

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ № 9
«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ МАТЕРІАЛІВ В
КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ»
З ДИСЦИПЛІНИ «ПРОЦЕСИ ТА АПАРАТИ ХАРЧОВИХ
ВИРОБНИЦТВ» ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 181 «ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Затверджено на засіданні
кафедри ПАтаЗХТ
Протокол № 1 від 28.08.2020 р.

Методичні вказівки до лабораторних занять № 9 «Дослідження процесу сушіння матеріалів в конвективній сушарці» з дисципліни «Процеси та апарати харчових виробництв» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 181 «Харчові технології» / Укл.: Ляшенко А.О., Скар Ю.Є., Рябік П.В., Гриднєва Т.В. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2021. – 8 с.

Укладачі: А.О. Ляшенко
Ю.Є. Скар, д-р хім. наук
П.В. Рябік, канд. техн. наук
Т.В. Гриднєва, канд. техн. наук

Відповідальний за випуск Барський В.Д., д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних занять № 9 «Дослідження процесу сушіння матеріалів в конвективній сушарці» з дисципліни «Процеси та апарати харчових виробництв» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 181 «Харчові технології»

Укладачі: ЛЯШЕНКО Анна Олександрівна
СКНАР Юрій Євгенович
РЯБІК Павло Васильович
ГРИДНЄВА Тетяна Василівна

Авторська редакція
Технічний редактор В.П. Синицька
Комп'ютерна верстка В.П. Синицька

Підписано до друку 13.08.2021. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 0,36. Обл.-вид. арк. 0,41. Тираж 100 прим. Зам. № 17.
Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

Лабораторна робота № 9
«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ МАТЕРІАЛІВ В
КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ»

Мета роботи – вивчити основні закономірності процесу сушіння на прикладі сушіння вологого матеріалу гарячим повітрям.

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Сушінням називається процес видалення вологи з вологих матеріалів шляхом підведення тепла для випаровування вологи в навколишнє середовище.

Сушінням користуються як на стадії підготовки сировини до хімічної реакції з метою видалення небажаних або цінних рідин з твердих речовин, так і на стадії доведення цільових продуктів до кондиції з метою збільшення сипкості речовин або зниження транспортних витрат.

Відношення маси вологи до маси абсолютно сухого матеріалу називається **вологівмістом матеріалу**

$$\omega^c = G_B / G_C ,$$

а відношення маси вологи в матеріалі до маси вологого матеріалу – **вологістю**

$$\omega = G_B / G_M .$$

Властивості вологих матеріалів значною мірою залежать від виду вологи, яка у них міститься.

Розрізняють **вільну вологу**, швидкість випаровування якої з матеріалу дорівнює швидкості випаровування її з відкритого дзеркала цієї рідини, та **зв'язану вологу**, яка має меншу швидкість випаровування, ніж з відкритого дзеркала рідини.

При вологовмісту матеріалу більшому від **гігроскопічного**, який визначається як найбільше насичення матеріалу зв'язаною вологою, вільна волога випаровуватиметься з матеріалу до досягнення гігроскопічного вологовмісту в **першому періоді** сушіння. Після цього в **другому періоді** сушіння почне випаровуватися зв'язана волога до досягнення **рівноважного вологовмісту**, коли кількість випарюваної вологи з матеріалу дорівнює кількості поглиненої вологи з навколишнього середовища.

Під **швидкістю сушіння** мають на увазі зміну вологовмісту матеріалу в одиницю часу

$$v = d\omega^c / d\tau .$$

Швидкість сушіння залежить від виду вологи (вільна чи зв'язана), швидкості підведення тепла та стану навколишнього середовища. Якщо підводиться тепло до матеріалу нагрітим газом, то таке сушіння називається **конвективним**, а газ – **сушильним агентом**.

Дослідні криві сушіння та зміна температури вологого матеріалу за часом показані на рис. 1.

Крива сушіння АВСДЕ має кілька характерних частин: АВ – нагрівання матеріалу до **температури мокрого термометра** сушильного агента, коли все тепло підведене до матеріалу сушильним агентом витрачається на випаровування вологи. При досягненні матеріалом температури мокрого термометра температура його залишається постійною, а зміна вологовмісту стає пропорційною часу сушіння, доки не випарується уся вільна волога з матеріалу. Цей період називається **першим періодом** сушіння. Далі, у **другому періоді** сушіння, швидкість сушіння увесь час спадатиме (крива СДЕ), оскільки частина тепла сушильного агента, витрачається ще й на нагрівання матеріалу зі зв'язаною вологою. При цьому температура матеріалу поступово збільшується до температури сушильного агента, а вологовміст матеріалу змінюється від гігроскопічного (точка С, що відповідає першій критичній вологості $\omega_{кр1}^c$) до рівноважного на поверхні матеріалу (точка Д, що відповідає другій критичній вологості $\omega_{кр2}^c$) і далі до рівноважного по всій товщині матеріалу (точка Е).

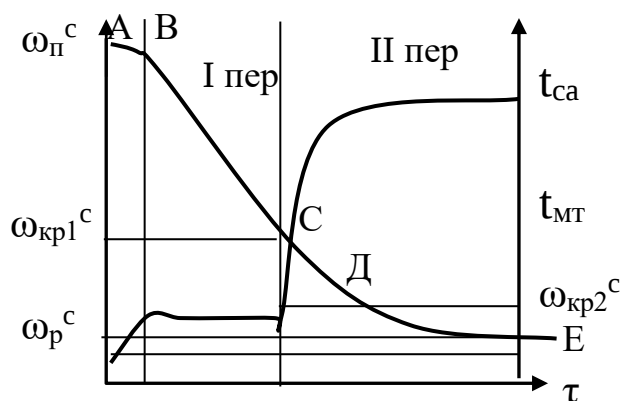


Рис. 1. Крива сушіння

Крива швидкості сушіння (рис. 2) одержана шляхом диференціювання кривої сушіння (рис. 1), на якій маємо також частини кривої АВСДЕ: ВС – перший період сушіння, коли швидкість сушіння незмінна, СДЕ – другий період сушіння, в якому швидкість сушіння весь час падає.

У першому періоді швидкість сушіння незмінна та пропорційна кількості підведеного тепла

$$v_1 = (\omega_{\pi}^c - \omega_{кр}^c) / \tau_1.$$

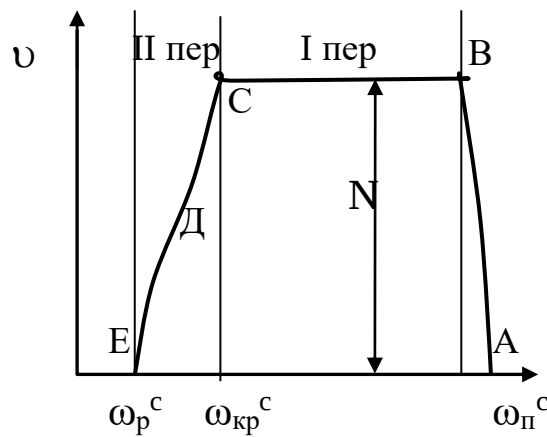


Рис. 2. Крива швидкості сушіння

Швидкість випаровування вологи у другому періоді сушіння, як бачимо на рис. 2, є складною функцією часу та вологовмісту. Якщо замінити цю складну функцію прямою пропорційністю, що в деяких випадках припустимо, швидкість сушіння протягом другого періоду визначається за рівнянням:

$$v_2 = K_C (\omega^C - \omega_P^C) .$$

Константа швидкості сушіння у другому періоді K_C визначається з умови рівності швидкостей сушіння наприкінці першого періоду та на початку другого

$$v_1 = N = K_C (\omega_{KP1}^C - \omega_P^C) ,$$

звідки:

$$K_C = N / (\omega_{KP1}^C - \omega_P^C) .$$

2 ОПИС УСТАНОВКИ СУШІННЯ

Установка, схема якої наведена на рис. 3, складається з відцентрового вентилятора 1, що подає повітря до калорифера 2, в якому повітря підігрівається. Далі гаряче повітря потрапляє до сушильної камери 3, де віддає своє тепло матеріалу, який знаходиться на лотку 4, за рахунок чого волога випаровується з матеріалу у повітря. Зволожене повітря видаляється з сушарки у навколишнє середовище. Лоток зв'язаний з терезами 5, за допомогою яких фіксують масу вологого матеріалу під час експерименту.

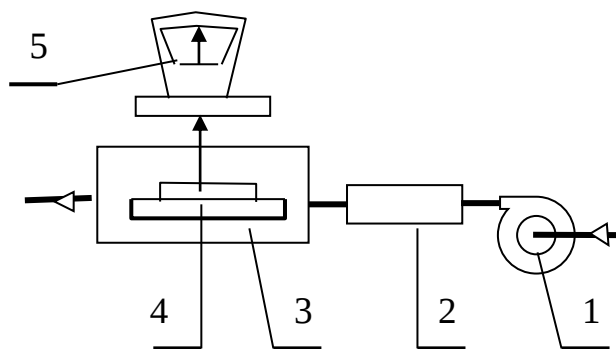


Рис. 3. Схема лабораторної установки:
1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – сушильна камера;
4 – лоток для матеріалу; 5 – терези

3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

3.1. Визначити масу сухого матеріалу, зняти показники стану свіжого повітря за даними психрометра та занести до таблиці 1 умов сушіння.

Таблиця 1

Умови сушіння

Матеріал		Стан свіжого повітря		Температура підігріву повітря
Вид	Маса абс. сух. $G_C, \text{г}$	t_{CB}	t_{MT}	$t_{П}$

3.2. Увімкнути вентилятор, встановити частоту обертання 500 об/хв.

3.3. Увімкнути калорифер. За допомогою ЛАТРа встановити напругу живлення 120 В.

3.4. Слідкувати за показниками температури нагріву повітря. Після досягнення температури 110°C відрегулювати напругу ЛАТРОм таким чином, щоб під час експерименту температура не змінювалась.

3.5. Зволожити матеріал та встановити лоток на підвісці, зв'язаній з терезами. Зачинити сушильну камеру.

3.6. Наступні показники маси та час сушіння знімати кожні 2 хвилини до постійної ваги матеріалу та заносити показники до таблиці 2.

Таблиця 2

Дослідні дані

Тривалість сушіння, $\tau, \text{хв}$	Маса вологого матеріалу, $G_M, \text{г}$	Вологовміст матеріалу $\omega^C = (G_M - G_C)/G_C \text{ кг/кг}$
0		
2		
4		
....		

3.7. Після досягнення постійної ваги матеріалу вимкнути напругу на калорифері за допомогою ЛАТРа. Через п'ять хвилин вимкнути вентилятор.

4 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДУ

4.1. За даними табл. 2 побудувати криву сушіння.

4.2. Заповнити таблицю 3 для побудови графіка швидкості сушіння. Для цього весь інтервал зміни вологовмісту матеріалу кривої сушіння поділити на двадцять частин. Для кожного відрізка визначити тангенс кута нахилу (рис. 4).

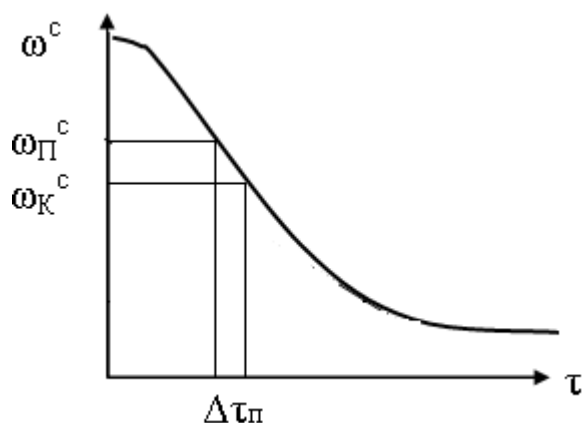


Рис. 4. Графічне визначення швидкості сушіння

Заповнити таблицю 3 даними та визначити швидкості сушіння, що відповідають інтервалам часу сушіння $\Delta\tau_{\Pi}$.

4.3. За даними табл. 3. побудувати графік швидкості сушіння у координатах $\omega_{\Pi}^c - v$. За цим графіком встановити періоди сушіння та визначити гігроскопічний вологовміст матеріалу $\omega_{кр1}^c$ (рис.1). Розрахувати константу швидкості сушіння K_C .

Таблиця 3

Дані для визначення швидкості сушіння

Вологовміст матеріалу		$\Delta\tau_{\Pi}$	$\Delta\omega^c = \omega_{\Pi}^c - \omega_K^c$	Швидкість сушіння $v = \Delta\omega^c / \Delta\tau_{\Pi}$
ω_{Π}^c	ω_K^c			

5 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва лабораторної роботи.
2. Мета роботи.
3. Схема та опис установки.
4. Таблиці даних та графіки кривої сушіння та швидкості сушіння.
5. Розрахунок константи швидкості сушіння.
6. Висновки.

6 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте поняття терміну “сушіння”.
2. Що таке конвективне сушіння?
3. Що таке вологовміст матеріалу?
4. Що таке гігроскопічний вологовміст?
5. Що таке рівноважний вологовміст матеріалу?
6. Що таке температура мокрого термометра?
7. Що таке сушильний агент?
8. Що таке вільна волога?
9. Що таке зв’язана волога?
10. Що таке швидкість сушіння?
11. Як змінюється швидкість сушіння в першому періоді сушіння?
12. Як змінюється швидкість сушіння в другому періоді сушіння?
13. Як змінюється температура матеріалу в першому періоді сушіння?
14. Як змінюється температура матеріалу в другому періоді сушіння?
15. Яка волога видаляється з матеріалу в першому періоді сушіння?
16. Яка волога видаляється з матеріалу в другому періоді сушіння?

7 СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черевко О.І., Поперечний А.М. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник. — Х.: Світ Книг, 2019. — 496 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. 9-е изд., пер. и доп. — М.: Химия, 1973. — 754 с.
3. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. — М.: Химия, 1976. — 432 с.
4. Сажин Б.С. Основы техники сушки. — М.: Химия, 1984. — 319 с.
5. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред. проф. І.Ф. Малежика. — К.: НУХТ, 2003. — 400 с.
6. Конспект лекцій за курсом “Процеси та апарати хімічної технології”, розділ “Сушіння” для студентів III–V курсів усіх спеціальностей / Укл.: А.К. Бучинський, Д.О. Сенін, П.Г. Сорока. — Дніпропетровськ: УДХТУ, 1994. — 31 с.
7. Бучинський А.К., Коваленко В.С. “Основи технології та техніки сушіння. Навчальний посібник. — Дніпропетровськ, УДХТУ, 2002. — 131 с.
8. Дубова Г.Є., Безусов А.Т. Процеси і апарати харчових виробництв: Навчально-методичний посібник. — Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. — 185 с.