

Котов Б. І.

Мирошник В. О.

*Національний
університет
біоресурсів і
природокористування
України*

Калініченко Р. А.

*Ніжинський
агротехнічний
інститут*

Степаненко С. П.

Швидя В. О.

*Національний науковий
центр "Інститут
механізації та
електрифікації
сільського
господарства"*

УДК 664.85.047-912

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ УСТАНОВОК ТЕРМООБРОБКИ ЗЕРНА У ВІБРОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ З КОМБІНОВАНИМ ЕНЕРГОПІДВЕДЕННЯМ

Предложена система дифференциальных уравнений, которая описывает неустойчившиеся процессы при вибрационном перемещении.

The system of differential equalizations, which describes the unsteady processes at the vibration motion, is offered.

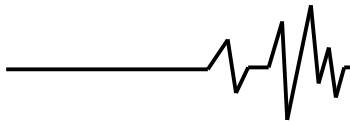
Проблема. Термічна обробка зернових матеріалів в господарствах застосовується для підвищення якості зернофуражу (мікронізація), знезараження зерна від мікрофлори і шкідників (дезінсекція), попереднього підсушування і інтенсифікації наступного сушіння в зерносушарках усіх типів [1-6].

Що стосується процесів сушіння зернових матеріалів, то як показано в роботах вченого А.С. Гінзбурга, у відповідності до універсального фізичного принципу Ле-Шательє-Брауна, чим сильніше зовнішній вплив на об'єкт сушіння в початковий момент, тим інтенсивніше відбуваються внутрішні процеси, які прагнуть повернути систему в стан рівноваги. Тому, в зв'язку із значною термолабільністю та вологоінерційністю зернових матеріалів, як показано в [11], важливо підготувати "вологий матеріал" до сприймання впливу початкового імпульсу, тому суттєве значення отримують різноманітні методи попередньої підготовки зернового матеріалу до сушіння. Значні можливості інтенсифікації процесів попередньої обробки

зерна відкриваються при комбінованому впливі віброобробки та інфрачервоного опромінення.

Для проектування засобів попередньої обробки зерна і систем їх автоматичного керування необхідні дані про статичні і динамічні властивості цих об'єктів. При цьому важливою задачею є проектування установок термообробки зерна з урахуванням їх автоматизації. Необхідність проектування устаткування, щоб воно було кероване (мало відповідні статичні та динамічні характеристики, які полегшують задачу здійснення регулювання режимів і створення ефективної системи керування), ставить насамперед задачі створення математичної моделі динамічних і статичних режимів роботи обладнання для вібро-терморадіаційної обробки зерна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій за останні роки [4, 5, 6, 8, 10] засвідчив, що значна увага приділяється дослідженням процесів інфрачервоного нагрівання і вібраційного сушіння зерна [8, 9, 11]. При цьому розглядаються математичні моделі, які описують кінетику нагріву зерна в



нерухомому шарі, висота якого дорівнює його товщині (тобто шар в "одне зерно"). Основні показники процесу нагріву дисперсного матеріалу у віброзрідженому шарі при інфрачервоному опроміненні визначаються експериментально [12]. Теоретичні дослідження термообробки зерна інфрачервоним опроміненням у віброзрідженому шарі з додатковим підведенням енергії представлено недостатньо, в основному у вигляді реклам і пропозицій.

Мета дослідження. Удосконалення математичного опису процесу інфрачервоного нагрівання зерна у віброзрідженому шарі і на його основі визначення статичних і динамічних характеристик установки для термообробки зерна, як об'єкта автоматизації керування температурним режимом.

Результати дослідження.

Розглядається установка для термообробки зерна безперервної дії (рис.1), в якій відбувається нагрівання зерна з частковим (1-1,5%) видаленням вологи в процесі його руху у вібро-пневно-зрідженому шарі 1 за рахунок теплоти, що передається випромінюванням від темних нагрівачів 2 і нагрітого повітря. Нагрівачі 2 встановлено над шаром зерна, а повітря подається знизу. Для переміщення зернового шару використано віброкоток 3, а решітка вібролотка виконана у вигляді щільових рифлів.

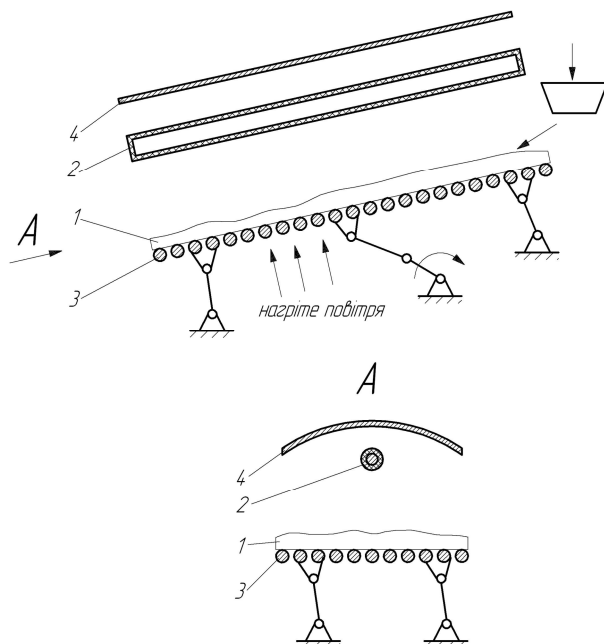


Рис. 1. Схема вібропневматичної сушарки

Будемо вважати, що термоустановка складається з таких динамічних ємностей: нагрівач-випромінювач, екран, матеріал, решітка вібролотка, повітря.

В основі побудови моделі використано рівняння енергетичного балансу при наступних припущеннях (загальнотехнічних у цій галузі):

1. Теплоємності повітря, матеріалу, екрану, решітки, нагрівача, а також усі коефіцієнти теплообміну за часом не змінюються;
2. Швидкість випаровування вологи пропорційна температурі матеріалу (під час нагріву);
3. Температура нагрівача, екрану, решітки за координатами не змінюється;
4. Враховуючи інтенсивне перемішування і розшарування у вібропневнозрідженому шарі — усі частинки матеріалу рівномірно омиваються і опромінюються та температура однакова у всьому об'ємі, температура повітря на виході шару дорівнює температурі зерна $t_2 = \theta_M$.

Для обраної фізичної моделі установки для термообробки зерна, з урахуванням зроблених припущень і спрощень складено наступні диференціальні рівняння.

Рівняння теплового балансу для нагрівача-опромінювача:

$$m_H \cdot c_H \cdot \frac{\partial \theta_H}{\partial \tau} = P_{H.B} - \alpha_B \cdot f_H \cdot (\theta_H - t_e) - k_1 \cdot c_{1.ек} \cdot F_{ек} \cdot (\overline{\theta_H} - \overline{\theta_{ек}}) - k_2 \cdot c_{2.M} \cdot F_M \cdot (\overline{\theta_H} - \overline{\theta_M}). \quad (1)$$

Рівняння теплового балансу для екрану:

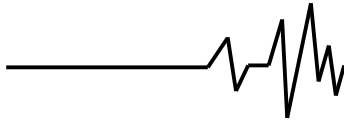
$$m_{ек} \cdot c_{ек} \cdot \frac{\partial \theta_{ек}}{\partial \tau} = c_{1.ек} \cdot F_{ек} \cdot (\overline{\theta_H} - \overline{\theta_{ек}}) - \alpha_e \cdot F_{ек} \cdot (\theta_{ек} - t_e) - k_{ек} \cdot F_{ек} \cdot (\theta_{ек} - t_{3.6}) - c_{2.M} \cdot F_M \cdot (\overline{\theta_{ек}} - \overline{\theta_M}). \quad (2)$$

Рівняння теплового балансу для матеріалу:

$$m_M \cdot c_M \cdot \frac{\partial \theta_M}{\partial \tau} + h \cdot B \cdot l \cdot \rho_M \cdot V_M \cdot \frac{\partial \theta_M}{\partial x} = r_0 \cdot h \cdot B \cdot \rho_M \cdot V_M \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} + c_{2.M} \cdot F_M \cdot (\overline{\theta_H} - \overline{\theta_M}) + c_{1.ек} \cdot F_{ек} \cdot (\overline{\theta_{ек}} - \overline{\theta_M}) + \alpha_e \cdot f_M \cdot (t_e - \theta_M) + \alpha_{ef} \cdot F_p \cdot (\theta_p - \theta_M). \quad (3)$$

Рівняння теплового балансу для повітря:

$$m_e \cdot c_p \cdot \frac{\partial t_e}{\partial \tau} + c_p \cdot G_V \cdot h \cdot \frac{\partial t_e}{\partial y} = P_{H.П} - \alpha_p \cdot F_p \cdot (t_e - \theta_p) + \alpha_e \cdot f_M \cdot (t_e - \theta_M). \quad (4)$$



Рівняння теплового балансу для решітки:

$$m_p \cdot c_p \cdot \frac{\partial \theta_p}{\partial \tau} = \alpha_p \cdot F_p \cdot (t_{\epsilon} - \theta_p) - \alpha_{ек} \cdot F_p \cdot (\theta_p - \theta_M). \quad (5)$$

Рівняння теплового балансу для води в матеріалі:

$$r_0 \cdot G_{M_0} \cdot \frac{\partial u}{\partial \tau} = a \cdot \theta_M \cdot r_0. \quad (6)$$

В рівняння (3) входить продуктивність $h \cdot B \cdot \rho_M \cdot V_M = G_M$, яка виражена через швидкість V_M переміщення матеріалу по вібраційній поверхні.

При сумісній дії на частки коливальної площини і висхідного повітряного потоку відомі рівняння руху частинки мають вигляд:

$$m \cdot \frac{dV_x}{d\tau} = m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \cos \beta \cdot \sin \omega \cdot \tau - m \cdot g \cdot \sin \alpha + F_{mp} + F_A \cdot \sin \alpha + F_T \cdot \cos \varphi \quad (7)$$

$$m \cdot \frac{dV_y}{d\tau} = m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sin \beta \cdot \sin \omega \cdot \tau - m \cdot g \cdot \cos \alpha + N + F_A \cdot \cos \alpha + F_T \cdot \sin \varphi \quad (8)$$

де F_e – гідродинамічна сила, Н;

F_A – архімедова сила, Н;

F_{mp} – сила тертя, Н.

В рівняннях (1) – (8) позначено:

$\theta_H, \theta_{ек}, \theta_M, \theta_p, t_{\epsilon}$ — температура відповідно нагрівача, екрана, матеріалу, решітки, повітря;

$m_H, c_H; m_{ек}, c_{ек}; m_M, c_M; m_{\epsilon}, c_{\epsilon}; m_p, c_p$; — маса і питома теплоємність відповідно нагрівача, екрана, матеріалу, повітря, решітки;

$\alpha_{\epsilon}, \alpha_{екф}, \alpha_p$ — коефіцієнт тепловіддачі відповідно від повітря до екрана, від решітки до зерна (контактний), від решітки до повітря;

$k_{ек}$ — коефіцієнт тепловіддачі від екрана до зовнішнього повітря;

$f_H, F_{ек}, F_M, F_p, f_M$ — поверхня теплообміну відповідно нагрівача з повітрям, екрана з повітрям, матеріалу з нагрівачем і екраном (радіаційний теплообмін), решітки з повітрям і матеріалом, матеріалу з повітрям (поверхня контакту фільтрується з повітрям крізь шар);

$c_{1.ек}, c_{2.M}$ — приведені коефіцієнти випромінювання;

k_1, k_2 — "зважуючі" коефіцієнти;

h, B, l — висота, ширина, довжина шару зерна, відповідно;

ρ_M — насипна вага зерна;

$P_{H,B}, P_{H,l}$ — теплова потужність, відповідно випромінювача, повітрянагрівача;

r_0 — питома теплота випаровування води;

u — вологовміст зерна;

a — коефіцієнт пропорційності;

m — маса зернини;

ω, A — частота і амплітуда коливань решітки;

α — коефіцієнт пропорційності;

α — кут нахилу решітки;

β — кут дії інерційної сили.

Оскільки розв'язок рівнянь (7)-(8) виконуються, як правило, для безвідривного руху, то наявність повітряного потоку переводить шар зерна, що рухається по коливальній площині, в псевдозріджений стан. Проведено експериментальну ідентифікацію вібропневмозрідженого шару зерна відносно швидкості переміщення вздовж поверхні. Отримана регресійна модель руху зернового шару в псевдозрідженому стані представлена у вигляді поліному другого ступеню:

$$V_x = -51,14 + 11,25 \cdot \omega + 57,7 \cdot V_{II} + 21,4 \cdot \alpha + 972,13 \cdot q - 0,096 \cdot \omega^2 + 0,55 \cdot \omega \cdot V_{II} + 0,1 \cdot \omega \cdot \alpha + 96,3 \cdot \omega \cdot q - 29,3 \cdot V_{II}^2 - 7,05 \cdot V_{II} \cdot q + 2758 \cdot V_{II} \cdot q - 11,71 \cdot \alpha \cdot q - 46617,94 \cdot q^2, \quad (9)$$

де V_{II} — швидкість нагрітого повітряного потоку, м/с;

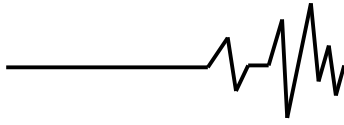
q — питома навантаження на решітку вібротолка, кг/дм²·с.

Математична модель у вигляді системи рівнянь (1)-(6) та (9) відрізняється від відомих тим, що враховує теплоємності усіх п'яти елементів і дозволяє визначити динаміку зміни усіх контрольованих та регульованих параметрів при дії збурень і керуючих дій. Крім того наведений математичний опис може бути використаний при оптимізації параметрів існуючих установок для термообробки дисперсних матеріалів інфрачервоного опромінення при вібраційному транспортуванні.

Система рівнянь (1)-(6) аналітичного розв'язку немає і може бути досліджена числовим методом на ЕОМ. Але для числового розв'язку необхідно знання коефіцієнтів, які входять до диференціальних рівнянь. Тому для ідентифікації процесу термообробки зерна з комбінованим підведенням енергії модель можна спростити, знизивши її порядок.

Висновки

Отже, розроблена математична модель на основі диференціальних рівнянь, описує процес нагріву віброзрідженого шару зерна комбінованим підведенням теплоти: інфрачервоним випромінюванням та підігрітим повітряним потоком. При цьому враховуються теплоємності всіх компонентів термодинамічної



системи. Це дає змогу більш точно описати процес сушіння зерна інфрачервоним опроміненням та підігрітим повітряним потоком при вібраційному транспортуванні і оптимізувати параметри установок з використанням подібних технологічних процесів. Проте, необхідне подальше уточнення коефіцієнтів диференційних рівнянь з використанням числового аналізу.

Література

1. Кирпа Н. Я. Развитие оборудования и технологии для первичной обработки, сушки и хранения зерна в хозяйствах АПК // Хранение и переработка зерна. – 2000. – №10. – С. 21-22.
2. Алейников В. И. Эффективность предварительного нагрева зерна перед сушкой // Тр. ВНИИЗ. – 1970. вып. 70. – С. 87-91.
3. Голубкович А. В., Чижиков А. Г. К обоснованию технических средств для предварительного подогрева и подсушки зерна повышенной влажности // Тр. ВИМ. – 1980. т.86. – С. 36-45.
4. Терещенко Б.О., Токарчук Г.А., Апаевич О.А. Применение инфракрасного облучения для обеззараживания зерна при хранении // Хранение и переработка зерна. – 2005. – №10. – С. 22-24.
5. Теория и практика инфракрасной обработки зерна и крупы // Хранение и переработка зерна. – 2006. – №4. – С. 26-30.
6. Новикова В.А. Снижение удельных энергозатрат на микронизацию фуражного зерна за счёт использования двухстороннего подвода теплоты. автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск. 2006 – 22с.
7. Зверев С.В. Моделирование процесса инфракрасного нагрева зерна. – 2005. – №12. – С. 25-26.
8. Берник П.С., Паламарчук И.П., Зозуляк И.А. Анализ конструкций вибрационных сушилок для сыпучей сельскохозяйственной продукции // Вібрація в техніці та технологіях. – 1998. – №2. – С. 14-20.
9. Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О. Енергоощадна технологія вібраційного сушіння насіння баштових культур // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2006. – вип. 45. – С. 180-192.
10. Гинзбург А.С. Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1985 – 336 с.
11. Поперечний А.М., Миронова Н.О. Кінетика процесу сушіння плодівих кісточок у виброкип'ячому шарі при інфрачервоному нагріванні // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2007. – вип. 58. – С. 122-128.