

водопровід. Це потрібно для зручності миття обладнання з виробництва м'якого морозива. Ще необхідно найняти продавця, якщо, звісно, не планується торгувати самостійно. Від того, наскільки відповідальною буде людина, яка працюватиме з обладнанням, залежить щоденна виручка.

**Висновки.** Бізнес з виробництва та реалізації м'якого морозива не такий трудомісткий та може швидко окупитися. Для бізнесменів-початківців, які хочуть розпочати власну справу це може виявитися досить сприятливим варіантом.

#### **Список використаної літератури:**

1. Вежлівцева С. П. Аналіз якості морозива пломбір на споживчому ринку України / С. П. Вежлівцева, О. П. Ряба // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука" – №1 (63), т.3, 2019. – С. 7-10.

2. Укрмолпром [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [//ukrmolprom.kiev.ua/](http://ukrmolprom.kiev.ua/).

3. Тарасова Ю. А. Стан та перспективи розвитку молочної галузі України // Вісник соціально-економічних досліджень: зб. наук. праць; за ред.: М. І. Зверякова (голов. ред.) та ін. – Одеса: Одеський національний економічний університет. – 2017. – № 1 (62). – С. 149-156.

**УДК 631.362-752**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ЗЕРНОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ**

**Волик Д.А., аспірант\*;**

**Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.; \*науковий керівник.**

*(Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національна академія аграрних наук України)*

Дослідженнями, які проводили в нерухомому шарі сипкого матеріалу [1-5], встановлено, що дія статичної ваги компенсується силами тертя між зернівками, при вібраційному ж впливі в ньому з'являються сили інерції, як відомо пропорційні прискоренню [4-7]  $j = A \cdot \omega^2 \cdot \cos[\omega \cdot t]$ , де  $A$  - амплітуда коливань;  $\omega$  - частота вібрації.

Змінні фактори, які виникають в сипкому середовищі, за напрямом дії сили інерції у відповідні фази коливального руху порушують рівновагу сил у зерновому (сипкому) середовищі, внаслідок чого зернове середовище (зерновий шар) ущільнюється.

Ущільнення зернового середовища триває доти, доки зростаюче внутрішнє тертя не компенсує сумарну дію ваги та інерційних сил.

Якщо вібрація викликає відрив «важких» зернівок від віброуючої поверхні, то періоди, під час яких відбувається стиснено-в'язке переміщення зернівок, в наслідок чого зерновий матеріал розпушується і середня щільність його знижується. Умова рівноваги зернівки в момент відриву її від віброуючої поверхні має вигляд [2, 5]:

$$q = A \cdot \omega^2 \cdot \cos[\omega \cdot t] \quad (1)$$

Встановлено, що зернове середовище ущільнюється максимально за умов вібраційних коливань, режим яких характеризується прискоренням 9,81 м/с<sup>2</sup>. У випадку коли  $j$  більше даного значення, зернове середовище періодично розпушується під час стиснено-в'язкого переміщення зернівок і ущільнюється, якщо прискорення коливального руху спрямоване вгору. Загальний ступінь розпушування зростає при зменшенні відносної тривалості ущільнення та збільшенні висоти підкидання зернівок в середовищі.

Розглядаючи рух зернівок без урахування сил тертя між зернівками та пошарового тертя середовища, зіткнення зернівок, опору повітряного середовища та інших факторів, можна отримати наступну залежність між параметром режиму коливань [2, 5]  $K = \frac{A \cdot \omega^2}{g}$  та відносною тривалістю переміщення зернівки в сипкому середовищі [1, 2]  $L = \frac{t_p \omega}{2\pi}$  ( $t_p$  - час переміщення зернівки в сипкому середовищі):

$$K = \sqrt{\left[ \frac{\cos[2\pi L] + 2[\pi L]^2 - 1}{\sin[2\pi L] - 2\pi L} \right]^2 + 1} \quad (2)$$

У випадку зіткнення зернівок з віброуючою поверхнею в момент динамічної рівноваги тривалість переміщення зернівки пропорційна періоду коливання, і величина  $L$  є цілим числом. Тоді отримаємо:

$$K = \sqrt{[\pi \cdot L_0]^2 + 1} \quad (3)$$

$$L_0 = \pi^{-1} \cdot \sqrt{[K]^2 - 1} \quad (4)$$

Звідси випливає, що при  $1 < K \leq 3,3$  переміщення зернівки в середовищі здійснюється в межах одного коливання, за умови  $3,3 < K \leq 6,4$  - в межах двох, та при  $6,4 < K \leq 9,5$  в межах трьох вібраційних коливань поверхні.

Відносна тривалість ущільнення зернового середовища

визначається залежністю:

$$\varepsilon = \frac{t_u}{T_k} \quad (5)$$

де  $t_u$  - тривалість ущільнення зернового середовища;  $T_k$  - період коливального руху зернівок в середовищі.

Якщо зернівка «занурюється» в момент, коли  $0 > -A \cdot \omega^2 \cdot \cos[\omega \cdot t] > -g$  то за умов  $L_0 = L$  величина  $t_u$  змінюється від 0 до  $\frac{\pi}{\omega}$ .

Приймаємо середнє значення  $t_u = \frac{\pi}{2\omega}$ , звідки отримаємо:

$$\varepsilon = \frac{1}{4L_0} \quad (6)$$

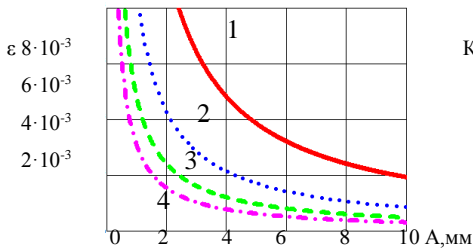
Середня відносна тривалість ущільнення зернового середовища в процесі вібрації зменшується зі зростанням  $K$  і вже при значення  $K > 6.4$  становить менше 9-10% від загального часу. На даних режимів ступінь розпушування підвищується здебільшого внаслідок збільшення висоти підкидання зернівок. Максимальна величина підкидання щодо середнього положення вібруючої поверхні, з урахуванням координати в момент відриву зернівки, виражається залежністю:

$$H_{max} = \frac{g [K^2 + 1]}{2 \cdot \omega^2} \quad (7)$$

Відповідно до отриманої залежності,  $H_{max}$  і ступінь розпушування зернового середовища зростають зі збільшенням параметра  $K$ . У разі однакових значень  $K$  більш інтенсивне розпушування створюється за умов менших частот вібрацій.

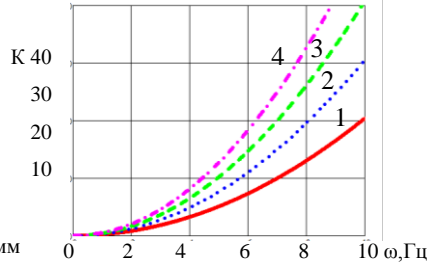
Моделювання проводилися на насінні пшениці, сої, соняшнику, кукурудзи. За результатами математичного моделювання побудовано графічні залежності відносної тривалості ущільнення зернового середовища (рис.1) та режиму коливань зернівки від частота коливань (рис.2) від амплітуди коливань і частоти коливань. На рис. 1 наведена залежність для шару насіння пшениці висотою 15 мм.

З графіка видно, що на всіх частотах зі зростанням амплітуди коливань до певної межі спостерігається зниження товщини шару щодо першочергового стану зернового середовища, це пояснюється тим, що зернове середовище ущільнюється. Подальше зростання амплітуди коливань з тією ж частотою призводить до підвищення висоти шару зернового середовища, тобто вібраційні коливання з таким режимом розпушують ущільнений раніше матеріал.



1, 2, 3 і 4 - частота коливань, відповідно рівна 20, 30, 40 і 50 Гц

Рис.1. Залежності відносної тривалості ущільнення  $\epsilon$  зернового середовища від амплітуди коливань  $A$



1, 2, 3 і 4 - амплітуда коливань, відповідно рівна 2, 3, 4 і 5 мм

Рис.2. Залежності режиму коливань  $K$  зернівки в зерновому середовищі від частота коливань  $\omega$

Амплітуда коливань, що забезпечує максимальне ущільнення, є постійною для різних частот вібрації; якщо частота підвищується, матеріал максимально ущільнюється при меншій амплітуді.

Графічні залежності показують, що максимальне ущільнення шару досягається при прискоренні коливального руху, що наближається до мінімального прискорення  $0,8 \text{ м/с}^2$ .

У діапазоні коливань  $q < 20 \text{ м/с}^2$  ступінь ущільнення шару визначається лише значенням прискорення коливального руху та не залежить однозначно від амплітуди або частоти.

Перехід на режим коливань, для якого  $q > 20 \text{ м/с}^2$ , супроводжується зростанням висоти шару, тобто цей режим викликає розпушування шару і знижує досягнутий раніше рівень ущільнення, причому у випадку однакових прискорень коливального руху вищий рівень розпушування спостерігається при менших частотах вібрації.

Розпушуюча здатність вібраційних коливань підвищується зі зростанням величини до певної межі (у наших дослідях він становив  $0,8\text{-}25,0 \text{ м/с}^2$ ), в наслідок чого закономірна зміна щільності зернового середовища не спостерігається. Це пояснюється тим, що за даних режимів коливальний рух зернівок по віброуючій поверхні, переходить в хаотичний рух і зростання амплітуди коливань вже не збільшує закономірно висоту підкидання зернівок.

### Список використаних джерел:

1. Тищенко Л. Н. Интенсификация сепарирования зерна. Харьков: Основа, 2004. 224 с.
2. Заїка П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах. К. УСХА. 1998. – 625 с.

3. V. Adamchuk, V. Bulgakov, I. Gadzalo, S. Ivanovs, S. Stepanenko, I. Holovach, Y. Ihnatiev (2021) Theoretical Study of Vibrocentrifugal Separation of Grain Mixtures on a Sieveless Seed-cleaning Machine Journal of Latvia University of Life Sciences and Technologies. Rural sustainability research. 46(341), 2021. – p. 116-124. DOI:10.2478/plua-2021-0023

4. Степаненко С.П., Котов Б.І., Рудь А.В., Замрій М.А. (2022). Теоретичні дослідження процесу руху зернового матеріалу на поверхні ступінчастого віброживильника. Вінницький національний аграрний університет. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». Випуск № 2 (105). - Вінниця, 2022. – С. 25-32. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-3

5. Stepanenko, S.P., Kotov B. I., Spirin A.V., Kucheruk V.Yu. (2022) Scientific foundations of the movement of components of grain material with an artificially formed distribution of air velocity. Bulletin of Karaganda University. Series "Physics". № 1(105)/2022. – p. 43-57. DOI 10.31489/2022PH1/43-57

**УДК 631.362**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ В МАШИНАХ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА**

**Степаненко С.П., д.т.н., с.н.с.**

*(Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва  
Національна академія аграрних наук України)*

Щоб покращити роботу машин для очищення зерна при підвищенні подачі зернового матеріалу, деякими дослідниками [1-3] рекомендується збільшувати швидкість повітряного потоку від нагнітального (відсмоктуючого) вентилятора або вертикальну складову вібрацій (коливань) зернового матеріалу. Наявними у літературі [1-3] дослідженнями скористатися важко з практичної точки зору.

Проведені експериментальні дослідження [4], які довели можливість поділу шару зернового матеріалу, який переміщається по решету, завтовшки 15-25 мм [4] за відповідних режимів повітряного потоку і вертикальних коливань зернового матеріалу.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено спеціальне обладнання, яке складається з циліндричної прозорої камери діаметром 150 мм, в яку завантажували зерновий