

З. Баршай, Ю. С. Валоти мира [Текст] / Ю. С. Баршай. – СПб. : Нева ; М. : ОЛІМА-ПРЕС, 2002. – 319 с.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.  
© Г.В. Дейниченко, Н.О. Афукова, 2009.

УДК 664.834.2

**В.О. Потапов**, д-р техн. наук  
**С.О. Шевченко**

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОНВЕКТИВНИХ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛО-МАСООБМІНУ ШЛЯХОМ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ**

*Запропоновано метод зниження енерговитрат на створення конвективного потоку в тепло- та масообмінних процесах, заснований на зміні швидкості потоку пропорційно зміні кінетики технологічного процесу.*

*Предложен метод снижения энергозатрат на создание конвективного потока в тепло- и массообменных процессах, основанный на изменении скорости потока пропорционально изменению кинетики технологического процесса.*

*The method of decline of energy consumption on creation of convective stream in heat-mass transfare processes is offered, which based on a change a flowrate proportionally to the change of kinetics of technological process.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сучасний стан виробництва в харчовій і переробній промисловості на тлі триваючого подорожчання енергоресурсів викликає потребу в пошуку нових підходів при розробки енерго- і ресурсозберігаючих технологій і устаткування, а також підвищення ефективності роботи існуючого устаткування. Це найбільше актуально для енергоємних тепло- й масообмінних процесів, на які припадає до 80% теплової енергії споживаною галуззю. Як відомо найбільш інтенсивним способом тепло- та масообмінних процесів у потоці є конвективний, при цьому для створення руху взаємодіючих фаз використовуються насоси, вентилятори, що мають привід від електродвигунів. В умовах змінної кінетики процесу тепло- та масообміну, очевидно, що витрату фази, яка рухається, також необхідно регулювати, що дозволяє знижувати питомі витрати енергії на створення конвективного потоку [1;2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для вирішення цього завдання в роботі [3] на основі аналізу сучасних тенденцій у

галузі харчового обладнання було запропоновано загальний підхід до пошуку раціональних режимів процесів тепло- та масообміну.

**Мета та завдання статті.** Метою даної роботи є теоретичний аналіз енергоефективності процесів тепло- та масообміну при регулюванні швидкості конвективного потоку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як відоме рівняння теплового балансу для конвективного тепло- та масообмінного процесу може бути записане в наступному вигляді.

$$c_a v_\infty \rho_a (t_\infty - t_{\infty 0}) = \rho_0 c R_V \frac{dt}{d\tau} - R_V \rho_0 r_w \frac{dw}{d\tau} + q_{\text{пот}}, \quad (1)$$

де  $c_a$  – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·К);  $v_\infty$  – швидкість теплоносія, м/с;  $\rho_a$  – густина теплоносія, кг/м<sup>3</sup>;  $t_\infty, t_{\infty 0}$  – температура теплоносія на виході й вході з апарата, К;  $\rho_a$  – густина оброблюваного продукту, кг/м<sup>3</sup>;  $c_a$  – питома теплоємність продукту, Дж/(кг·К);  $R_V$  – відношення об'єму до площі поверхні оброблюваного тіла;  $t$  – середня температура продукту, К;  $\tau$  – поточний час, с;  $r_w$  – питома теплота фазового переходу, Дж/кг;  $w$  – вміст вологи в продукті, кг/кг;  $q_{\text{пот}}$  – густина потоку теплових втрат, Вт/м<sup>2</sup>.

З останнього рівняння визначається оптимальний закон зміни швидкості конвективного потоку  $v_\infty(\tau)$ , що забезпечує задану кінетику тепло-масообмінного процесу. Застосовуючи плавне регулювання швидкості конвективного потоку, можна забезпечити його оптимальні витрати, а отже мінімізувати енерговитрати на технологічний процес. Відносні витрати енергії на процес із регульованою витратою у порівнянні з режимом у разі постійної витрати можна розрахувати у такий спосіб

$$q^* = \frac{\int_0^{\tau_c} v_\infty(\tau) d\tau}{v_\infty \tau_c}, \quad (2)$$

де  $q^*$  – коефіцієнт зниження енерговитрат на процес зі змінною витратою теплоносія  $\tau_b$  – тривалість процесу;  $v$  – постійна швидкість теплоносія;  $v_\infty(\tau)$  – змінна швидкості теплоносія.

На рисунку 1 наведено розрахункову кінетику конвективного сушіння картоплі за температури 80° С для двох варіантів: процесу з постійною витратою теплоносія й процесу при оптимальній витраті

згідно з рівнянням (1). Тривалість сушіння до стандартного кінцевого вологовмісту 12% за першим режимом становить 155 хв, за іншим 185 хв, проте витрати енергії на процес сушіння в іншому варіанті, як показує розрахунок, на 35% менше ( $q^*=0,65$ ).

Узагальнені результати аналізу впливу режимів зі змінною витратою теплоносія представлені на рисунку 2. Зміна тривалості процесу сушіння моделювалася зміною кінетичних коефіцієнтів, що входять в (1), потім розраховувався оптимальний закон зміни швидкості теплоносія й відносні енерговитрати за рівнянням (2).

Результати цих розрахунків показують, що ефект від енергозберігання зростає зі зменшенням інтенсивності процесу, що викликано визначальним впливом швидкості переміщення теплоносія на зовнішній тепло- та масообмін, що лімітує в цьому випадку інтенсивність масоперенесення. Для високо інтенсивних процесів, швидкість теплоносія не впливає на кінетичні коефіцієнти рівняння (1) і ефект енергозберігання зникає. Для технічної реалізації тепло- та масообмінних процесів сушіння зі змінною витратою теплоносія необхідне застосування фазово-імпульсних регуляторів частоти оборотів електродвигунів змінного струму і програмне керування сигналом на підставі рівняння (1). Більше доступним варіантом у вартісному вираженні є використання двоступінчастих режимів

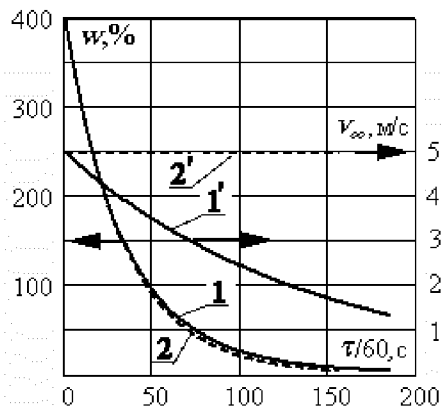
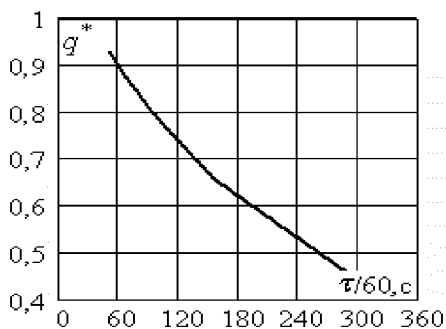


Рисунок 1 – Кінетика сушіння картоплі при змінній (1) і постійній витраті теплоносія (2). 1',2' – швидкість теплоносія

сушіння, коли швидкість переміщення теплоносія стрибком змінюється в певний момент часу. Технічно такий режим реалізується застосуванням двохшвидкісних асинхронних електродвигунів, що мають дві стандартні частоти обертання зі співвідношенням 1:2. Проте

у цьому випадку необхідно розрахувати момент зміни швидкості обертання електродвигуна, за якого забезпечуються мінімальні енерговитрати на технологічний процес.

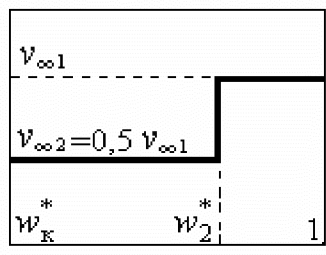
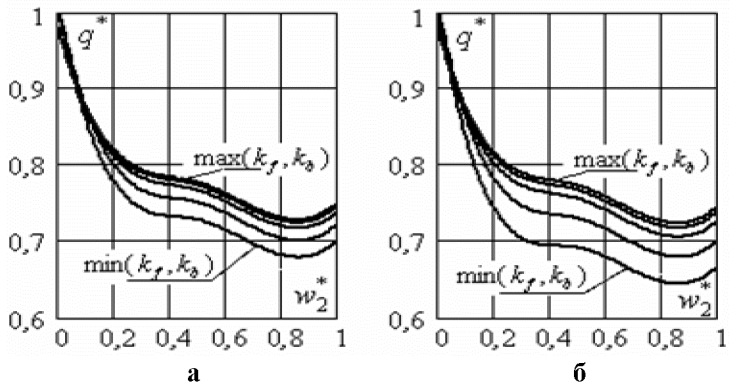
На рисунку 3 наведено розрахунки відносних енерговитрат у двоступінчастих режимах низько інтенсивного сушіння із двома фіксованими швидкостями переміщення теплоносія зі співвідношенням 1:2. Родина кривих побудована для різних кінетичних коефіцієнтів, що моделюють різну тривалість процесу. По осі абсцис відкладений безрозмірний вологовміст ( $w^* = w / w_0$ , де  $w_0$  – початковий вологовміст), за якого треба переходити від більшої швидкості теплоносія до меншої. Значення  $w_2^* = 0$  відповідає сушінню при постійній швидкості теплоносія, значення  $w_2^* = 1$  відповідає сушінню при зменшеній швидкості  $v_{\infty 2} = 0,5v_{\infty 1}$ . Як показали



**Рисунок 2 – Коефіцієнт зниження енерговитрат за різної тривалості процесу із змінною витратою теплоносія**

розрахунки, незалежно від кінетичних коефіцієнтів, які змінювались на порядок при значенні безрозмірного вологовмісту  $w_2^* \approx 0,86$  є локальний мінімум енерговитрат. Існування його обумовлене тим простим чинником, що тривалість сушіння, при зміні швидкості переміщення теплоносія вдвічі, змінюється в меншому ступені, а тому є оптимальне співвідношення між періодами зміни швидкості теплоносія. Як показали результати моделювання, значення цього критичного вологовмісту залежить від співвідношення швидкостей

переміщення теплоносія, зокрема, при  $v_{\infty 2} = v_{\infty 1} / 3$   $w_2^* \approx 0,88$ , а при  $v_{\infty 2} = v_{\infty 1} / 4$   $w_2^* \approx 0,89$ .



**Рисунок 3 – Вплив на відносні енерговитрати моменту зміни швидкості теплоносія за різних режимів двоступінчастого сушіння: а)  $Re(v_{\infty 1})=100$ ; б)  $Re(v_{\infty 1})=250$ ; в) схема двоступінчастого режиму сушіння зі зміною витрати теплоносія**

Інша відмінність двоступінчастих режимів полягає в тому, що зі збільшенням інтенсивності процесу ефект енергозберігання зростає, а при зниженні інтенсивності перестає змінюватися. Цей факт пояснюється тим, що перший період, що проходить при підвищеній швидкості теплоносія, незначний по тривалістю ( $w^* = 1...0,86$ ), тому більша частина процесу проходить при зниженій швидкості і, чим менше тривалість цього періоду, тим менше енерговитрати.

На рисунку 4 наведено розрахункові залежності коефіцієнта енерговитрат для двоступінчастих режимів зі змінною витратою теплоносія при різній тривалості процесу в умовах постійної витрати теплоносія. При цьому порівняння проведене для одностадійного процесу розраховане за більшої швидкості сушильного агента (при  $Re(v_{\infty 1})$ ).

Як показують ці графіки, із застосуванням двоступінчастих режимів низькоінтенсивних процесів можна на 10...40% знизити енерговитрати на створення конвективного потоку.

Отримані графіки можна використовувати в практичній діяльності у такий спосіб – по відомій кінетиці одностадійного процесу розраховується тривалість першого періоду двоступінчастого режиму із умови  $w = w_2 = 0,86w_0$  й оцінюються економічна ефективність такого режиму сушіння за величиною  $q^*$ .

**Висновки.** Запропонований метод зниження енерговитрат у тепломасобінних процесах, дозволяє на 10...40% знизити енерговитрати на створення конвективного потоку шляхом використання двоступінчастих режимів зі змінною витратою теплоносія пропорційно зміні кінетики технологічного процесу.

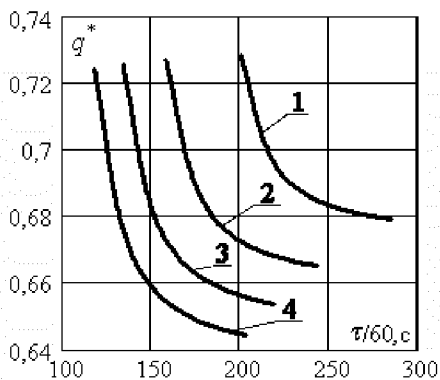


Рисунок 4 – Порівняння витрат енергії при використанні двоступінчастого режиму залежно від тривалості процесу при постійній витраті теплоносія: 1 –  $Re=100$ ; 2 –  $Re=150$ ; 3 –  $Re=200$ ; 4 –  $Re=250$

#### Список літератури

1. Юдаев, Б. Н. Теплопередача [Текст] : учебник / Б. Н. Юдаев. – М. : Высш. шк., 1973. – 360 с.

2. Бурдо, О. Г. Прикладное моделирование процессов переноса технологических системах [Текст] : учебник / О. Г. Бурдо, Л. Г. Калинин. – Одесса : Друк, 2008. – 348 с.

3. Потапов, В. А. Научные основы анализа и управления кинетикой сушки пищевого сырья [Текст] : дис. ... д-р техн. наук: 05.18.12 : защищена 18.05.07 : утв. 05.11.07/ Потапов Владимир Алексеевич. – Харьков, 2007. – 348 с.

Отримано 30.09.2009. ХДУХТ, Харків.

© В.О. Потапов, С.О. Шевченко, 2009.

УДК 637.131.8:66.094.415

**Седо Ахмед**, магістр (ХДУХТ, Харків)

**П.П. Пивоваров**, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

**Г.В. Дейниченко**, д-р техн. наук, проф. (ХДУХТ, Харків)

**Д.П. Крамаренко**, канд. техн. наук, доц. (ЛНУ ім. Шевченка, Луганськ)

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ МОЛОЧНО-БІЛКОВОГО ФАРШУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЙОДОВМІСНОЇ ДОБАВКИ**

*Представлено результати наукових досліджень стосовно оптимізації рецептурного складу напівфабрикату молочно-білкового фаршу з використанням йодовмісної добавки – зостери.*

*Представлены результаты научных исследований относительно оптимизации рецептурного состава полуфабриката молочно-белкового фарша с использованием йодсодержащей добавки – зостеры.*

*The Presented results of the scientific studies of the determination optimum compound department composition of the half-finished item milk-protein mincemeat with use iodine abecedary additives eelgrass.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Останнім часом перед людством гостро стоїть проблема якості їжі, яку воно споживає. Якісний склад продуктів харчування на початку третього тисячоліття, в значному ступені, пов'язаний з різким погіршенням екологічної ситуації в усьому світі, що обумовлено інтенсивним впливом на навколишнє середовище продуктів техногенної діяльності людини [1]. В Україні це становище поглиблюється аварією на ЧАЕС, наслідки якої поширилися на всю територію країни.