

# ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

УДК 54.07

*Д. Ю. Балашов\**

## КИНЕТИКА УДАЛЕНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ ИЗ СУСПЕНЗИИ НАНОГРАФИТА

Для практической проверки теоретических исследований процессов удаления растворителя из суспензии нанографита и выбора оптимального режима сушки были проведены эксперименты по изучению кинетики сушки и влияния основных факторов на ее эффективность.

Исходный продукт представляет собой дисперсную систему (водную суспензию) влажностью до 98%. Один из перспективных методов получения графеновых структур является электрохимическая эксфолиация графита как способ легкого, быстрого и экологически чистого производства искомого продукта [1, 2]. При получении нанографита этим способом концентрация наноматериалов в суспензии составляет 2...4%. Несмотря на достоинства вышеупомянутого материала, он не удобен в транспортировке (в силу низкой концентрации целевого продукта) и требует дополнительной обработки для повышения концентрации целевого продукта в суспензии. Была поставлена цель – удалить растворитель из суспензии нанографита с возможностью восстановления суспензии с сохранением качественных показателей материала. Для достижения поставленной цели была разработана схема сушильной установки и представлен проект дальнейших исследований [3].

Эксперимент проводили следующим образом. Включали сушильный шкаф. После достижения заданной температуры (перед каждым испытанием) установку калибровали: устанавливали на подвес гирию весом 100 г, ждали стабилизации показаний 20...30 с и проводили калибровку. Взвешивали сухие чистые бюксы, не встряхивая емкость наливали 35...40 г суспензии нанографита (вес фиксировался). Помещали бюкс на подвес в сушильный шкаф, предварительно разогретый до заданной температуры. В ПК в программе Terminal v1.9b происходила обработка полученной информации и были получены данные по

---

\* Работа выполнена под руководством канд. хим. наук, доц. ФГБОУ ВО «ТГТУ» А. Ю. Осетрова.

изменению массы суспензии наногрфита во времени. При постоянной температуре через равные промежутки времени (10 с) эксперименты разбивались на отдельные циклы, в каждом из которых сохранялось постоянство всех условий при изменении лишь одного параметра – температуры, влияние которого на процесс изучали в данном случае. Опыт проводили до тех пор, пока разница веса между предыдущим и текущим значением на протяжении нескольких опытов не становилась постоянной. По результатам экспериментов были рассчитаны текущая влажность материала  $W$  по формуле  $W = \frac{b}{a} 100$ , где  $a$  – масса суспензии наногрфита (навеска),  $b$  – убыль в массе навески после высушивания, определяемая по разности; скорость сушки  $DW/Dt$  для суспензии наногрфита, построены графики зависимости  $W = f(t)$  и  $DW/Dt = f(W)$ . В качестве примера на рис. 1 представлены экспериментальные данные и влияние температуры на кинетическую кривую сушки соответственно при  $t, ^\circ\text{C}$ : 85 (а), 105 (б).

Режим сушки при 45 °С не рассматривался, так как является неудовлетворительным по энергоэффективности и затратам времени (время удаления растворителя – 44 часа).

Было получено математическое описание процесса сушки. Первоначально для приближенного описания кривой сушки была выбрана формула, используемая в работах П. Д. Лебедева, для описания сушки во втором периоде [4]:

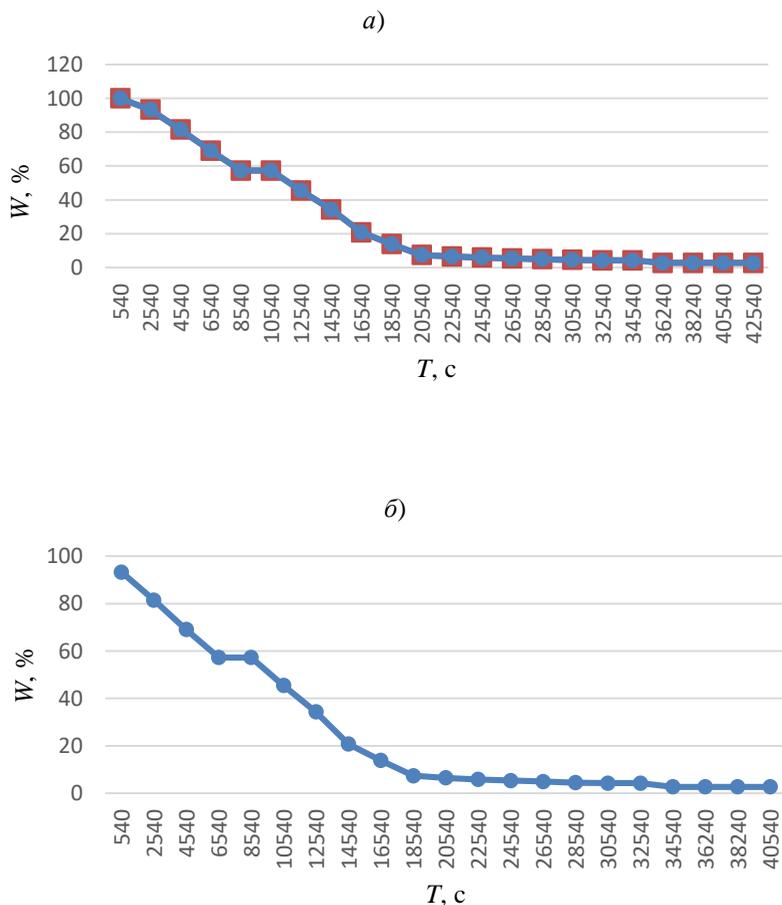
$$W(\tau) = W_p + (W_{кр} - W_p) \exp(-2,3K_i \tau), \quad (1)$$

где  $W(t)$  – текущая влажность;  $W_p$  – равновесная влажность;  $W_{кр}$  – критическая влажность,  $t$  – время;  $K_i$  – коэффициент сушки. Для математического анализа данной функции значащие параметры были заменены на вариационные коэффициенты  $a, c, d$ , а функция преобразована к виду

$$W(\tau)t = c + d \exp(-a\tau). \quad (2)$$

Учитывая, что формула (1) описывает только второй период сушки, ввели дополнительный степенной коэффициент  $b$  при параметре времени  $t$ . Осуществленные исследования показывают, что в начале обезвоживания суспензия наногрфита быстро нагревается. Далее на протяжении периода сушки температура суспензии остается постоянной, где происходит интенсивная потеря жидкости, который называется первым периодом сушки. Он соответствует удалению свободной влаги, покрывающей поверхность материала. После чего начинается удаление связанной влаги – второй период сушки. Точка, разделяющая первый и второй периоды сушки, называется критической точкой,

а влажность материала, соответствующая ей – первой критической влажностью. Конечная влажность материала характеризует его равновесную влажность ( $W_p$ ) при данных условиях сушки. Таким образом, в конце цикла сушки влага из образца выделяется крайне медленно. Это говорит о том, что в момент постоянной скорости сушки, когда обезвоживается в основном свободная влага с поверхности, сушка ограничивается главным образом внешними границами. В момент



**Рис. 1. Влияние температуры на кинетическую кривую сушки соответственно при  $t$ , °C: 85 (а), 105 (б)**

падающей скорости сушки процесс удаления растворителя ограничивается внутренними границами тепло- и массопереноса, в особенности, интенсивностью диффузии влаги из внутренних слоев высушиваемого материала к его поверхности.

На разработанной установке сушки суспензии графита проведены исследования, позволяющие проверить результаты теоретических исследований, выбрать оптимальный режим удаления растворителя.

Предварительный анализ полученных позволяет оценить некоторые характеристики данного процесса, например такие, как скорость удаления растворителя из суспензии графита, оценить кинетические кривые процесса.

Следующим этапом работы будет оценка коллоидной устойчивости суспензии графита при разных режимах удаления растворителя, оценка эффективности режимов восстановления обезвоженной суспензии и возможность восстановления первоначальных параметров.

### Список литературы

1. Бакунин, Е. С. Современные способы получения малослойных графеновых структур методом электрохимической эксфолиации графита / Е. С. Бакунин, Е. Ю. Образцова, А. В. Рухов // Перспективные материалы. – 2018. – № 7. – С. 5 – 15. doi:10.30791/1028-978X-2018-7-5-15.
2. Enhanced Electrochemical Performance at High Temperature of Cobalt Oxide / Reduced Graphene Oxide Nanocomposites and its Application in Lithium-Ion Batteries / Y. Mussa et al. // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9, № 44. – P. 76 – 83.
3. Балашов, Д. Ю. Разработка схемы лабораторной установки для удаления растворителя из суспензии графита / Д. Ю. Балашов // Современное состояние и перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам XV Междунар. науч.-практ. конф. [Электронный ресурс]. – Анапа : Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2020. – 112 с.
4. Исаков, Р. М. Изучение зависимостей кинетической кривой сушки от температуры, относительной влажности и скорости движения агента сушки / Р. М. Исаков, Олжас Бекенов, А. М. Исакова. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 41(175). – С. 10 – 12. – URL : <https://moluch.ru/archive/175/45945/> (дата обращения: 10.10.2020).

*Кафедра «Химия и химическая технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ»*