



УДК 66.15.23

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

Шандиба О.Б., к.т.н.*,

Артюхова Н.О., к.т.н.*

Думанчук М.Ю., інженер

Річкаль Н.М., інженер

Сумський національний аграрний університет

**Сумський державний університет*

Телефон: +38(095)213-00-19

Анотація – в статті розглядається вплив технологічних факторів тепломасообмінних процесів на інтегральний показник їх енергоефективності. На прикладі сушіння показано оптимальні межі співвідношення витрат теплоносія та зернової сировини.

Ключові слова: тепломасообмінні процеси, енерговитрати, теплоносії, турбулізація, дисперсний матеріал, енергоефективність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Тепломасообмінні процеси є найбільш розповсюдженими технологічними процедурами при очищенні, мийці, сушінні як поверхонь деталей, так і дисперсних матеріалів в багатьох галузях виробництва та побуті. В той же час, незважаючи на широке розповсюдження, процеси залишаються одними з найменш економічних, з точки зору, споживання енергоресурсів та небезпечними з екологічної точки зору[1,5].

Наприклад, зростання витрат потоку теплоносія з метою інтенсифікації процесу сушіння призводить до більш швидкого зростання енерговитрат, аніж швидкості сушіння, що проявляється у зменшенні питомої вологовіддачі одиничного обсягу теплоносія. Тому при деяких граничних значеннях швидкості теплоносія та ступеню його турбулізації, економічність такого методу інтенсифікації сушіння знижується. Природнім чином виникає потреба в підвищенні енергоефективності тепломасообміну в системі Т:Г по критерію питомих енерговитрат [1-3]. Аналогічна ситуація має місце і у випадку промивання дисперсних матеріалів в системі Т:Ж [4].

Приймаючи до уваги відому аналогію між тепло- та масообмінними процесами, на рис.1 показана теоретична залежність ефективності одноступеневого тепломасообмінного процесу від співвідношення тепломасообмінної та витратної характеристики, отримана для проми-

вання дисперсних матеріалів. В принципі такий же вигляд має і графік ефективності сушіння зернової сировини. Слід зауважити, що максимальний ефект одноступеневого тепломасообмінного процесу може бути досягнутий лише при оптимальному співвідношенні витратної та тепломасообмінної характеристик.

Формулювання цілей статті. Враховуючи диференційовану ефективність тепломасообмінних процесів по критерію енерговитрат для різних аерогідродинамічних режимів взаємодії потоків та конструктивних особливостей обладнання, мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні вибору оптимального співвідношення витрат оброблюваного дисперсного матеріалу відносно сушильного або іншого поглинаючого агента.

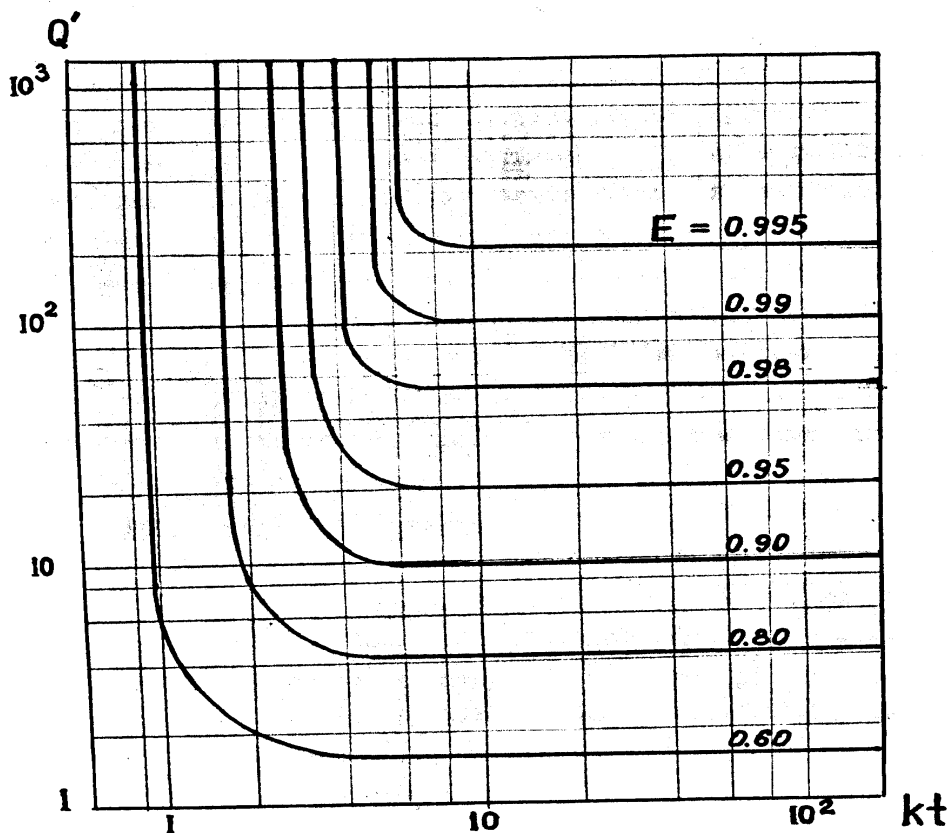


Рис. 1. Ефективність мийки в залежності від витратної Q' та масообмінної kt характеристики, де Q' - відношення витрат чистої води до гідравлічного виносу забруднення kt - добуток об'ємного коефіцієнта масовіддачі на час промивання

Основні матеріали дослідження. Для обґрунтування методики оптимізації будемо виходити з поширених, експериментально підтверджених залежностей між впливаючими технологічними та економічними факторами.

Так, питома вартість процесу сушіння складається з вартості енергоресурсу (сушильного агента) та експлуатаційних витрат, записаних у вигляді двочленної цільової функції [1]

$$F = (aV_c + B) / M, \quad (1)$$

де a – вартість енергоресурсу, грн/м³;
 V_c – витрати сушильного агента, м³/год;
 B – виробнича складова вартості продукту без витрат на сушіння, грн/год;
 M – продуктивність процесу по видаленій волозі, кг/годину.

Зрозуміло, що виробничий діапазон коливань співвідношення витрат сушильного агента до витрат вологого матеріалу V_c/V_m обмежується з одного боку, аеродинамічними умовами існування зваженого шару, а з іншого - швидкістю винесення найменших зернин (пилової фракції) продукту. В цьому ж діапазоні існує застереження, що недостатня кількість теплоносія на межі утворення зваженого шару може не забезпечити необхідну якість сушіння. Оптимізаційна задача, таким чином, полягає у визначенні мінімального співвідношення витрат теплоносія та дисперсного матеріалу в обмеженнях прийнятних техніко-економічних показників сушарки. Значення витрат сушильного агента, яке відповідає граничній швидкості (початок переходу матеріалу в зважений стан), в подальшому стає фактором оцінювання питомих енерговитрат.

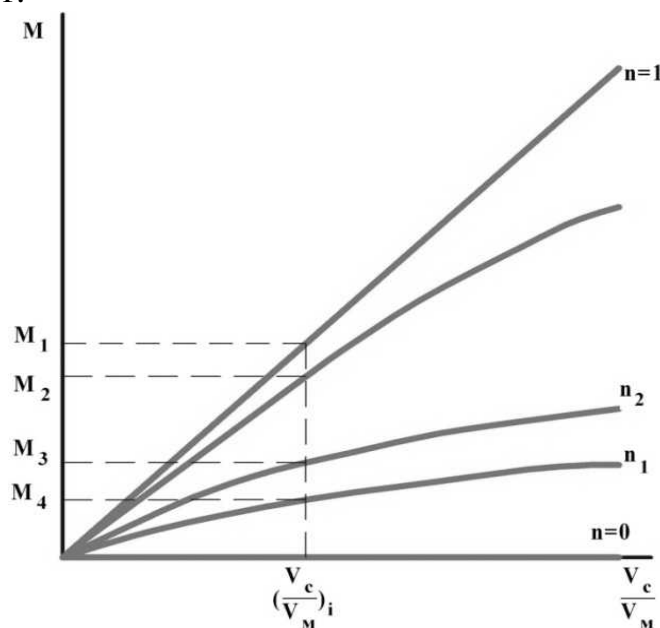


Рис. 2. Вплив співвідношення витрат повітря та дисперсного матеріалу V_c/V_m на кількість видаленої вологи в залежності від емпіричного показника n ($n_2 > n_1$)



Після цього, виходячи з найпростіших ступеневих критеріальних оцінок зв'язку ефективності видалення вологи з витратами теплоносія (рис.2) в зваженому шарі, можна оцінити питомі енерговитрати процесу сушіння.

Співставлення графічних залежностей на рис. 2 показує загальну тенденцію зменшення ефективності використання сушильного агента при збільшенні його відносних витрат. При цьому для кращих конструкцій сушарок властиві більш круті характеристики з більшими показниками $n \rightarrow 1$. Відповідно, використання повітря в неекономічних конструкціях ($n \rightarrow 0$) вкрай неефективне, збільшення його відносних витрат не дає очікуваного приросту кількості видаленої вологи, що графічно характеризується похилими кривими в нижній частині графіку. Слід зауважити, що подібний характер мають і ряд інших експериментальних залежностей, зокрема, гіперболічна чи експоненціальна, адекватність, яких після статистичної обробки, може бути не гірша за ступеневу функцію. Але, на даному етапі, нас цікавить визначення самої можливості загального підходу до оцінювання енергоефективності сушарок по питомим витратам, незважаючи на похибки тієї чи іншої апроксимації.

В найбільш загальних апроксимаціях зростання продуктивності сушіння по видаленій волозі (рис.3), показник ступеню звичайно не перевищує $n \leq 0,5$ для монодисперсних матеріалів з гладкою кулястою поверхнею та $n \leq 0,3$ для полідисперсних шорстких матеріалів з мінімальними обмеженнями внутрішньозернового перенесення вологи. Аналогічна тенденція зниження ефективності використання сушильного агента при збільшенні його витрат спостерігається і при сушінні частинок активним вентиляванням.

Використаємо вказані залежності для аналізу введеної раніше цільової функції (1), враховуючи пропорційність між масою видаленої вологи та відносними витратами енергоносія в ступені n .

$$M \sim V_{суш}^n. \quad (2)$$

Підставляючи залежність продуктивності M з виразу (2) в цільову економічну функцію питомих витрат (1), отримаємо

$$F = \frac{aV_{суш} + B}{V_{суш}^n} = aV_{суш}^{1-n} + BV_{суш}^{-n} \quad (3)$$

Мінімум функції питомих витрат досягається за умови

$$\frac{dF}{dV_{суш}} = 0,$$

або

$$a(1-n)V_{суш}^{-n} - BnV_{суш}^{-(1+n)} = 0.$$

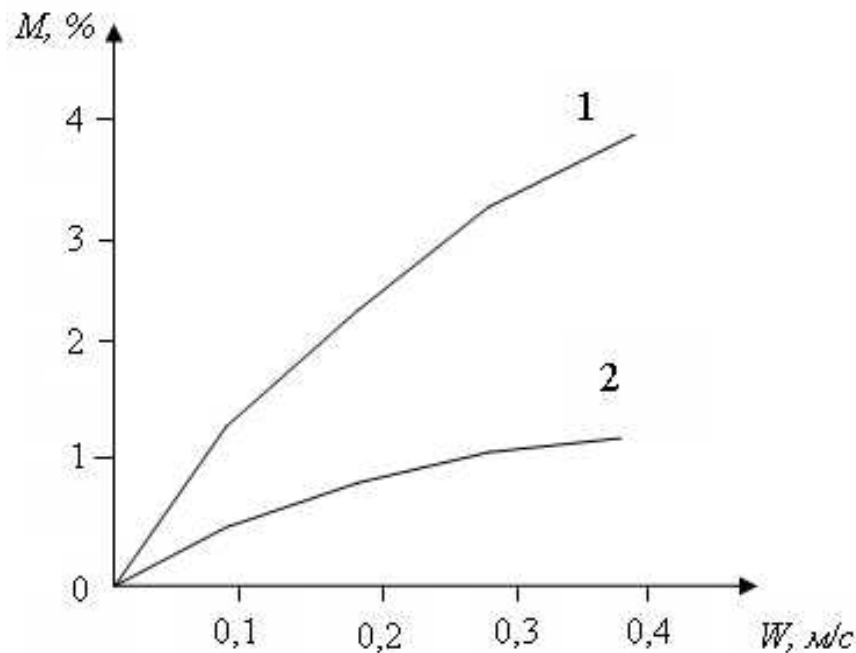


Рис. 3. Зниження відносної кількості вологи, що видаляється теплоносієм (повітрям) в залежності від його швидкості та початкової вологості матеріалу: 1 – 30% , 2 - 65%

Звідки після перетворень отримаємо значення мінімальних витрат теплоносія при фіксованих економічних параметрах a і B

$$V_{суш}^{-n}[a(1-n) - BnV_{суш}^{-1}] = 0,$$

або нехтуючи тривіальним коренем $V_{суш}^{-n} = 0$

$$V_{суш} = \frac{Bn}{a(1-n)}. \quad (4)$$

Реалізація подібної процедури оцінювання енергоефективності сушіння по витратам теплоносія при фіксованих температурних та вологісних характеристиках взаємодіючих фаз може мати практичне застосування. При цьому, наявність різного роду експериментальних технологічних апроксимацій для складових цільової функції дозволить знайти межі економічно обґрунтованого співвідношення витрат теплоносія та дисперсного матеріалу.

Конкретизація вартості енергоресурсу a , виробничої складової B та показника n ступеневої функції для визначеного типу дисперсного матеріалу і сушарки, робить можливим обчислення функції питомих витрат за формулою (3). Наприклад, для вартості енергоресурсу (нагрітого повітря) $a = 1,35$ грн/м³, експлуатаційних витрат $B = 0,8$ грн/год, $n = 0,53$ отримаємо функцію відносних питомих витрат у вигляді (рис.4) з характерним мінімумом, що відповідає найбільш економічній витраті сушильного агента згідно виразу (4).

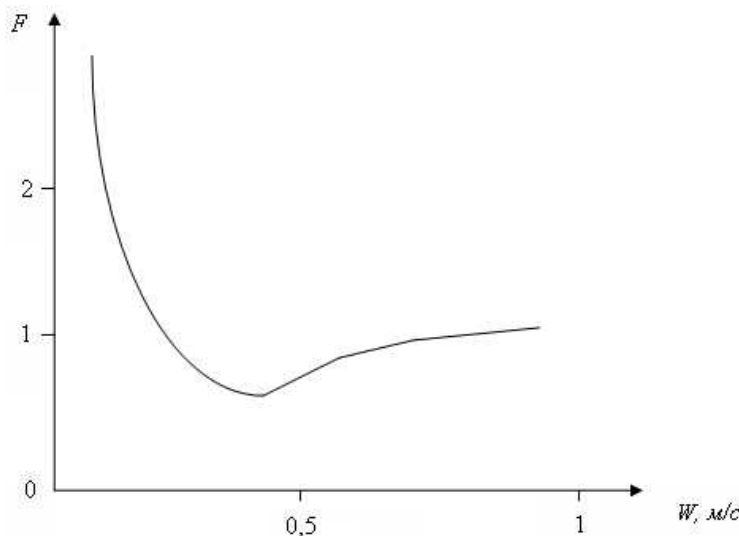


Рис. 4. Характерний вигляд функції питомих витрат

Використовуючи наведені дані розрахунку питомої вартості процесу сушіння поліпропілену в сушарках різних конструкцій, отримано результати, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика енергоефективності процесу сушіння піску в апаратах різного типу*

| Тип сушарки | Параметр n | Питома вартість видалення вологи, грн/кг |
|---------------------------|--------------|--|
| Полична сушарка | 0,53 | 51,6 |
| Сушарка зваженого шару | 0,49 | 73,99 |
| Пневмотранспортна сушарка | 0,46 | 97,24 |
| Стрічкова сушарка | 0,43 | 129,93 |

* початкова вологість - 13% , кінцева - 7%, продуктивність - 1000 кг/год.

Висновок. Представлений в статті підхід до оптимізації технологічних параметрів тепломасообмінних процесів по узагальненим параметрам енергоефективності дозволяє спростити процедуру порівняння та вибору раціонального співвідношення витрат теплоносія та режимів його взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Список використаних літературних джерел

1. *Артюхова Н.О.* Оценка энергетической эффективности многоступенчатой конвективной сушки концентратов и минерального сырья / *Н.О.Артюхова, О.Б. Шандиба, А.О.Артюхов* //Науковий Вісник НГУ, № 1(139). - 2014, С. 92-98.

2. *Артюхова Н.О.* Вплив організації руху сушильного агента на якість сушіння матеріалів у гравітаційних поличних апаратах /



Н.О. Артюхова, М.П. Юхименко // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2012. – Випуск 41. – Т.2. – С. 233-237.

3. Станкевич Г.А. Своевременная сушка семян подсолнечника - залог их качества и сохранности / Г.А. Станкевич. - Сайт "Агроогляд: овощи и фрукты" [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.lol.org.ua/>.

4. Shandyba A.B. Rational water consumption under multistage washing / A.B. Shandyba, D.N. Shpetny // Збірник праць XVII Міжнародного симпозиуму «Методи дискретних особливостей в задачах математичної фізики. (МДОЗМФ-2015). Харківський національний університет ім. Н.В. Каразіна, Сумський державний університет. Суми, 8-13 червня 2015 р. – С. 273-277.

5. Курпа М.Я. Оптимізація процесів оброблення і зберігання насіння кукурудзи та методи поліпшення його якостей. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.14 - насінництво. – Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва УААН, Харків, 2007.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Шандыба А.Б., Артюхова Н.А., Думанчук М.Ю., Ричкаль Н.Н.

Аннотация – в статье рассматривается влияние технологических факторов теплообменных процессов на интегральный показатель их энергоэффективности. На примере сушки показаны оптимальные границы соотношения затрат теплоносителя и высушиваемого зернового сырья.

ENERGY CONSUMPTION SAVING FOR MASS AND HEAT-TRANSFER PROCESSES

Shandyba A., Artykhova N., Dumanchuk M., Richkal N.

Summary

The article deals with the technological factors influence for the integral index of energy consumption saving. On the example of drying the optimal borders of the dispersion material are investigated.