



Цуркан О. В.

Герасимов О. О.

Янович В. П.

Вінницький
державний
аграрний
університет

Величко Л. Д

Академія сухопутних
військ
ім. Петра Сагайдачного

УДК 66.047.59:636.085.55

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІКИ РУХУ ВІБРАЦІЙНОЇ СУШАРКИ

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований разработанной опытно-промышленной модели вибрационной сушилки для сушки семян бахчевых культур, в частности – семена тыквы.

The results of theoretical and experimental researches of the developed experimentally-industrial model of oscillation dryer are in-process resulted for drying of seed of water-melons cultures, in particular are seed of pumpkin.

Постановка проблеми. Інтенсифікація процесу обезводнення високовологого насіння, шляхом підвищення температури сушильного агента, лімітується допустимими температурами нагріву для посівних партій насіння.

Значне збільшення перепаду тисків у сушильній камері призводить до зменшення висоти та порозності і, тим самим, росту гідравлічного опору, шару насіння, що уповільнює швидкість фільтраційних процесів.

Використання вібрації дозволяє значно інтенсифікувати процес фільтраційного вологовидалення, але потребує проведення теоретичних та експериментальних досліджень, зокрема, визначення оптимальної траєкторії руху днища сушильної камери.

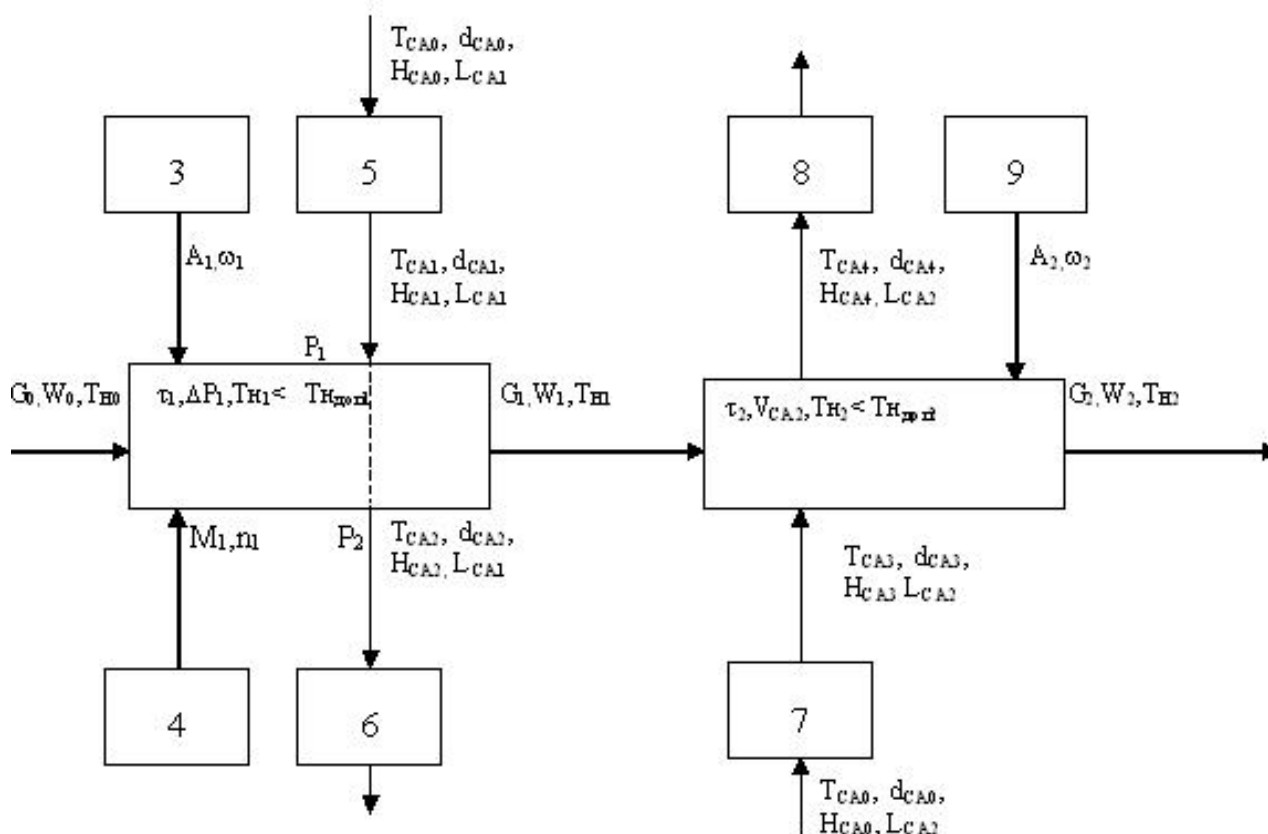
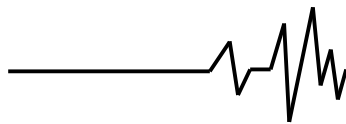
Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати теоретичних та експериментальних досліджень процесів фільтраційного сушіння висвітлені в роботах [1, 2, 3]. Застосування вібрації в процесах фільтраційного та конвективного сушіння приведені в роботах [4, 5, 6]. Доцільність застосування двоетапного процесу фільтраційно - конвективного обезводнення високовологих насінневих матеріалів обґрунтовані в [7, 8]. Теоретичні дослідження законів руху системи „віброзбуджувач-сушильна камера” на основі рівнянь Ланганжа II роду та визначення напрямків інтенсифікації процесу приведені в [9].

Мета роботи. Теоретичні і експериментальні дослідження та обґрунтування оптимальних конструктивних параметрів вібраційного сушильного обладнання для сушіння високовологих насінневих матеріалів.

Основний зміст роботи: на основі аналітичного огляду літературних джерел попередніх експериментальних та теоретичних досліджень, створено наукову концепцію енергоощадного сушіння високовологих насінневих матеріалів, зокрема насіння гарбуза. Процес сушіння такого матеріалу найбільш енергомісткий через специфічні морфологічні, теплофізичні, підвищені когезивно-адгезивні властивості, наявності в шарі насіння залишків поверхневої плівки та плоду.

Така ідея передбачає проведення процесу в два етапи, (рис.1) так як в процесі сушіння при зниженні вологості насіння від 52% до значень близько 34%, коли в шарі насіння майже відсутня незв'язана волога, відстежується суттєва зміна теплофізичних та фізико-механічних властивостей насіння.

В основі ідеї замість руйнівних для високовологого насіння теплових способів інтенсифікації передбачено комплексну дію рушійних та інтенсифікуючих факторів, зокрема, фільтраційних, активних гідродинамічних, ощадних тепломасообмінних процесів посиленних механічним перемішуванням та вібраційною дією, яку визначено основним інтенсифікуючим фактором.



G , кг – маса; W , % – вологість; T_n , $^{\circ}\text{C}$ – температура насіння гарбуза.
 T_{ca} , $^{\circ}\text{C}$ – температура; d_{ca} , кг/кг.с.п. – вологовміст; H_{ca} , Дж/кг – ентальпія;
 L_{ca} , $\text{м}^3/\text{сек}$ – подача сушильного агента.
 A , м – амплітуда; ω , Гц – частота вібрацій.
 M , Н·м – крутний момент; n , хв^{-1} – частота обертів механічного перемішувача.

Рис. 1. Функціонально-параметрична схема енергоощадної вібраційної сушарки для фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння гарбуза:

- 1 - фільтраційне вібраційне сушіння;
- 2 - конвективне сушіння;
- 3 - вібраційна дія;
- 4 - механічне перемішування та очистка перфорованих поверхонь;
- 5 - нагрів, подача сушильного агента в об'єм насіння „зверху-вниз”;
- 6 - відбір сушильного агента, розрідження в піддонному просторі;
- 7 - нагрів, подача сушильного агента в піддонний простір „знизу-вверх”
- 8 - відведення сушильного агента;
- 9 - вібраційна дія

Такий підхід передбачає оптимізацію амплітудно-частотних параметрів та траєкторії руху сушильної камери, зокрема, співвідношення вертикальної та горизонтальної складових амплітуди вібрацій.

На першому етапі вібраційний вплив направлений на руйнування і зняття осаду та кірки на поверхні фільтрування, зниження гідралічного опору шару насіння кавітації, виникнення кумулятивної струминки, зміни

надлишкового тиску рідини в каналах, що вібрують. Відбувається попередній прогрів та структурно-механічні зміни шару насіння.

На другому етапі, коли насіння набуває явну дискретну структуру, сушіння відбувається в аеровіброклячому шарі за рахунок розвиненого контакту фаз та підвищення швидкості конвективної дифузії.

З метою забезпечення оптимального режиму вібрації, в процесі сушіння



високовологих насінневих матеріалів для посилення вертикальної складової коливань днища робочої камери було дано математичний аналіз силових та кінематичних

параметрів системи „віброзбуджувач-сушильна камера”[9], розрахункова схема якої приведена на рис. 2.

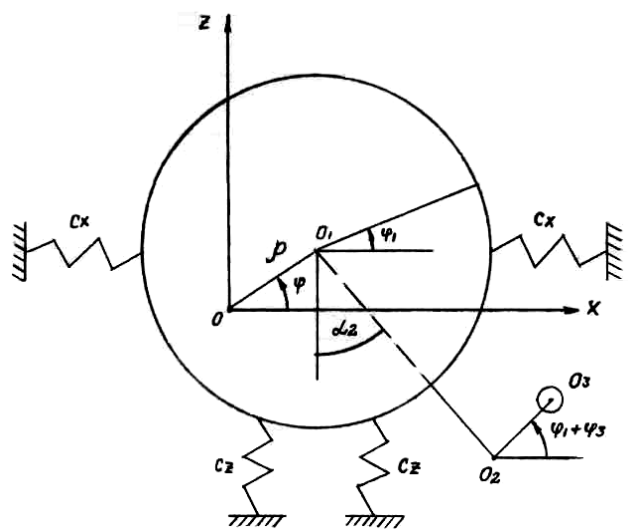


Рис. 2. Розрахункова схема для теоретичного дослідження руху сушильної камери та дебаланса

- O_{xz} – нерухома система координат;
- O_1 – центр мас контейнера;
- ρ і φ – координати центра мас контейнера (полярні);
- φ_1 – кут обертання контейнера;
- α_2 – кут відхилення, від вертикального діаметру, осі обертання дебалансу.
- $l_2 = O_1O_2$; $l_3 = O_2O_3$ – віддаль від осі обертання дебаланса до його центра мас.

Визначивши кінетичну енергію камери дебаланса та системи в цілому, врахувавши узагальнюючі сили були отримані рівняння Лагранжа II-го роду для даної механічної системи.

розв'язків даної системи диференційованих рівнянь, нехтуючи величинами більшого порядку малості, було отримано наближені рівняння руху механічної системи „сушильна камера-дебалансний віброзбуджувач”,

На основі знайдених наближених

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(t) = \frac{m_E l_3}{m_k + m_E} \\ \varphi(t) = at + \pi, \\ \varphi_1(t) = -\frac{m_E m_k l_2 l_3 \cos(at - \alpha_2)}{(I_k + I_E + m_E(l_2^2 + l_3^2))(m_k + m_E)}; \\ \varphi_3(t) = at \end{array} \right. \quad (1)$$

що дало можливість провести дослідження закону руху довільної точки на стінці сушильної камери згідно з розрахунковою схемою (рис.3).

Розглянемо довільну точку M на стінці контейнера, положення якої визначаємо кутом θ .

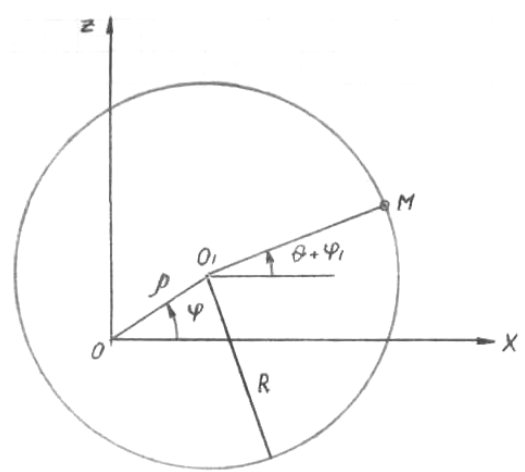
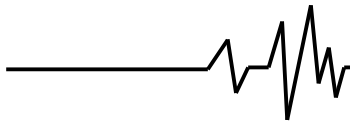


Рис. 3. Розрахункова схема для теоретичного дослідження закону руху днища сушильної камери

Параметричні рівняння, які описують рух точки M матимуть вигляд:

$$\begin{cases} x_M(t) = \rho \cos \varphi + R \cos(\theta + \varphi_1); \\ z_M(t) = \rho \sin \varphi + R \sin(\theta + \varphi_1) \end{cases} \quad (2)$$

Враховуючи наближений розв'язок руху механічної системи (19) отримаємо

$$\begin{cases} x_M(t) = \frac{m_g l_3}{m_k + m_g} \cos(\omega t + \pi) + R \cos(\theta - a \cos(\omega t - \alpha_2)); \\ z_M(t) = \frac{m_g l_3}{m_k + m_g} \sin(\omega t + \pi) + R \sin(\theta - a \cos(\omega t - \alpha_2)) \end{cases}$$

$$\text{де } a = \frac{m_g m_k l_2 l_3}{(I_k + I_g + m_g (l_2^2 + l_3^2))(m_k + m_g)}. \quad (3)$$

Здійснюючи спрощення виразів отримаємо, що рух точки M , наближено, описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} x_M(t) = \frac{-m_g l_3}{m_k + m_g} \cos \omega t + R \cos(\theta - a \cos(\omega t - \alpha_2)) \\ z_M(t) = \frac{-m_g l_3}{m_k + m_g} \sin \omega t + R \sin(\theta - a \cos(\omega t - \alpha_2)) \end{cases} \quad (4)$$

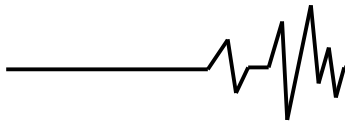
З метою оптимізації руху точок сушильної камери розглянемо випадок, коли необхідно досягнути результату, щоб найнижча точка камери рухалась відносно осі Oz вгору якомога вище.

Підставимо в рівняння (21) значення $\angle \theta = 270^\circ$; тоді отримаємо

$$z_M(t) = -\frac{m_g l_3 \sin \omega t}{m_k + m_g} + R \sin\left(\frac{3\pi}{2} - a \cos(\omega t - \alpha_2)\right) \quad \text{або}$$

$$z_M(t) = -\frac{m_g l_3 \sin \omega t}{m_k + m_g} - R \cos(a \cos(\omega t - \alpha_2)). \quad (5)$$

Оскільки, вимагається досягнення максимального руху днища контейнера вгору, то це має місце, якщо $\sin \omega t_k = -1$ або $\omega t_k = \frac{3\pi}{2}$. В даний момент часу рівняння (5) набере вигляду



$$z_M(t_k) = \frac{m_g l_3}{m_k + m_g} - R \cos\left(a \cos\left(\frac{3\pi}{2} - \alpha_2\right)\right) \text{ або}$$

$$z_M(t_k) = \frac{m_g l_3}{m_k + m_g} - R \cos(-a \sin \alpha_2).$$

Функція $\cos a$ парна, тому $z_M(t_k) = \frac{m_g l_3}{m_k + m_g} - R \cos(a \sin \alpha_2).$

Отже, в момент часу t_k , коли $\sin \omega t_k = -1$, для збільшення величини руху днища контейнера вгору необхідно, щоб функція $\cos(a \sin \alpha_2)$ приймала мінімально можливе значення, а це можливо, якщо $\sin \alpha_2 = \pm 1$, оскільки величина $a < 1$. Дане рівняння виконується при умові, що $\alpha_2 = 90^\circ$ або $\alpha_2 = 270^\circ$.

Отже, для збільшення величини руху днища контейнера вгору необхідно, щоб положення дебаланса визначалось кутом, який дорівнює $\alpha_2 = 90^\circ$ або $\alpha_2 = 270^\circ$.

При дослідженні даної математичної моделі (5) в програмному середовищі MathCAD з урахуванням коефіцієнта приєднаної маси сушильної камери було отримано уточнене

значення оптимального положення віброзбудувача шляхом варіювання кута α_2 з кроком 45° та відповідною зміною траєкторії руху точки (№2) на днищі сушильної камери. Критерієм оптимізації було визначено максимальне співвідношення вертикальної та горизонтальної складових амплітуди, яке відповідало значенню кута $\alpha_2 = 270^\circ$.

Проведені дослідження в межах зміни значень кута $\alpha_2 = (240 \dots 300^\circ)$ з кроком 10° дозволили конкретизувати положення віброзбудувача, яке найбільш задовольняє установлений критерій при значеннях кута $\alpha_2 = 290^\circ$.

У лабораторії АКМ ТП імені П.С. Берника Вінницького державного аграрного університету було розроблено і виготовлено дослідно-промисловий зразок вібраційної сушарки (рис.4).



Рис. 4. Комплекс дослідження процесу вібраційно-фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння гарбуза

Яка забезпечувала послідовне проведення двохетапного фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння гарбуза шляхом зміни технологічних режимів та дооснащення пристроєм фільтраційного вологовидалення. (рис 4)

Із застосуванням комплексу технологічного та вимірювально-

регульовального обладнання на основі дослідно-промислового зразка вібраційної сушарки з U - подібним днищем було проведено експериментальні дослідження впливу механічних, гідродинамічних та теплообмінних факторів на процеси фільтраційного та конвективного сушіння високо вологого насіння гарбуза. (Рис.5)

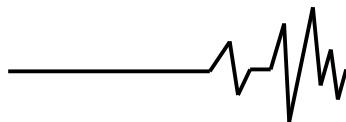


Рис. 5. Пристрій фільтраційного волого видалення, перемішування та очистки перфорованих поверхонь

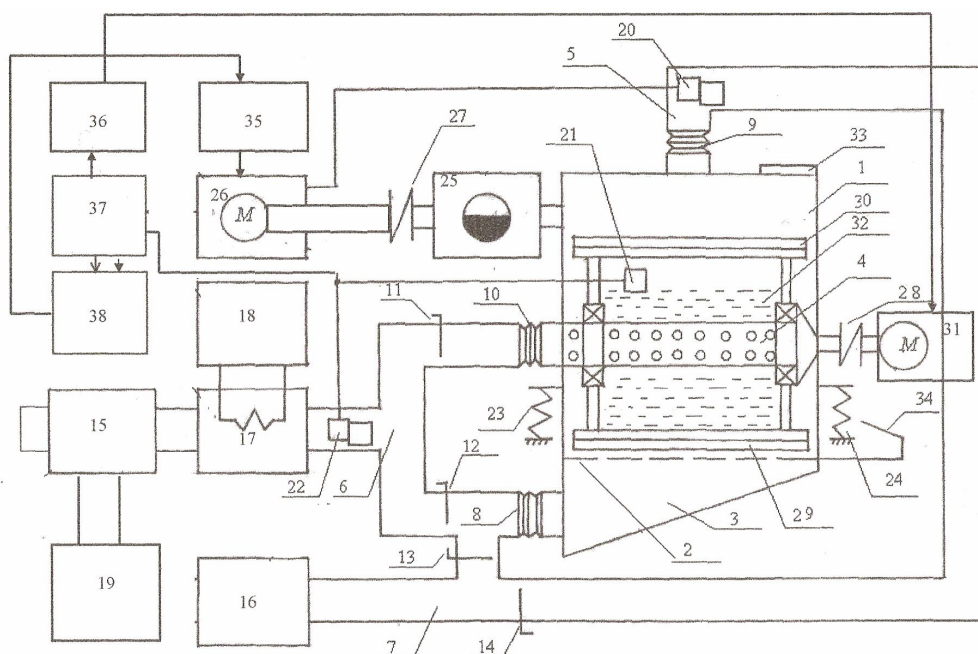
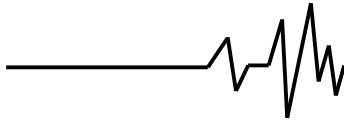


Рис. 6. Блок-схема дослідження процесу вібраційного фільтраційно-конвективного сушіння високовологого насіння гарбуза:

1.сушильна камера; 2.перфороване U- подібне днище; 3.дифузор; 4.перфорований пустотілий циліндричний вал; 5,6,7 – магістралі подачі та відбору сушильного агента; 8,9,10 – еластичні з'єднання; 11,12,13,14 – герметизуючі заслонки; 15,16 – вентилятори; 17 – електронагрівач; 18 – керований регулятор потужності; 19 – вимірювач тиску з базовим електронним блоком ЕЛИМЕР; 20, 21,22 – датчики температури та відносної вологості сушильного агента; 23, 24 – пружні опори; 25 – віброзбуджувач дебалансного типу; 26 – привід віброзбуджувача; 27, 28 - еластичні муфти; 29 – еластичний скрібок; 30 – П-подібна лопать перемішувача; 31 – привід перемішувача; 32 – продукція; 33 – завантажувальний люк; 34 – розвантажувальний лоток; 35 – пристрої регулювання та вимірювання параметрів вібрацій регулятор частоти MITSUBISHI FR-E540, віброметричний комплекс ROBOTRON 00100; 36 – пристрій регулювання частоти обертів перемішувача; 37 – мікроконтролерний пристрій вимірювання та автоматичного регулювання температури сушильного агента, вимірювання вологості сушильного агента та температури продукції; 38 – комп'ютер

**Висновки**

1. Приведені теоретичні напрацювання дозволяють інтенсифікувати етап фільтраційного вологовидалення шляхом оптимізації параметрів вібраційної складової процесу.

2. Застосування фізико-механічних засобів інтенсифікації процесу обезводнення специфічної проблемної продукції, якою є насіння гарбуза, при обмеженні теплового впливу є досить вагомим фактором підвищення ефективності процесу сушіння.

3. Розроблений і виготовлений на основі проведених теоретичних досліджень промислово-дослідний зразок вібраційної сушарки забезпечує оптимальний режим вібрації з посиленням вертикальної складової амплітуди при значеннях кута, що визначає положення віброзбуджувача в полярних координатах, $\alpha=290^{\circ}$.

4. Результати проведених експериментальних досліджень з застосуванням сучасної мікроконтролерної та комп'ютерної техніки свідчать про їх адекватність розробленій математичній моделі вібраційної сушарки з U- подібним днищем.

Література

1. Ханик Я.М., Ковальчук О.В, Ханик А.Я, Римар Т.І. Фільтраційне сушіння як енергозберіжливий метод зневоднення матеріалів// Вісник Вінницького політехнічного інституту.2007. -№4-, с.79-82.

2. Ханик Я.М., Кузьма В.М., Ковальчук В.М, Ковальчук О.В. Гідродинаміка і кинетика

процесу сушіння дрібнодисперсних матеріалів у щільному шарі.// Вісник Вінницького політехнічного інституту.2007. -№4-, с.48-51

3. Голубкович А.В. Теорія и технология сушки семян овощных и бахчевых культур. – М.: Агропромиздат. 1987.-123с.

4. Членов В.А., Михайлов Н.В. Сушарка сыпучих материалов в виброкипящем слое. – М.: Стройиздат, 1967.- 224с.

5. Варсанюфьев В.Д., Кольман-Иванов Э.Э. Вибрационная техника в химической промышленности. – М.:Химия, -240с.

6. Поперечний А.М. Наукове обґрунтування впливу механічних коливань на інтенсифікацію процесів переробки харчової сировини. Автореф. Дис.док.тех.наук. Харків, 2004-36с.

7. Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О. Оптимізація ресурсозберігаючої технології вібраційного сушіння високо вологого насіння//Збірник наукових праць Таврійської державної агротехнічної академії (випуск 44) – Мелітополь.: ТДАА, 2006.-с3-10.

8. Берник П.С., Цуркан О.В., Герасимов О.О. Енергоощадна технологія вібраційного сушіння насіння баштанних культур. //Вісник Харківського НТУСГ ім. П. Василенка “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробки та харчових виробництв” (випуск 45).-Харків.-2006.-с. 180-192

9. Цуркан О.В., Герасимов О.В.,Солона О.В, ВеличкоЛ.Д. Математична модель динаміки руху робочої камери енергоощадної вібраційної сушарки.//Вібрації в технологіях.- 2008, №2(51).-с.52-56.