

найкраще. Але використання етанолу з концентрацією 70 і 96% у виробничих умовах недоцільно з точки зору матеріальних затрат їх придбання. Тому для екстрагування барвних речовин з моркви чорної доцільно використовувати концентрацію етанолу 50%.

Висновки. Ефективність екстракції барвних речовин із скорцонери залежить від концентрації соляної кислоти в екстрагенті, його температури, часу процесу та концентрації етанолу. Встановлено, що раціональними параметрами цього процесу є концентрація соляної кислоти – 1%, температура – 80...90° С, тривалість екстрагування – 40 хв.

Список літератури

1. Болотов, В. М. Расширение гаммы эксплуатационных свойств природных красителей из растительного сырья [Текст] / В. М. Болотов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 6. – С. 35–37.

2. Прида, А. И. Природные антиоксиданты полифенольной природы (Антирадикальные свойства и перспективы использования) [Текст] / А. И. Прида, Р. И. Иванова // Пищевые ингредиенты. Сырье и добавки. – 2004. – № 2. – С.76–78.

3. Тюркіова, І. С. Розробка технології отримання біологічно активних антоціанвісних харчових фарбників [Текст] І. С. Тюркіова, Л. М. Пилипенко, В. В. Кожухар // Наукові праці ОДАХТ. – Одеса, 1998. – Вип. 18. – С.78–81.

4. Кацерикова, Н. В. Натуральные пищевые красители [Текст] / Н. В. Кацерикова, В. М. Позняковский. – Новосибирск : «Экор», 1999. – 58 с.

Отримано 1.10.2010. ХДУХТ, Харків.

© О.І. Черевко, Л.В. Кіптела, О.Є. Загоруйко, Д.В. Постольнік, 2010.

УДК 664.834.2

В.О. Потапов, д-р техн. наук

Є.М. Якушенко

КІЛЬКІСНИЙ ПОКАЗНИК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СУШАРОК ТА МЕТОДИ ЙОГО ПІДВИЩЕННЯ ПІД ЧАС СУШІННЯ У ТЕПЛОМАСООБМІННИХ МОДУЛЯХ З ВНУТРІШНІМ НАГРІВАЧЕМ

Розглянуто питання енергоефективності суширних установок, а також способи підвищення енергоефективності ЗТП-сушарок з різними видами нагрівачів.

Рассмотрены вопросы энергоэффективности сушильных установок, а также рассмотрены способы повышения энергоэффективности ЗТП-сушилок с различными видами нагревателей.

The article discusses efficiency of the dryers, as well as addressed-how to improve energy efficiency MHT-drying with different types of heaters.

Постановка проблеми у загальному вигляді. На даний момент, технологічні процеси сушіння і їхня апаратна реалізація не повною мірою відповідають вимогам сучасного устаткування підприємств харчових виробництв, зокрема вимогам до енергоефективності апаратів. Але до цього часу не має загального розуміння який саме кількісний показник треба вживати для оцінки енергоефективності сушильного обладнання. Тому пошук саме такого адекватного показника є важливим науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У цей час для визначення технічних характеристик сушарних установок використовуються наступні показники: продуктивність за випаровування вологи, питомі витрати енергії на сушіння, ККД сушарки. Перші два із цих показників дозволяють порівнювати різні сушарки або за продуктивністю або за витратами енергії на процес сушіння, проте не дають можливість оцінити ефективність використання цієї енергії. Коефіцієнт корисної дії показує ефективність використання енергії, проте не дає відповіді на запитання про продуктивність сушарки.

У ХДУХТ розроблено новий спосіб сушіння у тепломасообмінних модулях (ТМОМ). Дослідження присвячені цьому процесу, свідчать, що за конвективного підведення теплоти від сушильного агента до матеріалу у функціональних ємностях, процес має низьку ефективність. Застосування кондуктивного підведення теплоти до матеріалу дозволяє зменшити питомі енерговитрати на процес сушіння у ТМОМ [1; 2].

Використання внутрішнього обігрівача у ТМОМ дозволяє підвищити енергоефективність ЗТП-сушіння. У цьому випадку значно зменшується термічний опір від джерела теплоти до продукту. За традиційною схемою ЗТП-сушіння до поверхні ТМОМ теплота від сушильного агента переноситься конвекцією, а далі від поверхні ТМОМ через сам продукт за рахунок теплопровідності.

Мета та завдання статті. Метою роботи є визначення кількісного показника енергоефективності існуючих сушарних установок, а також способи підвищення енергоефективності ЗТП-сушарок із різними видами конструктивних нагрівачів.

Виклад основного матеріалу дослідження. На нашу думку, для оцінки ефективності використання енергії в процесі сушіння необхідно використовувати наступний показник: продуктивність сушарки з випаровуваної вологи віднести до питомих витрат енергії на процес

$$E_{\phi} = \frac{\Delta m / \Delta \tau}{Q / \Delta m}, \quad (1)$$

де E_{ϕ} – показник енергоефективності, (кг/с)/(Дж/кг); Δm – маса вологи вилучена в процесі сушіння, кг; $\Delta \tau$ – тривалість процесу сушіння, с; Q – повні витрати енергії на процес, Дж.

Введення такого показника дозволяє порівнювати різні сушарки за ефективністю використання енергії на процес видалення вологи. Максимізація цього показника з економічної точки зору еквівалентна максимізації рентабельності використання сушарки.

Не важко розрахувати теоретичне значення показника енергоефективності для процесу сушіння. Максимальне значення швидкості випаровування вологи має місце під час випаровуванні із вільної поверхні рідини, а мінімальні питомі витрати енергії дорівнюють питомій теплоті фазового переходу рідина-пар. Таким чином, одержуємо:

$$E_{\phi}^{\max} = \frac{j_m S}{r_w}, \quad (2)$$

де E_{ϕ}^{\max} – максимальний теоретичний показник енергоефективності, (кг/с)/(Дж/кг); j_m – щільність потоку маси вологи під час випаровування з вільної поверхні, кг, (м²·с); r_w – питома теплота фазового переходу рідина-пар, Дж/кг.

Формула для розрахунку щільності потоку маси вологи під час випаровуванні з вільної поверхні отримана А.В. Личаним

$$j_m = A \frac{\mu}{R_G T_n} \frac{D_0}{L} \left(\frac{T_n}{T_0} \right)^2 \frac{B}{B_0} \left(p_n - p_0 \right), \quad (3)$$

де $(A=0,5Re^{0,58}$ при $Re=200\dots20000$, $A=0,85Re^{0,76}$ при $Re=20000\dots200000$); число Рейнольдса $Re = \frac{\nu L}{\nu}$, ν – швидкість повітря,

м/с; L – довжина поверхні випаровування за потоком повітря, м; ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с; μ – молекулярна маса рідини, кг/моль; $R_G=8,31$ Дж/(К·моль) – газова постійна; $T_n = \frac{1}{2} T_{жс} + T_0$ – середня температура випаровування, $T_{жс}$ – температура рідини, К; T_0 – температура навколишнього повітря, К; D_0 – коефіцієнт дифузії рідини в повітря за нормальних умов ($T_0=273$ ДО, $B_0=1,01 \cdot 10^5$ Па); B – загаль-

ний барометричний тиск, Па; p_n - парціальний тиск насиченої пари рідини за температури випаровування рідини, Па; p_0 – парціальний тиск пари рідини у повітрі, Па.

Схована теплота паротворення для води залежить від температури в такий спосіб

$$r_w = (2500 - 2,38 \cdot t_{жс}) \cdot 10^3, \text{ Дж/кг}, \quad (4)$$

де $t_{жс}$ – температура випаровування води, °С.

Використовуючи рівняння (3)-(4) побудована залежність теоретичного показника енергоефективності від продуктивності сушарки за випаровуваною вологою (рис.1). На цьому рисунку наведено дані з енергоефективності типових сушарок, що використовуються у харчовій промисловості.

Проведений розрахунок за енергоефективністю основних типів сушарок показав, що найбільший показник енергоефективності – у зерносушильного агрегату шахтного типу, найменший – у сублимаційній сушарці (рис.1).

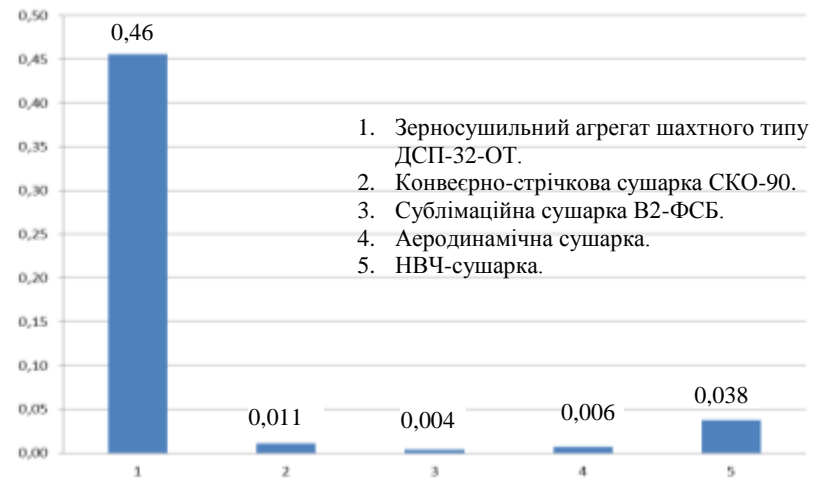


Рисунок 1 – Показник енергоефективності (E_f) основних типів сушарок

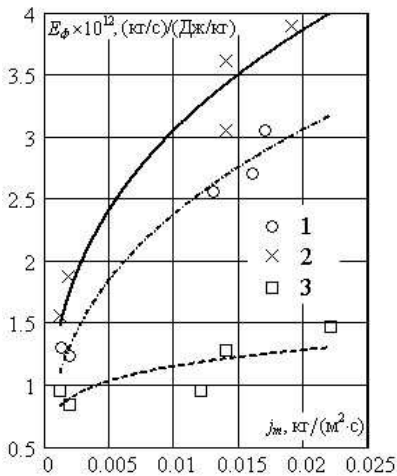
Показник енергоефективності при сушінні в ТМОМ з нагрівачами розраховувався за рівнянням (1). При цьому повні витрати енергії на процес визначалися в такий спосіб

$$Q = \int_0^{\Delta\tau} P_{\text{кал}} + P_{\text{нагр}} + P_{\text{вент}} d\tau, \quad (5)$$

де $P_{\text{кал}}$ – потужність калорифера сушарки, Вт; $P_{\text{нагр}}$ – потужність нагрівача ТМОМ, Вт; $P_{\text{вент}}$ – потужність вентилятора сушарки, Вт.

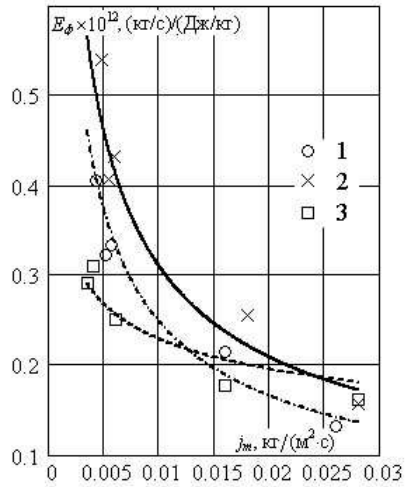
Потужність, споживана сушаркою, розраховувалася за показниками амперметрів і вольтметрів.

На рис. 2, 3 наведено експериментальні значення показника енергоефективності сушіння в ТМОМ з нагрівачами різних типів для двох випадків: без підігріву сушильного агента ($t_c=20^\circ\text{C}$) і з додатковим підігрівом сушильного агента до $t_c=90^\circ\text{C}$. При цьому, у всіх випадках температура нагрівачів у ТМОМ підтримувалася постійною протягом усього процесу сушіння й дорівнювала $t_{\text{нагр}}=70^\circ\text{C}$.



1- ВПН; 2-ВТН; 3-ППН

Рисунок 2 – Залежність показника енергоефективності ТМОМ від питомої продуктивності у разі використання сушильного агента без додаткового підігріву ($t_c=20^\circ\text{C}$)



1- ВПН; 2-ВТН; 3-ППН

Рисунок 3 – Залежність показника енергоефективності ТМОМ від питомої продуктивності у разі використання сушильного агента з додатковим підігрівом ($t_c=90^\circ\text{C}$)

Аналіз експериментальних даних, наведених на рис. 2, 3 показує, що показник енергоефективності у разі використання додаткового пі-

підігріву сушильного агента майже в 10 разів нижче, ніж у випадку використання сушильного агента без підігріву. Це пояснюється тим простим фактом, що при підігріві сушильного агента, більша частина витраченої потужності викидається з вихлопом сушарки. Зайва витрата сушильного агента в цьому випадку викликана тим, що для здійснення процесу ЗТП-сушіння швидкість сушильного агента над ТМOM повинна бути не меншою за 4 м/с, а різниця температур вхід-вихід сушарки не більшою за 5° С [1; 2]. Зміна перетину каналу для сушильного агента при зміні об'єму ТМOM викликає зміну його витрати, а отже й потужності калорифера.

Відзначимо, що показник енергоефективності має принципово різний характер у двох розглянутих випадках: при використанні сушильного агента без підігріву він росте зі збільшенням продуктивності ТМOM, а при використанні сушильного агента з підігрівом – падає. Зазначимо, що теоретично максимальний показник енергоефективності E_{ϕ}^{\max} , обумовлений за формулою (2), також росте зі збільшенням продуктивності сушарки.

Висновки. Визначено, що використання внутрішнього трубчастого нагрівача дозволяє підвищити енергоефективність ТМOM на 20...30% у порівнянні із внутрішнім плоским нагрівачем.

У такий спосіб встановлено, що найбільш перспективною конструкцією ТМOM з нагрівачем за показником енергоефективності є ТМOM із внутрішнім трубчастим нагрівачем.

Список літератури

1. Потапов, В. О. Кінетика сушіння: аналіз і керування процесом [Текст]: монографія / В. О. Потапов ; Харк. гос. ун-т харчування та торгівлі. – Х., 2009. - 250 с.

2. Погожих, М. І. Наукові основи теорії й техніки сушіння харчової сировини в масообмінних модулях [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12 : захищена 04.06.2002 : затв. 21.12.2002 / Погожих Микола Іванович.-Х., 2002. – 331 с.

Отримано 1.10.2010. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, Є.М. Якушенко, 2010.