

В.О. Потапов, д-р техн. наук, проф.

О.Ю. Гриценко, асп.

Ю.О. Пономаренко, магістрант

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ В МАСООБМІННИХ МОДУЛЯХ ПІД ДІЄЮ ПІДВИЩЕНОГО ТИСКУ

Проведено експериментальні дослідження ЗТП-сушіння у тепло-масообмінному модулі під дією підвищеного тиску. Досліджено кінетику вологовмісту та температури залежно від тиску у тепло-масообмінному модулі. Визначено залежність коефіцієнта енергоефективності від періоду змінення тиску. Знайдено раціональний режим сушіння за показником енергоефективності процесу.

Проведены экспериментальные исследования СТП-сушки в тепло-масообменных модулях под действием повышенного давления. Исследована кинетика влагосодержания и температуры в зависимости от давления в тепло-масообменном модуле. Определена зависимость коэффициента энергоэффективности от периода изменения давления. Найдено рациональный режим сушки по показателю энергоэффективности процесса.

Experimental studies of the MHT-drying in heat-mass transfer modules under the influence of high pressure were carried out. The kinetics of moisture and temperature depending on the pressure in the heat-mass transfer modules. The dependence of the coefficient of efficiency of period change of pressure. Found rational mode of drying in terms of energy efficiency of the process.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах за умови швидкого подорожчання енергоносіїв, особливо актуальною стає проблема енергозбереження у виробничо-господарській діяльності підприємств. У той же час навіть за великих витрат на процес сушіння не можливо уникнути низької якості матеріалу, тому що на підприємствах дуже часто працюють морально і фізично застарілі конструкції сушильних установок. Тому в сучасних ринкових умовах підприємство повинно особливу увагу приділяти як енергоефективності процесу сушіння, так і якості кінцевого продукту. Тому результати досліджень, що наведені нижче є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переважна кількість сучасних праць у галузі техніки сушіння розглядає питання енергозбереження. Згідно з зарубіжними джерелами [1] на сушіння припадає 25% національного споживання енергії промислово розвинених країн, а в харчовій і переробній промисловості до 30%. У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів навіть 1% економії

споживаної енергії приносить суттєві економічні результати. За даними О.Л. Данилова [2] середній ккд вітчизняних конвективних сушарок 12...80% при цьому велика частина втрат припадає на відпрацьований сушильний агент (до 40%). У зв'язку з цим питання енергозбереження вирішуються двома основними шляхами: розробка нових способів сушіння та розробка нових технологічних прийомів здійснення процесу зневоднення.

Відзначимо, що часто для підвищення економічності обладнання використовують інтенсифікацію процесів. Проте простий аналіз показує, що збільшення продуктивності сушарки за рахунок збільшення температури не пропорційно збільшує теплові витрати, знижуючи загальний ккд [3; 4]. У праці [5] теоретично показано, що для незворотних процесів найбільшим ккд будуть мати процеси з мінімумом виробництва ентропії. Тому в Харківському державному університеті харчування та торгівлі розробляється новий напрям: ЗТП-сушіння в тепломасообмінних модулях (ТМОМ), що поєднує низькі енерговитрати з низькими втратами природного хіміко-біологічного складу харчової сировини [6–7].

Мета та завдання статті. Метою роботи є обґрунтування можливості підвищення енергоефективності процесу ЗТП-сушіння у тепломасообмінних модулях під дією підвищеного тиску та визначення раціональних режимів сушіння за енерговитратами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом для досліджень ЗТП-сушіння була попередньо підготовлена дерев'яна тирса тому що, вона відноситься до колоїдних капілярно-пористих тіл, як і більшість рослинних харчових матеріалів, але на відміну від рослинної сировини, тирса у своєму складі має мало водорозчинних речовин і після багаторазового сушіння зберігає свою первісну структуру. Початковий вологовміст об'єкта досліджень регулювався наступним чином. Завантажений тирсою ТМОМ занурювали на певний час у воду, далі надлишкам води давали змогу витекти та залишали для вирівнювання вологовмісту за об'ємом ТМОМ.

ТМОМ заповнений матеріалом розміщали у робочій камері експериментальної сушильної установки. У робочій камері створювався надлишковий тиск за товщиною ТМОМ за допомогою зовнішнього компресора. Кінетика сушіння вимірювалась безпосереднім зважуванням сушильної камери на електронних вагах. Процес вимірювання зупиняли коли припинявся процес випаровування вологи з матеріалу.

І метою визначення впливу періодичності роботи компресора на швидкість сушіння режим роботи компресора змінювався від безперервного до періодичного з періодом включення $\Delta\tau$ від 1 до 5

хвилин. При цьому тиск та температура на вході в фільтраційний модуль підтримувались постійними, відповідно 2 атм та 80°С. Тиск на виході з фільтраційного модуля теж був незмінним і дорівнювався нормальному атмосферному тиску. Встановлено, що за характером отримані криві сушіння аналогічні тим, що мають місце за традиційного ЗТП-сушіння у тепло-масообмінних модулях (рис.1). Характер кінетичних кривих свідчить про те, що суттєвий вплив на кінетику масоперенесення тисне тиск сушильний агент, який надходить з компресора. Це впливає з того, що частина вологи випаровується з ТМОМ у рідкому стані без перетворення в пару. Це викликано тим, що під дією надлишкового тиску в капілярах матеріалу виникає фільтраційне перенесення і волога рухається за напрямом градієнта тиску.

Це принципове відмінність способу сушіння у тепло-масообмінному модулі з фільтраційним перенесенням від традиційного ЗТП-сушіння, де градієнти температури та вологовмісту спрямовані у протилежні боки.

На рисунку 2 наведено типову кінетику температури на виході з ТМОМ під дією фільтраційного перенесення. Як і за традиційного ЗТП-сушіння температурна крива має два характерних екстремуми, які поділять процес сушіння на три періоди: прогрів, максимальна швидкість сушіння та спадаюча швидкість сушіння.

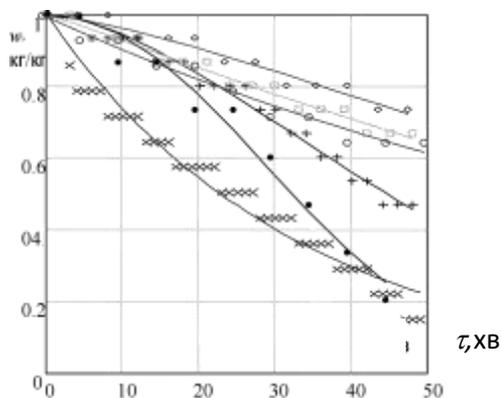


Рисунок 1 – Кінетика вологовмісту під час сушіння у тепло-масообмінному модулі за різного періоду зменшення тиску $\Delta\tau$: 1 – $\Delta\tau=0$ хв; 2 – $\Delta\tau=1$ хв; 3 – $\Delta\tau=2$ хв; 4 – $\Delta\tau=3$ хв; 5 – $\Delta\tau=4$ хв; 6 – $\Delta\tau=5$ хв

Встановлено, що середня різниця температури між входом та виходом ТМОМ залежить від періодичності роботи компресора – чим вона більше, тим більша різниця температур вхід-вихід (рис. 3.). Це пов'язано з тим, що чим більше не працює компресор, тим більше енергії відбирається від повітря, що закачане у тепломасообмінний модуль.

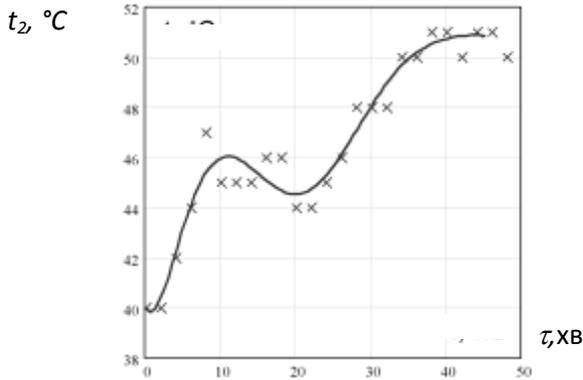


Рисунок 2 – Температура на виході з масообмінного модуля в процесі сушіння під дією надлишкового тиску (за $t_1=80^\circ\text{C}$; $\Delta\tau=2$, хв)

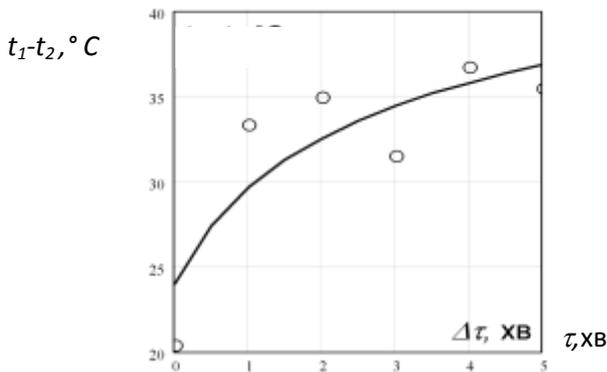


Рисунок 3 – Середня різниця температур вхід-вихід тепло-масообмінного модуля залежно від періоду зменшення тиску $\Delta\tau$ (t_1 - температура на вході з ТМОМ)

Для з'ясування ефективності процесу сушіння у тепло-масообмінному модулі під дією надлишкового тиску був

розрахований коефіцієнт енергоефективності процесу як відношення продуктивності сушарки під час випаровування вологи до повних питомих енерговитрат на процес сушіння.

$$E_{\phi} = \frac{(m/\tau)^2}{Q/\tau}, \quad (1)$$

де E_{ϕ} – показник енергоефективності процесу сушіння, $(\text{г/с})^2/\text{МВт}$;

m – кількість випареної вологи під час процесу сушіння, г;

τ – тривалість сушіння, с;

Q – загальні витрати енергії на процес сушіння, МДж.

За експериментальними даними визначалась продуктивність сушарки та повні енерговитрати на процес, які враховують потужність компресора та потужність електричного калорифера. Як видно з отриманих даних на рис. 4 енергоефективність зменшується майже у 6 разів зі зростанням періодичності включення компресора від 1 до 5 хвилин. Це означає, що за рівних значень енерговитрат на процес у 6 разів зменшується продуктивність сушарки.

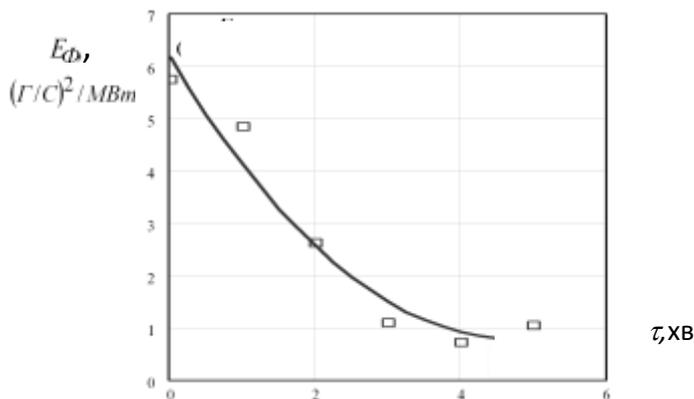


Рисунок 4 – Коефіцієнт енергоефективності процесу сушіння у тепло-масообмінному модулі залежно від періоду зменшення тиску $\Delta\tau$

На нашу думку це викликано тим, що коли тиск компресора скидається періодично сушильний агент набирає вологу з матеріалу, що висушується, та зменшується швидкість дифузії вологи, оскільки різниця парціальних тисків пари у матеріалі та сушильному агенті зменшується. Натомість при безперервній роботі компресора, коли парціальний тиск сушильного агента, що поступає у тепло-

масообмінний модуль має постійне значення, швидкість дифузії максимальна і, хоча у цьому випадку абсолютні енерговитрати більше, але питомі енерговитрати (на 1 кг вологи, що видаляється з матеріалу) менші за рахунок більшої швидкості сушіння.

Висновки. Таким чином проведені експерименти дозволяють зробити висновок про енергетичну ефективність сушіння у тепломасообмінному модулі під дією надлишкового тиску. За раціональний спосіб створення надлишкового тиску слід рекомендувати безперервний режим роботи компресора, оскільки в цьому випадку питомі витрати енергії на випаровування вологи менші ніж за будь-якого іншого періодичного режиму роботи компресора.

Список літератури

1. Kudra T. Energy aspects in drying / T. Kudra // Drying Technology. – 2004. – Vol. 22, №5. – P. 917–932.
2. Данилов И. Экономия энергии при тепловой сушке / И. Данилов, Б. Леончик. – М. : Энергоатомиздат, 1986. –136 с.
3. Робозоэр Л. Об оптимальной организации процессов необратимого теплообмена Л. Робозоэр, А. Цирлин // Теор. осн. хим. Технологии. – 1987. – Т. 21, № 3. – С. 374–382.
4. Энергетические расчеты технических систем : справ. пособие / В. М. Бродянский [и др.] ; под ред. А. А. Долинского, В. М. Бродянского. – К. : Наукова думка, 1991. – 360 с.
5. Энергетический аспект анализа процессов сушки дисперсных и рулонных материалов в активных и гидродинамических режимах / Б. С. Сажин [и др.] //Химическая промышленность. – 1995. – № 8 – С .473-478.
6. Погожих Н. И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях : дис. ... д-ра техн. наук : 05. 18. 12 защищена : утв. 05.10.02 / Погожих Н. И. – Х. ; 2002. – 331 с.
7. Потапов В. А. Научные основы анализа и управления кинетикой сушки пищевого сырья : дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12 : защищена 18.05.07 : утв. 05.11.07 / Потапов В. А. – Х., 2007. – 348 с.

Отримано 01.02.2013. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, О.Ю. Гриценко, Ю.О. Пономаренко, 2013.