

УДК 664.8.047:001.891.57

Зиков О.В., к.т.н., доцент, **Воскресенська О.В.**, інженер ©
Одеська національна академія харчових технологій

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ АМАРАНТУ В АПАРАТІ З ТЕРМОСИФОНОМ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

Аналізуються результати експериментального і теоретичного моделювання процесу сушіння амаранту в апараті на основі термосифону, що обертається.

Ключові слова: моделювання, сушіння, амарант.

Відомо, що процеси сушіння і теплової обробки є вельми енергоємними. В більшості випадків організацію цих процесів не можна визнати оптимальною з енергетичної точки зору, достатньо науково обґрунтованою і максимально відповідною кінетичним, гідродинамічним і термодинамічним закономірностям процесів. На зернопереробних підприємствах велика доля фізично і морально застарілої малопродуктивної сушильної техніки, що приводить не лише до перевитрат паливно-енергетичних ресурсів, але і відбивається на якості продукції, що випускається.

Однією з можливостей підвищення ефективності організації процесів сушіння є вдосконалення методів підведення теплоносія. Вдосконалення способів підведення тепла безпосередньо пов'язане з інтенсифікацією теплообміну і зниженням питомих витрат тепла.

Значні можливості економії ресурсів створюються при автоматизації технологічних процесів сушіння зернових культур. Проте, цей перспективний шлях оптимізації управління процесами сушіння в переробних галузях АПК ще не знайшов гідного місця у вирішенні актуальних питань енергозбереження. Недостатньо добре організована післяжнивна обробка зерна веде до втрат урожаю до 2...3%. Це у свою чергу відбивається на заготівці зерна високої якості, що придатна для виготовлення хлібопекарської муки. Значна кількість випущеної муки характеризується зниженими властивостями: зниженою кількістю і якістю клейковини, підвищеною ферментативною активністю, обумовленою наявністю в помельних сумішах пророслого, пошкодженого клопом-черепашкою, морозобійного зерна та ін.

У сучасних умовах зростаючого споживання енергії, з одного боку, і дефіциту енергетичних ресурсів, з іншого, все більш гостро ставляться питання раціонального використання енергії, утилізації і рекуперації теплоти у всіх процесах харчової технології. Це відноситься і до сушіння зерна, яке неминуче супроводиться неповним використанням енергії теплоносія, що пов'язано з

умовами гіротермічної рівноваги між висушуваним матеріалом і сушильним середовищем.

У техніці сушіння широке застосування знаходять теплові труби і термосифони, які дозволяють довести зерносушильні установки до високої енергетичної досконалості відносно використання, утилізації і рекуперації теплоти відпрацьованого сушильного агента. При цьому значно знижуються витрати енергії (до 30%), а здійснення «м'яких» режимів сушіння дозволяє отримати висушене зерно високої якості.

Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки, а також досягнення в області теорії тепло- і масопереносу при сушінні колоїдних капілярно-пористих матеріалів дозволяють досліджувати процес сушіння зерна при найбільш раціональних з енергетичної точки зору схемах підключення термомеханічного агрегату, що обертається (ТМА). В зв'язку з цим, актуальним завданням є розробка математичної моделі сушильної технологічної системи для моделювання одночасно протікаючих тепло-масообмінних процесів: сушіння зерна, регенерації робочих поверхонь теплообмінних пристроїв, процесу теплообміну між теплоносіями різного температурного потенціалу. Можливо, цей напрям дозволить створити нові технології енергозбереження і способи сушіння зерна в нових, розроблених на основі теплових труб і термосифонів, сушарках.

На сьогоднішній день досить чітко визначені принципи енергозбереження в процесах сушіння, до основних з яких відносяться максимальне використання теплоти відпрацьованого сушильного агента за рахунок його рециркуляції [3]; вживання теплових труб і термосифонів для здійснення низькотемпературної і низьковитратного сушіння [4,5]; використання вторинних енергоресурсів; математичне моделювання, що забезпечує максимальну міру кінетичної, гідродинамічної і термодинамічної відповідності; оптимізація і управління процесами сушіння і теплової обробки, що запобігають витратам тепла і електроенергії.

Не дивлячись на принципи енергозбереження, що сформувалися, в процесах сушіння, немає однозначного вирішення їх реалізації. Тому вирішення завдань енергозбереження при конкретному способі енергопідводу вимагає індивідуального підходу з врахуванням специфіки кожного виду продукту. У даній статті аналізуються результати експериментального і теоретичного моделювання процесу сушіння амаранту в апараті на основі термосифону, що обертається.

Амарант — дрібнонасінна культура (маса 1000 насіння 0,4...0,55г), розмір цілого насіння не перевищує в діаметрі 0,6...0,8 мм. В умовах півдня України амарант слід розглядати не лише як джерело живильної вегетативної маси, але і як перспективну зернофуражну культуру. За даними науки, окремі сорти амаранта здатні забезпечувати врожайність 25...60 ц зерна з гектара. Живильні властивості амаранта важко переоцінити. Для порівняння: показник живильної цінності білка амаранту дорівнює 75 одиницям, а молока лише 72 одиницям. Коріння, стебла, листя, квіти і насіння, в тій або іншій мірі, є джерелом масла, крохмалю, вітамінів, пектину, каротину, протеїну, мікроелементів, мінеральних солей, цукру. В них багато унікального білка вищої якості, що

містить лізін — кошовної і незамінної для людського організму амінокислоти, якої в білці 6...9%, що значно більше чим в білці кукурудзи, пшениці, рису. У Японії поживність зелених частин рослини амаранта порівнюють з м'ясом кальмара. Молоде листя амаранту за смаком схоже зі шпинатом. Їх вживають в свіжому, сушеному і консервованому вигляді. Використовують в салатах, супах, м'ясних і рибних блюдах, в приготуванні соусів, запіканок, як начинки для пирогів, заварюють чай і додають в компоти, отримують цілющий сік і готують з нього сиропи. Заготовляють зелені частини рослини амаранту сушінням і заморожуванням. Насіння, в першу чергу, є джерелом кошовного за своїми властивостями масла, ціннішого, ніж обліпихове. Їх можна вживати обсмаженими. При нагріванні насіннинки розтріскуються і набувають приємного горіхового смаку. Обсмаженими і сирими їх додають в запіканки, оладки, пудинги, торти, здобу. Мука і крупа з насіння амаранту використовуються як кошовні харчові (до 20%) добавки у виробництві дієтичних продуктів харчування: каш, хлібобулочних, макаронних, кондитерських виробів, дитячого харчування. При додаванні її в пшеничну муку (10%), випечений хліб і здоба набувають цілющих властивостей і довго не черствіють. Вже зараз в різних країнах світу виробляють більше тридцяти видів харчових "амарантомістких" продуктів: вермішель, макарони, соуси, чипси, бесквіти, кекси, вафлі, печиво, безалкогольні напої і пиво.

Для подальшої обробки та зберігання збіжжя амаранту необхідно просушити. У промисловості така технологічна лінія ще не відпрацьована, і сушать амарант різними способами, у тому числі і в сушарках з паралельними потоками [6]. Процес сушіння насіння амаранту, досліджуваний в даній роботі, проходив в установці, роторна конструкція і принцип дії якого приведена в статтях [4,5].

Масовіддача шару амаранту в установці описується рівнянням:

$$\frac{dW}{dt} = \beta \cdot F (p_{\text{пов}} - p_a) \quad (1)$$

де dW — зміна маси вологи в насіннині амаранту в часі; dt — зміна часу;

β — коефіцієнт масобміну; F — площа поверхні насіннини амаранту; $p_{\text{пов}}$ — тиск пари над поверхнею насіннинки; p_a — парціальний тиск водяної пари в повітрі.

Або використовуючи активність води a_w і тиск водяної пари над вільною поверхнею p_n

$$\frac{dW}{dt} = \beta \cdot F (a_w \cdot p_n - p_a) \quad (2)$$

Розділивши отримане рівняння на $G_{\text{общ}}$ і враховуючи, що $G_{\text{общ}} = \rho_o \cdot (F/S_{\text{уд}})$ отримаємо

$$\frac{d\omega}{dt} = \beta \cdot \rho_o \cdot S_{\text{уд}} \cdot (a_w \cdot p_n - p_a) \quad (3)$$

де ω — вологість матеріалу; ρ — щільність шару амаранту;
 $S_{уд}$ — питома поверхня насіння.

Коефіцієнт активності води для амаранту можна визначити по кривих десорбції, приведених в статті [6]. Крива сорбції описується рівнянням

$$\phi_1 := e^{\frac{-(A)}{R \cdot T_1} \cdot e^{-B \cdot U_1}} \quad (4)$$

де $B=25$ та $A := 219.17e^{0.0121 \cdot T_1}$

Коефіцієнт вологопереносу β можна визначити по критеріальному рівнянню

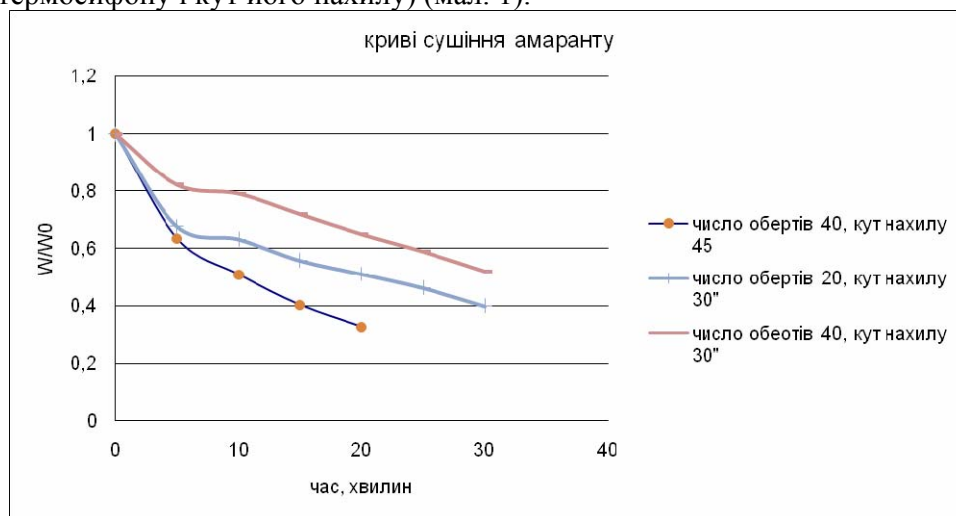
$$Sh = A \cdot Re_B^n \cdot (1 + Pe_m)^m \cdot (\gamma / \gamma_0)^k \quad (5)$$

де A — константа, яка обчислюється експериментально; n, m, k — показники, що визначаються експериментально; Re_B — число Рейнольдса; Pe_m — масообмінне число Пекле; γ, γ_0 — робочий і базовий кут нахилу термосифону, що обертається.

Враховуючи, що вимушений рух повітря створюється лише обертанням агрегату, рівняння (5) може бути спрощене і представлено у вигляді:

$$Sh = A_0 + A_1 \cdot Pe_m^m \cdot (\gamma / \gamma_0)^k \quad (6)$$

В результаті аналізу отриманих критерійних рівнянь маємо декілька кривих сушіння, для чого були проведені експериментальні дослідження сушіння амаранту в термомеханічному агрегаті при різних режимних параметрах (число обертів термосифону і кут його нахилу) (мал. 1).



Мал. 1 – Криві сушіння амаранту в термомеханічному агрегаті при різних режимних параметрах

В результаті обробки експериментальних даних були отримані коефіцієнти критеріального рівняння:

$$\text{Sh} = 4 \cdot 10^{-9} + 6 \cdot 10^{-7} \cdot \text{Re}^{0.9} \cdot \left(\frac{\gamma}{\gamma_0} \right)^2 \quad (7)$$

Отримане рівняння дозволяє розраховувати кінетику сушіння амаранту в термомеханічному агрегаті з ТС, що обертається, при швидкостях обертання термосифону до 40 об/хв і кутах нахилу до 45°.

Література

1. Рудобашта С.П. Математическое моделирование процесса сушки дисперсных материалов // Известия Академии наук. – Энергетика. – 2000. – №4. – С. 98–109
2. Никитенко Н.И., Снежкин Ю.Ф., Сороковая Н.Н. Кинетика и динамика тепломассопереноса при сушке слоя диспергированного коллоидного капиллярно-пористого материала // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 2006. – Вип. 28. – Т.2. – С.140–146
3. Бурдо О.Г., Мілінчук С.І., Зиков О.В. Нові теплотехнології зерносушіння. // Наук.-вироб. журнал – Випуск 3 - Одеса: Одеська національна академія харчових технологій-2006.-С.16-21
4. Безбах И.В., Бурдо О.Г. Термомеханический агрегат для дисперсных продуктов // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса. – 1999. – Вип. 21. – С.234–237
5. Воскресенська О.В. “Кінетика процесу сушіння зернових культур в термосифонно – механічному агрегаті”, – Одеса, – Наукові праці ОНАХТ, – вип.36, – том 1, – 2009р., – 79–82 с.
6. Антипов С.Т. Исследование и анализ гигроскопических свойств семян амаранта // С.Т. Антипов, А.В. Журавлев, И.М. Черноусов, Е.С. Буни. – сборник статей «Вопросы современной науки и техники». – университет им. В.И. Вернадского. – Воронеж. – №4(14). – 2008. – Том 2. – С.197–201

Summary

The results of experimental and theoretical modeling of the amaranth drying in the apparatus based on a rotating thermosyphon is analyzing.

Рецензент - д.т.н., проф. Білонога Ю.Л.