Baralyme, Carbolime, Sodasorb, Spherasorb, Sofnolime, Dragorsorb, Intersorb, выпускаемые в виде гранул или таблеток.

Существенными недостатками гранулированных поглотителей являются низкая прочность и, как следствие, пыление и разрушение поглотителя в процессе эксплуатации и, соответственно, снижение сорбционной емкости по диоксиду углерода. Производство гранулированных химических поглотителей характеризуется высокой трудоемкостью, а также наличием большого количества отходов и дополнительных технологических операций по их утилизации.

С целью повышения уровня энерго- и ресурсосбережения производства и усовершенствования хемосорбционных характеристик такого класса хемосорбентов разработана новая технология их получения [1–4]. Технологические приемы обеспечивают способ изготовления поглотителя кислых газов, которому можно придать любые формы (рулон, блок, диск и др.). Данный поглотитель может использоваться для регулирования диоксида углерода как в коллективных, так и в индивидуальных средствах защиты человека.

Экспериментальная часть

При получении известкового хемосорбента на подложке влажность продукта составляет 45–55 %, что существенным образом ухудшает свойства поглотителя.

В рамках данной работы представлял интерес сравнительный анализ способов сушки опытного образца ХП-И на подложке и выбор энергосберегающего оборудования. Для этого сравнивали четыре вида сушки:

- в электропечи СНО-8.8.12/6-И1 № 33, номинальной мощностью $38,6^{-3,75}$ кВт;
- в СВЧ-печи «Panasonic» модель NN-k545WF, номинальной мощностью 1000 Вт;
- переменным электрическим током;
- керамическим нагревательным элементом марки ELSEINT-FSF-250 230 W 250 W (550 °C).

Сушка проводилась до остаточной влажности химического поглотителя (25 ± 3) %. Все образцы химического поглотителя были приготовлены путем нанесения трехкомпонентной смеси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — KOH — H_2O в виде пасты или суспензии на подложку из слоя стеклотолы толщиной 0,5...1,0 мм.

Размеры образцов при сушке: в электропечи и в СВЧ-печи составляли 170×1000 мм, переменным электрическим током – 180×1000 мм, а при сушке в поле инфракрасного излучения – 170×60 мм. Были отработаны параметры сушки для каждого способа.

В электропечи образцы сушили при температуре (120 ± 10) °C в течение 15...20 мин. Поскольку электропечь работает при периодическом импульсном отборе мощности, для расчета энергозатрат снимали показания тока по амперметрам, расположенным на электропечи, и время длительности импульса и паузы.

Сушку переменным электрическим током проводили в течение 10...15 мин с начальным напряжением 100 В и последующим его увеличением до 223 В; сушку керамическим нагревательным элементом – при температуре (135 ± 5) °C в течение 2 мин при напряжении 190 В.

Сушка образца известкового хемосорбента в СВЧ-печи проводилась в течение 8...10 мин. При сушке образца химического поглотителя ток, потребляемый СВЧ-печью, измеряли при помощи двух амперметров Э8021 и Ц90 № 300. Напряжение сети – 220 В.

Расчет энергозатрат при различных способах сушки проводили следующим образом.

1. При сушке в поле инфракрасного излучения с использованием керамических нагревательных элементов – умножением показателей ваттметра на время сушки. В связи с незначительным сдвигом фаз между напряжением и током возможно применение метода вольтметра-амперметра.

2. В СВЧ-поле определение энергозатрат возможно только с помощью ваттметра, поскольку между напряжением и током имеет место заметный сдвиг фаз.

3. В сушильном шкафу целесообразно применение трехфазных ваттметров, показания которых необходимо умножать на полное время сушки, либо измерения производить методом вольтметра-амперметра.

Мощность, подводимая к нагрузке во время импульса, Вт,

$$P_{\text{и}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – линейные значения напряжения и тока питающей сети соответственно, В, А.

Величина средней мощности во время цикла импульс – пауза, Вт,

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{и}} t_{\text{и}} / (t_{\text{и}} + t_{\text{п}}), \quad (2)$$

где $t_{\text{и}}$, $t_{\text{п}}$ – время импульса и паузы, с.

Общие энергозатраты за время сушки, Дж,

$$A_c = P_{cp} T_c, \quad (3)$$

где T_c – общее время сушки, с.

4. При сушке переменным электрическим током отбираемая от питающей сети мощность, по мере высыхания хемосорбента, меняется во времени. В начале процесса она возрастает, затем, после экстремума, начинает снижаться. По этой причине для определения энергозатрат мощность необходимо проинтегрировать. Сушка производилась переменным синусоидальным током сетевой частоты. Эффективная величина питающего напряжения в процессе сушки поддерживалась на постоянном уровне. Энергозатраты на сушку определялись по формуле

$$A_c = U \int i dt. \quad (4)$$

Измерение тока во времени производилось дискретно, и интегрирование было выполнено методом трапеций. Пределы интегрирования соответствовали интервалу времени $0 \dots T_c$.

Расчет остальных параметров процесса при сушке переменным электрическим током производили по формулам (5) – (11).

Объем хемосорбента, подлежащего сушке,

$$V = G/\gamma, \quad (5)$$

где G – масса хемосорбента, г; γ – удельная масса хемосорбента, г/см³.

Площадь хемосорбента, подвергаемого сушке,

$$S = Lh, \quad (6)$$

где L – длина электродов, см; h – расстояние между электродами, см.

Средняя величина толщины слоя хемосорбента

$$\delta_{cp} = V/S. \quad (7)$$

Удельные (объемные) энергозатраты на сушку 1 см³ хемосорбента

$$A_c^{уд} = A_c/V. \quad (8)$$

Площадь поперечного сечения проводящей цепи при сушке хемосорбента

$$S = \delta_{cp} L. \quad (9)$$

Электрическое сопротивление хемосорбента по мере сушки менялось во времени. Его величину определяли в момент измерения

$$R = U/i = \rho h/S. \quad (10)$$

Удельное электрическое сопротивление хемосорбента по мере сушки (в зависимости от остаточной влажности) определяли из уравнения (10)

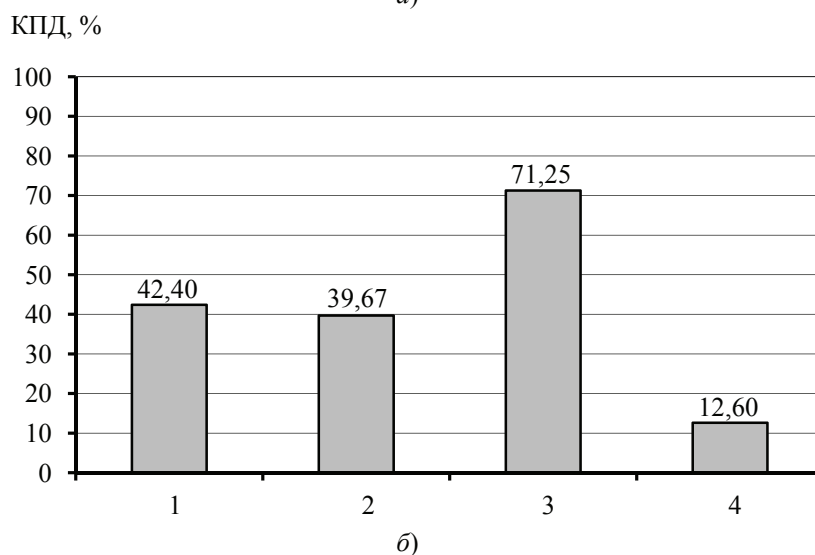
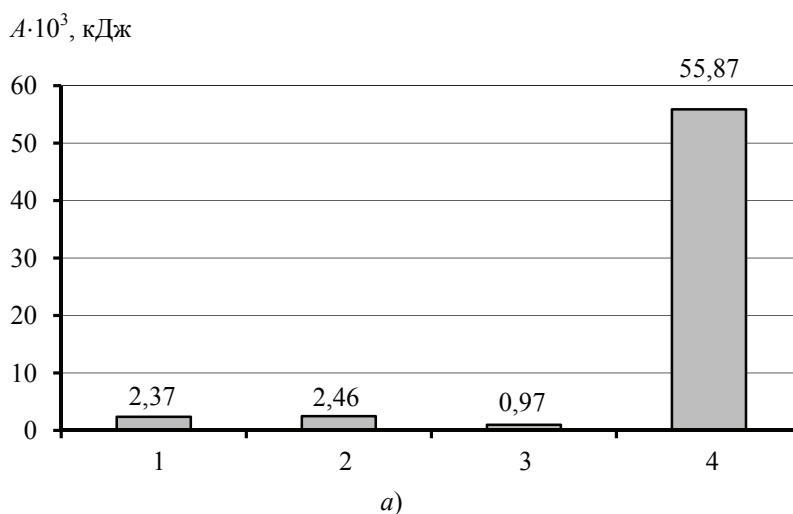
$$\rho = R S/h. \quad (11)$$

Представленные выше способы расчета энергозатрат позволили сравнить и выявить наиболее энергосберегающий способ сушки известкового хемосорбента на подложке.

Произведены расчеты по количеству энергозатрат при сушки 1 кг опытного образца известкового химического поглотителя на подложке и коэффициента по-

лезного действия по всем четырем видам сушки. Коэффициент полезного действия рассчитывали как отношение полезной работы, затраченной на сушку 1 кг хемосорбента, к энергозатратам. Полученные данные приведены на рисунке.

Анализ данных, представленных на рисунке, показывает, что наименьшее энергопотребление достигается при электросушке – $0,97 \cdot 10^3$ кДж, КПД – 71,25 %, наибольшее – в сушильном шкафу – $55,87 \cdot 10^3$ кДж, КПД – 12,60 %. Однако при сушке переменным электрическим током возникает ряд проблем, в местах контакта хемосорбента и электродов возникает искрение и прожиг листового материала поглотителя, что не допустимо при его производстве. При сушке в СВЧ-поле энергозатраты составляют $2,37 \cdot 10^3$ кДж, КПД – 42,40 %, во время сушки в СВЧ-печи из-за неравномерного распределения электромагнитного поля происходит пересушивание одних и недосушивание других участков листа хемосорбента.



Сравнительные графики по энергозатратам (а) и КПД (б) при сушке 1 кг образца известкового хемосорбента:

1 – СВЧ-печь; 2 – инфракрасное излучение; 3 – переменный электрический ток; 4 – сушильный шкаф

Согласно данным, приведенным на рисунке, энергозатраты и КПД при сушке 1 кг химического поглотителя в СВЧ-печи и инфракрасным излучением ($2,46 \cdot 10^3$ кДж, КПД – 39,67 %) приблизительно одинаковы. В качестве способа сушки в технологии производства известкового хемосорбента на подложке целесообразно применять сушку в поле инфракрасного излучения.

Выводы

1. Изучены различные способы сушки опытных образцов известкового хемосорбента на подложке: керамическим нагревательным элементом; в электропечи; в СВЧ-печи; переменным электрическим током.

2. Несмотря на то что наилучшие результаты по наименьшему количеству энергозатрат и наибольшему КПД были достигнуты при сушке переменным электрическим током, не представляется возможным применение данного способа в технологии получения хемосорбента. В дальнейшем рекомендовано в качестве сушки известкового хемосорбента на подложке применять керамические нагревательные элементы.

3. Для дальнейших исследований рекомендуется увеличение количества нагревательных элементов для ускорения процесса сушки известкового хемосорбента.

Список литературы

1. Исследование возможности нанесения гидроксида кальция на пористые материалы / Н.Ф. Гладышев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12, № 4А. – С. 1065–1069.

2. Обоснование выбора материала пористой волокнистой матрицы и способа нанесения на нее гидроксида кальция / М.П. Архипова [и др.] // Тр. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2007. – Вып. 20. – С. 7–10.

3. Пат. 2381831 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/04. Способ изготовления химического адсорбента диоксида углерода / Н.Ф. Гладышев [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита», М-во пром-сти и торговли. – № 2008118664/15 ; заявл. 12.05.2008 ; опубл. 20.02.2010. – Бюл. № 5. – 8 с.

4. Пат. 2389544 Российская Федерация, МПК В 01 J 20/04. Устройство для изготовления поглотителя кислых газов / Н.Ф. Гладышев [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита», М-во пром-сти и торговли. – 2008118782/15 ; заявл. 12.05.2008 ; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 15 с.

Energy-Saving Drying Technique of Lime Chemical Adsorber on the Substrate

M.P. Vikhlyaeva^{1,2}, S.I. Dvoretzkiy²

*Corporation «Roshimzashchita», Tambov (1);
Department «Technology of Food Products», TSTU (2);
Arhimar@yandex.ru*

Key words and phrases: carbon dioxide; chemical adsorber; hemosorbent; power inputs; power savings.

Abstract: The paper studies various methods of drying test samples of lime chemical adsorber on the substrate. Comparative calculations on the number of energy and efficiency for each type of drying are made. The drying method of lime hemisorbent is selected.

Energiesparende Trocknensweise des kalkhaltigen chemischen Adsorbers am Substrat

Zusammenfassung: Es sind die verschiedenen Verfahren des Trocknens von den Experimentalmustern des kalkhaltigen chemischen Adsorbers am Substrat untersucht. Es sind die Vergleichberechnungen nach der Menge der Energieaufwände und des Wirkungsgrades für jede Trocknensart durchgeführt. Es ist die Auswahl der Trocknensart des kalkhaltigen Chemosorptionsmittels durchgeführt.

Moyen conservant de l'énergie du séchage de l'adsorbant chimique calcaire sur une pastille

Résumé: Sont étudiés de différents moyens du séchage des exemples expérimentaux de l'adsorbant chimique calcaire sur une pastille. Sont effectués les calculs comparatifs d'après la quantité des dépenses énergétiques et le coefficient de l'action utile pour chaque type du séchage. Est réalisé le choix du moyen du séchage du hemisorbant connu.

Авторы: *Вихляева Марина Петровна* – аспирант кафедры «Технологии продовольственных продуктов», ФГБОУ ВПО «ТГТУ», научный сотрудник ОАО «Корпорация «Росхимзащита»; *Дворецкий Станислав Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технологические процессы и аппараты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
