

$$P_0 = \frac{1}{N} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{\mu}{v_x \delta r} \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\mu v_x} = \frac{2\pi\sigma \cos\theta}{\delta r v_x^2}$$

Отже, при малих концентраціях рослинних ПАР до молока, суттєво зменшується коефіцієнт поверхневого натягу, середня товщина приповерхневого Л шару є мінімальною, а середня швидкість в цьому шарі є максимальною, і числове значення поверхневого критерію – мінімальне.

Висновки:

1. Знайдено числовий діапазон поверхневого критерію (127–106,07) для молока при введенні до нього оптимальних концентрацій рослинних ПАР. Показано, що мінімальне значення поверхневого критерію спостерігається при оптимальних концентраціях ПАР.

2. Зменшення коефіцієнта поверхневого натягу мінімізує товщини приграничних шарів у системі стінка трубопроводу-вода а значить збільшує середні швидкості в цих приграничних Л шарах, і як наслідок така система здатна ефективніше передавати кількість тепла.

Література

1. Білонога Ю.Л. Інтенсифікація та оптимізація тепломасообмінних процесів при виробництві органопрепаратів і переробці вторинної сировини м'ясокомбінатів: Автореферат дис. ... доктора техн. наук. – Одеса, 2006. – 36 с.
2. Білонога Ю.Л. Про доцільність розгляду гідромеханічних процесів з урахуванням сил поверхневого натягу на границі контакту тверде тіло-рідина // Ж. Інтегровані технології та енергозбереження. – 2006. – №2. – С. 56-64.
3. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М. : Пищевая промышленность, 1973. – 767 с.
4. Минаковский В. М. Обобщенные переменные теории переноса. – К. : «Вища школа», 1978. – 179с.
5. Білонога Ю.Л., Максисько О.Р. Зміна гідромеханічних і теплофізичних характеристик теплоносія в ПАР// Ж. Інтегровані технології та енергозбереження. – 2009. – №2. – С. 121-126.
6. Білонога Ю.Л., Максисько О.Р. Оптимізація концентрацій рослинних поверхнево-активних речовин (пар) в молоці для інтенсифікації теплопередачі в системі стінка теплообмінника-потік //Наукові праці ОНАХТ. – 2008. – Випуск № 32. –С. 200-204.
7. Білонога Ю.Л., Максисько О.Р. Обґрунтування вибору рослинних олій в якості поверхнево-активних речовин (пар) до компонентів молока //Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – Випуск № 35. – Т.-2. –С. 158-164.
8. Білонога Ю.Л., Максисько О.Р., Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю. Підвищення коефіцієнта теплопередачі теплообмінної апаратури при використанні ПАР //Науковий вісник Львівської державної академії ветеринарної медицини імені С.З. Гжицького. – 2004. – Т.6, №2. – Ч.3. – С. 126-131.

УДК 615.012.014

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНОВАЖНОЇ ВОЛОГОСТІ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ У ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТУ

Симак Д.М. асистент, Атаманюк В.М. д.т.н., доцент,
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Наведено методику та здійснено розрахунок рівноважної вологості при конвективному сушінні піритних огарків та глиноземного кеку, які використовуються як добавки до сировини при виробництві цементу. Як сушильний агент використовували нагріте до 60 °С повітря.

Приведена методика и осуществлен расчет равновесной влажности пирильных огарков и глиноземного кека, которые являются добавками в производстве цемента. В качестве сушильного агента использовали воздух с температурой 60°С.

Ключові слова: піритні огарки, глиноземний кек.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими дослідженнями.

Виробництво цементу є енергетично затратним процесом оскільки пов'язане з проведенням процесів сушіння і випалу цементного клінкера, які здійснюються при високих температурах (1450 °С). Як правило, сировинні матеріали характеризуються високим вологовмістом і вимагають значних витрат

енергії на виведення вологи в процесі сушіння. Виведення зв'язаної з матеріалом вологи є досить складним технологічним процесом. Важливим параметром пов'язаним з інтенсифікацією процесу сушіння є значення рівноважної вологості, визначенню якої присвячена дана публікація.

Механізм процесу сушіння в значній мірі залежить від зв'язку вологи з матеріалом. Чим міцніший цей зв'язок, тим повільніше протікає процес сушіння. Якщо волога, яка знаходиться на поверхні вологого матеріалу, виводиться при будь-яких значеннях відносної вологості сушильного агента (менше 100 %), то зв'язана волога виводиться при умовах, коли відносна вологість повітря (φ) менша за рівноважну вологість вологого матеріалу (W_p).

Метою роботи є розробка методики визначення рівноважної вологості матеріалу при певних температурах сушильного агента.

Визначення рівноважної вологості в умовах гіроскопічного стану пов'язане з певними труднощами, оскільки цей процес протікає дуже повільно і триває декілька днів або й тижнів. Тому, в більшості випадків, рівноважну вологість визначають на основі вивчення кінетики сушіння за побудовою залежності зміни вологи в часі ($W = f(t)$). Цей метод не враховує витрат сушильного агента і впливу параметрів сушильного агента (відносної вологості – φ , вологовмісту – x , тепловмісту – I) на кінетику процесу.

Виклад основного матеріалу.

З метою розробки технологічних режимів в процесі сушіння сировинних матеріалів, які використовуються при виробництві цементу, проводилося визначення рівноважної вологості за методом Ван Бамелена [1]. Згідно цього методу, взірці вологого матеріалу, які характеризуються відповідними гіроскопічними властивостями видержували в ексикаторах з сульфатною кислотою різної концентрації. Відомій концентрації сульфатної кислоти при даній температурі відповідає певний тиск водяної пари [3], який визначали за рівнянням (1):

$$\lg P_n = A + B/T + 2,216, \text{ Па} \quad (1)$$

де A і B — постійні; T — абсолютна температура.

Тиск насиченої пари при даній температурі [3] (пружність насиченої пари - P_n) визначали за рівнянням (2):

$$P_n = 126 \cdot (1 + 0,00367 \cdot t) \cdot q, \text{ Па} \quad (2)$$

де t — температура ($^{\circ}\text{C}$), q — абсолютна вологість повітря при даній температурі ($\text{г}/\text{м}^3$).

Відносну вологість в % визначали за рівнянням Клапейрона (3):

$$\varphi = \frac{P_n}{P_n} \cdot 100, \% \quad (3)$$

Розраховані значення парціального тиску, пружності насиченої пари та відносної вологості повітря наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розраховані значення парціального тиску, пружності насиченої пари та відносної вологості повітря

| № | %, H_2SO_4 | A | B | P_n , Па | P_n , Па | φ , % |
|---|-------------------------------|-------|------|------------|------------|---------------|
| 1 | 10 | 8,925 | 2259 | 18535,3 | 19924,1 | 0,08 |
| 2 | 30 | 8,864 | 2271 | 14791,1 | | 6,12 |
| 3 | 50 | 8,832 | 2357 | 7585,8 | | 38,07 |
| 4 | 70 | 9,032 | 2688 | 1219,0 | | 74,25 |
| 5 | 90 | 9,255 | 3390 | 15,89 | | 93,03 |

Методика експериментального визначення рівноважної вологості полягає в наступному: взірці досліджуваних матеріалів висушували при температурі 120°C протягом певного часу (до постійної маси) з метою виведення вільної вологи. Висушені взірці поміщали в ексикатор, заповнений водою і витримували протягом 7 діб, з метою досягнення гіроскопічного стану. Підготовлені таким чином взірці завантажували в ексикатори з сульфатною кислотою відповідної концентрації і витримували при температурі 60°C в термостаті протягом трьох тижнів до постійної маси. Для приготування розчинів відповідних концентрацій використовували 95 %-ну сульфатну кислоту марки х.ч. і воду у необхідних співвідношеннях. Концентрацію кислоти перевіряли аерометром.

Рівноважну вологість визначали за спрощеною формулою (4) [2]:

$$w_p = \frac{W_1}{G_2} \cdot 100, \% \quad (4)$$

де W_1 — кількість води в вологому матеріалі, г; G_2 — маса матеріалу в стані рівноваги, г.

В таблиці 2 представлені значення рівноважної вологості для глиноземного кеку, а в таблиці 3 — для піритних огарків.

Таблиця 2 – Результати визначення рівноважної вологості для глиноземного кеку

| № ексикатора | Маса сухого матеріалу G_2 , г | Маса води W_1 , г | Вологовміст матеріалу $w_p \cdot 10^{-2}$, $\frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг сух. мат.}}$ | Відносна вологість повітря, ϕ , % |
|--------------|---------------------------------|---------------------|---|--|
| 1 | 62,64270 | 0,39495 | 0,63 | 0,08 |
| 2 | 62,00471 | 3,30030 | 5,32 | 6,12 |
| 3 | 57,05570 | 4,27305 | 7,49 | 38,07 |
| 4 | 57,13208 | 5,23100 | 9,16 | 74,24 |
| 5 | 58,02940 | 6,21020 | 10,7 | 93,03 |

Таблиця 3 – Результати визначення рівноважної вологості для піритних огарків

| № ексикатора | Маса сухого матеріалу G_2 , г | Маса води W_1 , г | Вологовміст матеріалу $w_p \cdot 10^{-2}$, $\frac{\text{кг } H_2O}{\text{кг сух. мат.}}$ | Відносна вологість повітря, ϕ , % |
|--------------|---------------------------------|---------------------|---|--|
| 1 | 74,36150 | 0,10215 | 0,19 | 0,08 |
| 2 | 74,68763 | 1,50882 | 2,02 | 6,12 |
| 3 | 73,01271 | 2,74539 | 3,76 | 38,07 |
| 4 | 71,75818 | 3,20482 | 4,47 | 74,24 |
| 5 | 72,47441 | 3,39139 | 5,53 | 93,03 |

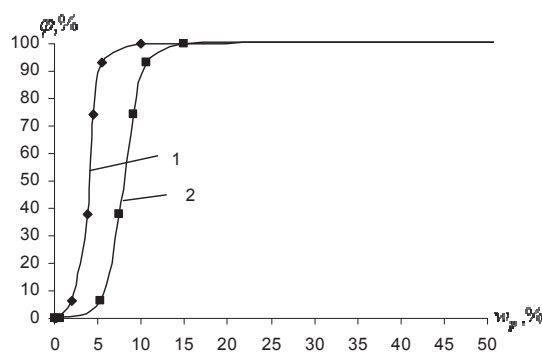
G_B — маса бюкса, г;

G_1 — початкова маса, г;

w_p — рівноважна вологість, %;

ϕ — відносна вологість повітря, %.

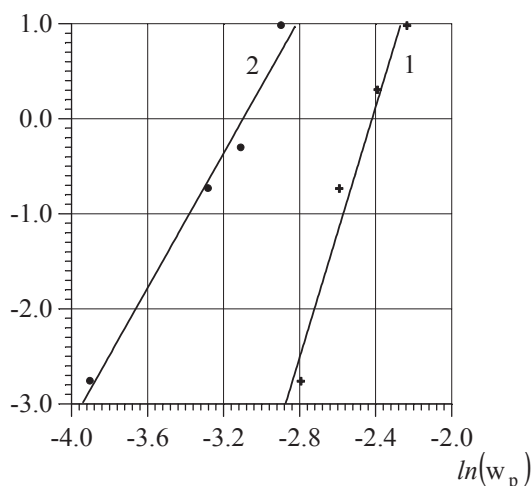
Залежність рівноважної вологості глиноземного кеку і піритного огарку від відносної вологості повітря зображено на рисунку 1.



1— піритні огарки; 2— глиноземний кек.

Рис. 1 – Залежність рівноважної вологості від відносної вологості повітря

$$\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-\varphi}\right)\right)$$



1 — кеф глиноземистий; 2 — піритні огарки

Рис. 2 – Залежність $\ln\left(\ln\left(\frac{1}{1-\varphi}\right)\right) = f(\ln(w_p))$

Комп’ютерне моделювання процесу сушіння передбачає використання математичних виразів, що описують даний процес. Складна структура капілярно-пористих та колоїдних капілярно-пористих тіл, розгалужена сітка капілярів, наявність різних механізмів утримання вологи поверхнею твердого тіла та наявною вологою в об’ємі пор не дають змоги використовувати відомі залежності типу Ленгмюра, Фрейдліха. Для таких складних процесів рівновага з достатнім ступенем точності описується експоненціальними залежностями, одну з яких наведено в [4].

$$\varphi = 1 - \exp\left[-\left(\frac{w_p}{A}\right)^B\right], \quad (5)$$

де А і В — коефіцієнти, що визначаються експериментально для кожної системи.

Подвійне логарифмування залежності (5) дозволяє представити її у вигляді прямої лінії:

$$\ln \ln \frac{1}{1-\varphi} = B \cdot \ln w_p - B \cdot \ln A, \quad (6)$$

Використовуючи одержані нами експериментальні дані, нами побудовано розраховані величини в координатах $\ln \ln \frac{1}{1-\varphi} = f(\ln w_p)$ (рис.2). Величини φ подаються у залежність (5) в долях одиниці $0 \leq \varphi \leq 1$. Як видно з наведених значень, дійсно у даних координатах спостерігається лінійна залежність, тангенс кута нахилу яких відповідає коефіцієнту В, а параметр, що його відсікає пряма на осі координат $B \cdot \ln A$, з якого визначаємо коефіцієнт А. дана апроксимація дозволила встановити взаємозв’язки між рівноважними вологостями у твердій та газовій фазах.

– для глиноземного кеку:

$$\varphi = 1 - \exp\left[-\left(\frac{w_p}{0,08694}\right)^{7,0175}\right], \quad (7)$$

– для піритних огарків:

$$\varphi = 1 - \exp\left[-\left(\frac{w_p}{0,0429}\right)^{3,6842}\right]. \quad (8)$$

Висновки.

Розроблена методика визначення рівноважної вологості вологого матеріалу в умовах сушіння добавок (глиноземний кек та піритні огарки) під час виробництва цементу. Як сушильний агент використано повітря при температурі 60 °С. На основі експериментальних досліджень процесу сушки визначено рівноважну вологість матеріалу залежно від відносної вологості теплового агенту. Запропоновано аналітичні залежності для оцінювання рівноважних станів висушуваних матеріалів повітря.

Література

1. Гинзбург А.С. Массообменные характеристики пищевых продуктов /А.С. Гинзбург, И.М. Савина // М. Легкая и пищевая промышленность. 1982. С.82-83.
2. Справочник химика. М. Изд.«Химия».1964.Т.3.С.333,522-523.
3. Амелин А.Г. Технология серной кислоты.2-е изд. перероб. /А.Г. Амелин// – М.: Химия, 1983. – с.15-17.
4. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов. /В.И. Муштаев, В.М. Ульянов// –М.: Химия, 1988. 322 с.

УДК 664.8.047

ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ТЕРМОСИФОННО–МЕХАНИЧЕСКОМ АГРЕГАТЕ

Воскресенская Е.В. инженер

Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

Рассмотрен процесс сушки некоторых зерновых культур в аппарате на основе вращающегося термосифона, как один из способов комбинированной сушки, рассмотрены его недостатки и преимущества. Предложены режимы сушки в термосифонно–механическом агрегате.

Process of drying of some grain crops in the device on the basis of a rotating thermosiphon as one of ways of the combined drying, its lacks and advantages are considered is considered. Drying modes in the thermosiphon–mechanical unit are offered.

Ключевые слова: термосифонно–механический агрегат, кинетика процесса сушки.

В различных производствах широко распространены процессы тепловой сушки, при которой для удаления влаги из материала в основном применяют методы, основанные на сжигании природного топлива и продувки зерна потоком горячего воздуха с последующим выбросом тепла в атмосферу. Подобный процесс является крайне неэффективным с экономической точки зрения, т.к. большая часть тепла, полученного от сгорания органического топлива, выбрасывается в атмосферу и лишь малая доля идет непосредственно на испарение влаги и сушку зерна, что непосредственно ведет к удорожанию себестоимости зерна и другой зерновой продукции. Анализ мировой практики сушки дисперсных пищевых продуктов [3,5] показывает, что 10 % всех энергозатрат приходится на привод вентиляторов, а другие 90 % – на сушку. Тепловая энергия расходуется в среднем так: на испарение влаги затрачивается 40 %, на нагревание зерна – 10 %, на нагрев воздуха и испаренной влаги до температуры сушильного агента 20 %, и 30 % теплоты теряется в окружающую среду. Для исключения перечисленных недостатков предлагается новый метод сушки зерновых культур, основанный на кондуктивном нагреве материала в комбинации с применением механического перемешивания.

Сушка дисперсного пищевого продукта – это один из наиболее сложных процессов термообработки, поскольку в ее процессе меняется агрегатное состояние воды в объекте, изменяются свойства одного продукта, а иногда и его форма. Сушку большинства пищевых продуктов, предназначенных для питания, осуществляют предварительно нагретым воздухом. Исключение представляет сушка зерновых, при которой сушильным агентом является смесь топочных газов и воздуха. Непосредственный контакт продуктов сгорания с зерном ухудшает его качество в связи с возможным проникновением в продукт канцерогенных компонентов. А выброс топочных масс в атмосферу, которым сопровождается такой процесс, значительно ухудшает экологический фон.

Сушка является энергоемким процессом. Энергия, необходимая для превращения 1 кг воды в пар, составляет 2,7 МДж. Однако, сушильные технологии потребляют в 2,5 – 3 раза больше [5]. Меньшие затраты энергии характерны для комбикормовой и зерносушильной технологий. Но достигается это снижени-