

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВОЙ ПСЕВДООЖИЖЕННОЙ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ ПО СТРУКТУРНОМУ ТРЕХМЕРНОМУ ВИБРОРЕШЕТУ

BY SIMPLIFYING OF THE EQUATIONS OF DYNAMICS OF BUBBLE FLUIDIZED OF GRAIN MIXTURE ON THE STRUCTURAL THREE-DIMENSIONAL VIBROSIEVE

Канд. техн. наук Харченко Сергей Александрович

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Украина

**Аннотация:** в статье приняты некоторые упрощения уравнений динамики пузырьковых псевдоожигенных зерновых смесей на виброрешетках, которые позволят определить их решение.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** СЕПАРАЦИЯ ЗЕРНОВЫХ СМЕСЕЙ, РЕШЕТО, МОДЕЛИРОВАНИЕ.

**Abstract:** The article made some simplifying the equations of dynamics of bubble fluidized grain mixtures on vibrosieves that will determine their decision.

**KEYWORDS:** SEPARATION SEED MIXTURES, SIEVE, SIMPLIFYING.

## 1. Введение

Процессы просеивания ЗС через отверстия виброрешет являются определяющими параметров производительности и качества работы зерноочистительных машин, которые работают по основному признаку разделения по размерам. Создание псевдоожигенного слоя на решетках при помощи вибрации благоприятно сказывается на прохождении ЗС через отверстия.

На этапе послеуборочной обработки объектом сепарирования является свежееубранное зерно, поступающее непосредственно из-под комбайна. Задача сепарирования заключается в максимальной очистке зерна от примесей, отличающихся от зерен основной культуры геометрическими размерами и аэродинамическими свойствами. В качестве основных осложняющих факторов ПП ЗС рассматривается соответствие геометрии засорителей и семян основной культуры, засоренность исходного зерна (до 20%) и сложные их формы.

Для послеуборочной обработки зерна по размерам применяют сепараторы: вибро-плоскорешетные, цилиндрические и вибро-цилиндрические. Их оптимальный режим работы определяется удельной нагрузкой на решето, кинематическими параметрами (амплитуда и частота колебаний, угол наклона, частота вращения и т.п.).

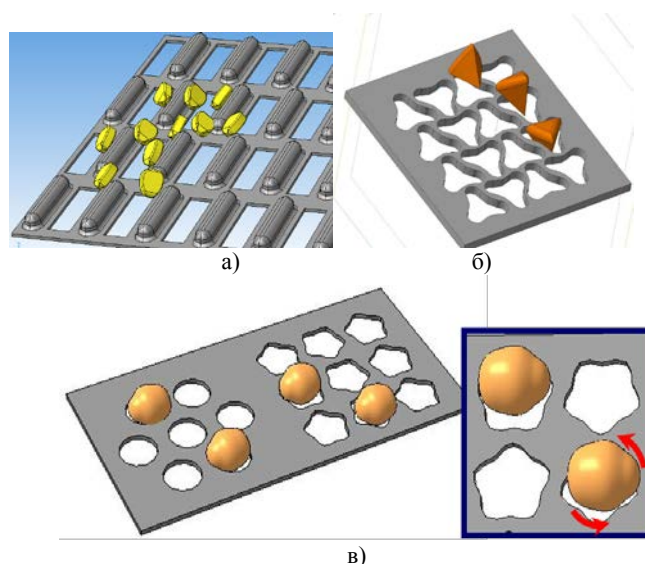
Однако при разделении некоторых культур на решетках удельная производительность существенно снижается. Это связано со сложной формой семян и, соответственно, отличии их с отверстиями решет. Технологические параметры сепараторов (производительность и качество) при разделении таких культур значительно снижены и не соответствуют требованиям рынка.

Важным этапом послеуборочной обработки зерна является также подготовка качественного семенного материала, от которого зависит будущий урожай. Своевременно очищенные и отсортированные, выровненные по размеру и полновесные семена зерновых культур дают прибавку урожая пшеницы не менее 3-5 ц/га [1].

Фундамент производства сельскохозяйственных культур составляет посевной материал, который обеспечивает 40-45% в реализации биопотенциала [2]. При этом на технику и технологии отводится 30-35%, остальные 20-30% на природно-климатические условия, удобрения, средства химической защиты и т.п. Основным показателем качества семенного материала является лабораторная всхожесть семян, от которой зависит формирование оптимальной густоты стояния растений, что определяет конечный результат – урожайность [3-5].

## 2. Предпосылки и средства для решение проблемы

Разработаны новые способы интенсификации процессов просеивания зерновых смесей (ЗС) на решетках с эпициклоидными, пазовыми, кромчатыми и объемными активаторами (фиг.1). Их применение обеспечивает комплексное воздействие на ЗС и повышение эффективности процесса просеиваемости.

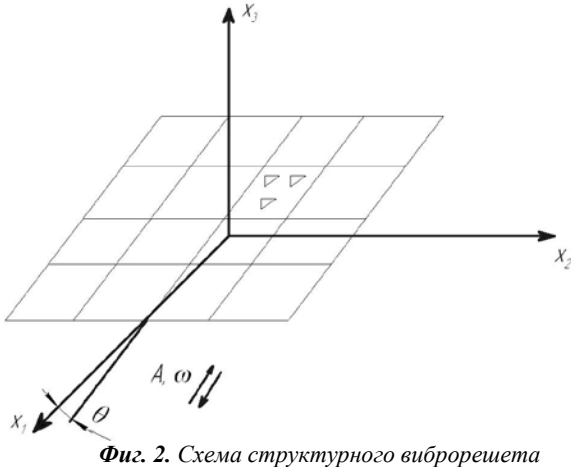


**Фиг.1.** Общий вид разработанных решет с активаторами просеивания зерновых смесей: а) – для сепарации кукурузы; б) - для сепарации гречки; в) - для сепарации зернобобовых культур (горох, нут и т.п.)

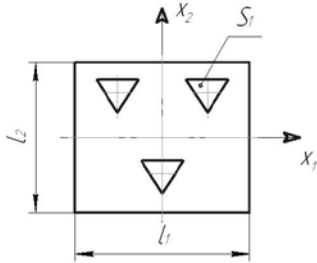
Будем рассматривать движение ЗС, находящейся в псевдоожигенном состоянии, как движение псевдожидкости, содержащей пузырьки газообразной среды (область пространства между твердыми частицами зерновой смеси). С точки зрения механики многофазных систем, такая пузырьковая псевдожидкость, характеризуется двумя эффективными коэффициентами вязкости, обусловленными как взаимодействием твердых частиц между собой, так и взаимодействием твердых частиц с газообразной средой пузырьков. Однако, предполагая, что объемная концентрация твердых частиц значительно больше аналогичной величины для пузырьков (область между твердыми частицами), можно полагать, что вязкость, связанная с взаимодействием твердых частиц и газообразной средой, достаточно мала.

На основании выше изложенного можно рассматривать движение пузырьковой псевдожидкости, как движение вязкой сплошной среды с коэффициентом динамической вязкости.

Введем декартовую систему координат  $x_1, x_2, x_3$  так, чтобы плоскость  $x_1x_2$  совпадала с плоскостью виброрешета, а ось  $x_3$  направлена вверх перпендикулярно этой плоскости (фиг. 2). Предполагается, что виброрешето (ось  $x_1$ ) составляет угол  $\theta$  с горизонтальной плоскостью. Поверхность виброрешета рассматривается как двумерно периодическая структура с периодом  $l_1$  вдоль оси  $x_1$  и с периодом  $l_2$  вдоль оси  $x_2$  (фиг. 3).



Фиг. 2. Схема структурного виброрешета



Фиг. 3. Схема базовой ячейки структурного решета

Для моделирования динамики псевдооживленной пузырьковой зерновой смеси (ЗС) по структурному виброрешету с активаторами в трехмерном виде получены уравнения [6, 7]. Однако их решение затруднительно и требует применения упрощений и дополнений.

Цель работы: уточнение уравнений трехмерной модели динамики пузырьковой зерновой смеси по виброрешету с учетом структурности решет и свойств смеси.

### 3. Решение рассматриваемой проблемы

В [7] получены уравнения динамики зерновых смесей по структурному виброрешету с периодом  $l_1$  вдоль оси  $x_1$  и периодом  $l_2$  вдоль оси  $x_2$ :

$$\rho q \bar{V}_{mn}^1 = -\frac{i2\pi n}{l_1} \bar{P}_{mn} + \mu (\ddot{\bar{V}}_{mn}^1 - \gamma_{mn}^2 \bar{V}_{mn}^1) + \frac{\rho g}{q} \sin \theta \delta_{0n} \delta_{0m}, \quad (1)$$

$$\rho q \bar{V}_{mn}^2 = -\frac{i2\pi m}{l_2} \bar{P}_{mn} + \mu (\ddot{\bar{V}}_{mn}^2 - \gamma_{mn}^2 \bar{V}_{mn}^2) \quad (2)$$

$$\rho q \bar{V}_{mn}^3 = -\dot{\bar{P}}_{mn} + \mu (\ddot{\bar{V}}_{mn}^3 - \gamma_{mn}^2 \bar{V}_{mn}^3) - \frac{\rho g \cos \theta}{q} \delta_{0n} \delta_{0m}, \quad (3)$$

$$\dot{\bar{V}}_{mn}^3 + \frac{2\pi n i}{l_1} \bar{V}_{mn}^1 + \frac{2\pi m i}{l_2} \bar{V}_{mn}^2 = 0, \quad m, n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4)$$

где  $\gamma_{mn}^2 = 4\pi \left( \frac{n^2}{l_1^2} + \frac{m^2}{l_2^2} \right)$ ,  $V_{mn}^1, V_{mn}^2, V_{mn}^3$  - компоненты вектора  $\bar{V}_{mn}$  вдоль  $x_1, x_2, x_3$ ;  $\mu$  - коэффициент динамической вязкости [8]; коэффициенты Фурье  $\bar{V}_{mn}$  и  $P_{mn}$ .

Итак, требуется найти решение уравнений (1) – (4), которые удовлетворяют краевым условиям:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{mn} \Big|_{x_3=h} = 0, \quad \bar{V}_{00}^1 \Big|_{x_3=0} = \frac{A\omega^2}{\omega^2 + q^2}, \quad \bar{V}_{00}^2 \Big|_{x_3=0} = 0, \\ \left( \frac{2\pi n i}{l_2} \bar{V}_{mn}^1 + \frac{2\pi m i}{l_1} \bar{V}_{mn}^2 \right) \Big|_{x_3=h} = 0, \quad \left( \dot{\bar{V}}_{mn}^1 + \frac{2\pi n i}{l_1} \bar{V}_{mn}^3 \right) \Big|_{x_3=h} = 0, \\ \left( \dot{\bar{V}}_{mn}^2 + \frac{2\pi m i}{l_2} \bar{V}_{mn}^3 \right) \Big|_{x_3=h} = 0, \quad \bar{V}_{mn}^1 \Big|_{x_3=h} = \bar{V}_{mn}^2 \Big|_{x_3=h} = \dot{\bar{V}}_{mn}^3 \Big|_{x_3=h} = 0. \quad (5) \end{aligned}$$

### 4. Результаты и дискуссия

В результате допущений [9] получены уравнения:

$$\bar{V}_{mn}^1 = -\frac{i2\pi n d_{mn} v}{l_1 q \rho} sh(\gamma_{mn}(h-x_3)) + 2A_{mn}^1 sh(\lambda_{mn}(h-x_3)), \quad (6)$$

$$\bar{V}_{mn}^2 = -\frac{i2\pi m d_{mn} v}{l_2 q \rho} sh(\gamma_{mn}(h-x_3)) + 2A_{mn}^2 sh(\lambda_{mn}(h-x_3)), \quad (7)$$

$$\bar{V}_{mn}^3 = -\frac{\gamma_{mn} v d_{mn}}{q \rho} ch(\gamma_{mn}(h-x_3)) + 2A_{mn}^3 ch(\lambda_{mn}(h-x_3)). \quad (8)$$

Здесь  $A_{mn}^1, A_{mn}^2, A_{mn}^3$  - величины, независящие от переменной

$$x_3, \quad \lambda_{mn}^2 = \gamma_{mn}^2 + \frac{q}{v}.$$

Из уравнения (4) следует соотношение, связывающее эти величины

$$\frac{i2\pi n}{l_1} A_{mn}^1 + \frac{i2\pi m}{l_2} A_{mn}^2 - \lambda_{mn} A_{mn}^3 = 0. \quad (9)$$

Для определения коэффициентов  $d_{mn}, A_{mn}^P, P = 1, 2, 3$  воспользуемся (5).

Подставим (6) и (7) в краевые условия:

$$\left( \frac{2\pi n i}{l_2} \bar{V}_{mn}^1 + \frac{2\pi m i}{l_1} \bar{V}_{mn}^2 \right) \Big|_{x_3=h} = 0, \quad \left( \dot{\bar{V}}_{mn}^1 + \frac{2\pi n i}{l_1} \bar{V}_{mn}^3 \right) \Big|_{x_3=h} = 0. \quad (10)$$

Делая ряд преобразований, получаем:

$$-\frac{m}{l_2} A_{mn}^1 + \frac{n}{l_1} A_{mn}^2 = 0.$$

С помощью (9) и (6) имеем

$$A_{mn}^1 = -\frac{i2\pi n \lambda_{mn}}{l_1 \gamma_{mn}^2} A_{mn}^3, \quad A_{mn}^2 = -\frac{i2\pi m \lambda_{mn}}{l_2 \gamma_{mn}^2} A_{mn}^3. \quad (11)$$

Теперь подставим (11) в (5)  $\dot{\bar{V}}_{mn}^3 = 0$ , из которого выразим  $d_{mn}$  через  $A_{mn}^3$

$$d_{mn} = -\frac{\rho q \left( 2\gamma_{mn}^2 + \frac{q}{v} \right)}{\gamma_{mn}^3} A_{mn}^3. \quad (12)$$

Коэффициенты  $d_{mn}, A_{mn}^1, A_{mn}^2$  выражаются через  $A_{mn}^3$  согласно (11) и (12).

Для определения коэффициента  $A_{mn}^3$  воспользуемся краевым условием

$$V_3|_{x_3=0} = U_0 \begin{cases} 1, & (x_1, x_2) \in \bigcup_{P=1}^N S_P, \\ 0, & (x_1, x_2) \notin \bigcup_{P=1}^N S_P. \end{cases} \quad (13).$$

где  $\bigcup_{P=1}^N S_P$  - множество отверстий на базовой ячейке виброрешета.

Подставим (12) в (8), тогда из (13) получаем

$$\sum_{m,n=-\infty}^{+\infty} \bar{V}_{mn}^3 \Big|_{x_3=0} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)} = \frac{U_0}{q} \begin{cases} 1, & (x_1, x_2) \in \bigcup_{P=1}^N S_P, \\ 0, & (x_1, x_2) \notin \bigcup_{P=1}^N S_P. \end{cases}$$

Здесь

$$\bar{V}_{mn}^3 \Big|_{x_3=0} = A_{mn}^3 \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]. \quad (14)$$

Используя ортогональность системы функций

$$e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)} \Big|_{m,n=-\infty}^{+\infty} \text{ на } \left[ -\frac{l_1}{2}, \frac{l_1}{2} \right] \times \left[ -\frac{l_2}{2}, \frac{l_2}{2} \right], \text{ имеем}$$

$$A_{mn}^3 = \frac{U_0 B_{mn}}{l_1 l_2 q \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}. \quad (15)$$

Здесь коэффициенты  $B_{mn}$  :

$$B_{mn} = \sum_{P=1}^N \int_{S_P} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)} dx_1 dx_2, \quad (16)$$

где  $S_1, S_1, \dots, S_N$  - отверстия виброрешета на базовой ячейке.

Коэффициент  $B_{00}$  имеет вид  $B_{00} = \sum_{P=1}^N \bar{S}_P$ , где  $\bar{S}_P$  -

площадь отверстия.

Если теперь подставить (15) в (11), (12), то получим следующие выражения для расчета коэффициентов

$$d_{mn}, A_{mn}^1, A_{mn}^2$$

$$d_{mn} = -\frac{U_0 \rho \left( 2\gamma_{mn}^2 + \frac{q}{v} \right) B_{mn}}{l_1 l_2 \gamma_{mn}^3 \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}, \quad (17)$$

$$A_{mn}^1 = -\frac{i2\pi n \lambda_{mn} U_0 B_{mn}}{l_1^2 l_2 \gamma_{mn}^2 \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}, \quad (18)$$

$$A_{mn}^2 = -\frac{i2\pi m \lambda_{mn} U_0 B_{mn}}{l_1^2 l_2^2 \gamma_{mn}^2 \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}. \quad (19)$$

Из (6) – (8) с помощью (15), (17), (18) окончательно имеем следующее решение краевой задачи (1) – (5) для  $m \neq 0, n \neq 0$

$$\bar{V}_{mn}^1 = \frac{i2\pi n}{l_1^2 l_2} F_{mn}(q_1 x_3), \quad \bar{V}_{mn}^2 = \frac{i2\pi m}{l_1^2 l_2^2} F_{mn}(q_1 x_3), \quad (20)$$

$$\bar{V}_{mn}^3 = \frac{U_0 B_{mn} \left[ 2ch(\lambda_{mn}(h-x_3)) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}(h-x_3)) \right]}{l_1 l_2 q \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}, \quad (21)$$

$$\bar{P}_{mn} = -\frac{U_0 B_{mn} \rho \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) sh(\gamma_{mn}(h-x_3))}{l_1 l_2 \gamma_{mn} \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right]}, \quad (22)$$

$$F_{mn}(q, x_3) = U_0 B_{mn} x$$

$$\times \left[ 2 \left( 2\gamma_{mn} + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) sh(\gamma_{mn}(h-x_3)) - 2\lambda_{mn} sh(\lambda_{mn}(h-x_3)) \right] / \quad (23)$$

$$\left( q\gamma_{mn}^2 \left[ 2ch(\lambda_{mn}h) - \left( 2 + \frac{q}{v\gamma_{mn}^2} \right) ch(\gamma_{mn}h) \right] \right)$$

$$\text{где: } \ddot{\bar{V}}_{00}^1 - \frac{q}{v} \bar{V}_{00}^1 + \frac{q}{v} \sin \theta = 0, \quad \ddot{\bar{V}}_{00}^2 - \frac{q}{v} \bar{V}_{00}^2 = 0, \quad \bar{V}_{00}^3 = \frac{U_0 B_{00}}{l_1 l_2 q},$$

$$\bar{P}_{00} = \frac{\rho g \cos \theta}{q} (h-x_3).$$

Следующий шаг состоит в применении обратного преобразования Лапласа к функциям (20) – (23).

Тогда после ряда преобразований [10] получим решение задачи в виде двумерных рядов Фурье:

- избыточное давление

$$P = \rho g \cos \theta (h - x_3) - \left[ \sum_{n \neq 0} \frac{B_{0n} \operatorname{sh}(\gamma_{0n} (h - x_3))}{A_{0n}} e^{\frac{i2\pi}{l_1} x_1} + \sum_{m \neq 0} \frac{B_{m0} \operatorname{sh}(\gamma_{m0} (h - x_3))}{A_{m0}} e^{\frac{i2\pi}{l_2} x_2} + \sum_{n \neq 0} \sum_{m \neq 0} \frac{B_{mn} \operatorname{sh}(\gamma_{mn} (h - x_3))}{A_{mn}} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)} \right] \quad (24)$$

компоненты поля скорости  $\vec{V} = V_1 \vec{e}_1 + V_2 \vec{e}_2 + V_3 \vec{e}_3$

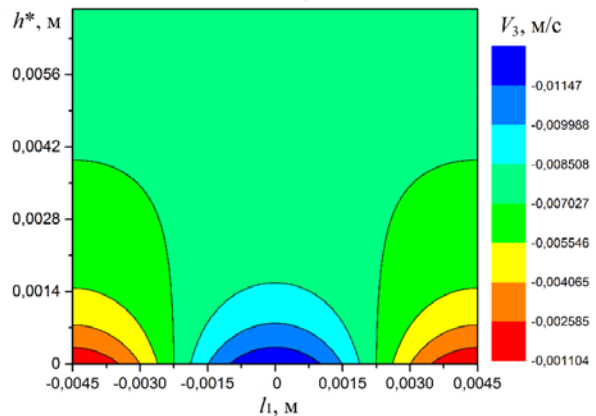
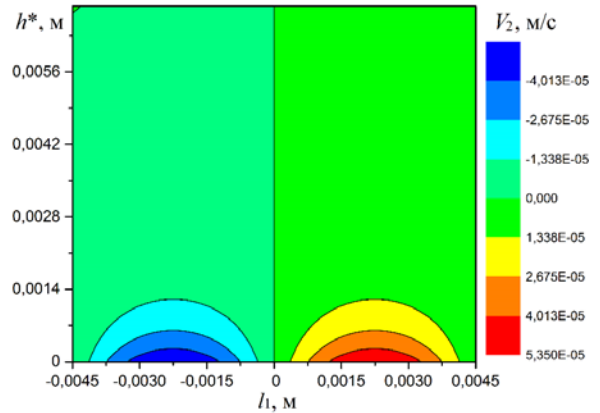
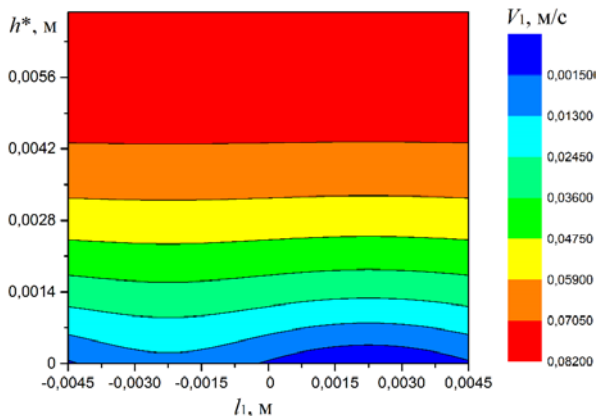
$$V_1 = \frac{g \sin \theta}{2\nu} [h^2 - (h - x_3)^2] + A \omega \operatorname{Re} \left[ \frac{\operatorname{ch} \left( \sqrt{\frac{i\omega}{\nu}} (h - x_3) \right)}{\operatorname{ch} \left( \sqrt{\frac{i\omega}{\nu}} h \right)} e^{i\omega t} \right] - \frac{i8\pi U_0 (h - x_3)}{l_1^2 l_2} \times \sum_{n \neq 0} \sum_{m \neq 0} \frac{n B_{mn} \operatorname{ch}(\gamma_{mn} (h - x_3))}{A_{mn}} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)}, \quad (25)$$

$$V_2 = -\frac{i8\pi U_0 (h - x_3)}{l_1 l_2^2} \times \sum_{n \neq 0} \sum_{m \neq 0} \frac{m B_{mn} \operatorname{ch}(\gamma_{mn} (h - x_3))}{A_{mn}} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)}, \quad (26)$$

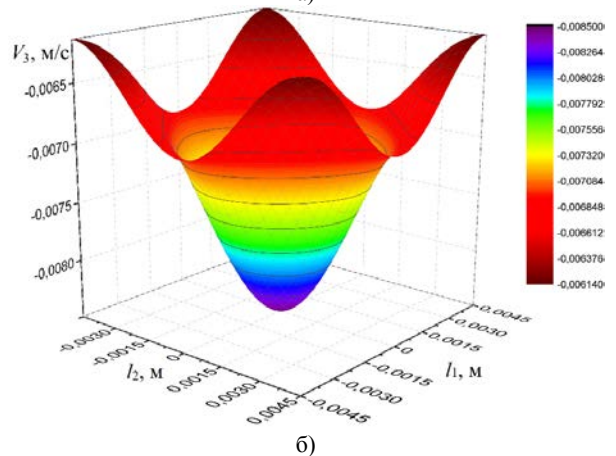
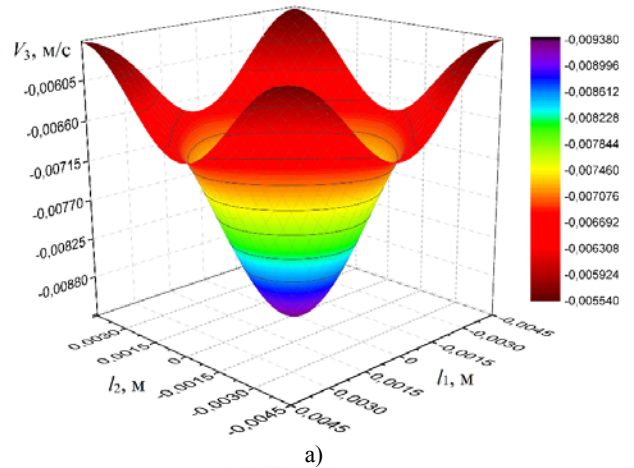
$$V_3 = -\frac{U_0}{l_1 l_2} \times \sum_{n \neq 0} \sum_{m \neq 0} \frac{B_{mn} [\operatorname{ch}(\gamma_{mn} (h - x_3)) - \operatorname{ch}(\gamma_{mn} h)]}{A_{mn}} e^{i2\pi \left( \frac{n}{l_1} x_1 + \frac{m}{l_2} x_2 \right)}, \quad (27)$$

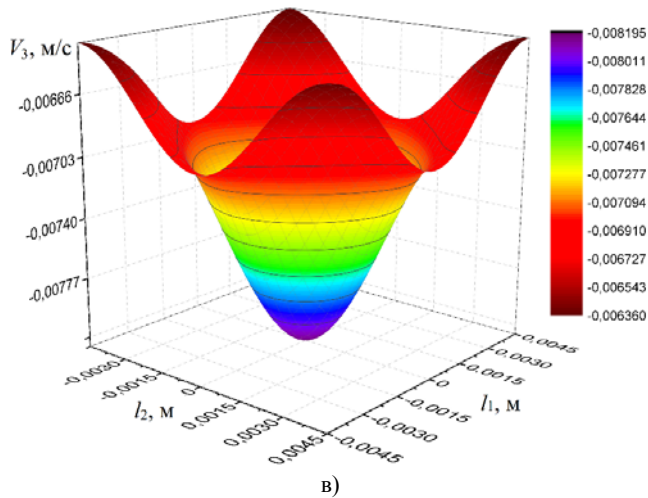
где  $A_{mn} = h \gamma_{mn} \operatorname{sh}(\gamma_{mn} h) - \operatorname{ch}(\gamma_{mn} h)$

Использование данного математического аппарата позволяет получать следующие зависимости динамики ЗС (фиг.4, 5), что позволяет оптимизировать параметры процесса просеивания и повысить эффективность решетного сепарирования ЗС.



**Фиг.4.** Поле скорости (продольной  $V_1$ , поперечной  $V_2$ , вертикальной  $V_3$ ) псевдооживленной пузырьковой смеси по средней толщине слоя ( $h^*$ ) относительно периода отверстия ( $l_1$ ) ( $A=0,0075$  м;  $\omega=48,12$  рад/с;  $l_1=l_2=0,009$  м;  $\mu_{П1}=1,78 \times 10^{-5}$  Па с;  $\bar{\rho}=1,21$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_{П1}=0,3$ ;  $\rho_P=750$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_P=0,7$ ;  $k_f=1$ ;  $a=0,003$  м;  $h=0,0065$  м;  $\xi=0,3$ ;  $f=0,5$ ;  $\theta=8$ град;  $V_0=0,015$  м/с;  $\omega t=0$ ;  $L=1$  м;  $H=1$  м;  $R=0,0035$  м;  $k=0$ )





**Фиг. 5.** Зависимости составляющих по толщине ( $V_z$ ) скорости псевдооживленной пузырьковой смеси относительно периодов отверстия ( $l_1, l_2$ ), при: а) -  $h=0,0065$  м; б) -  $h=0,013$  м; в) -  $h=0,0195$  м ( $A=0,0075$  м;  $\omega=48,12$  рад/с;  $l_1=l_2=0,009$  м;  $\mu_{II}=1,78 \times 10^{-5}$  Па с;  $\bar{\rho}=1,21$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_{II}=0,3$ ;  $\rho_p=750$  кг/м<sup>3</sup>;  $\delta_p=0,7$ ;  $k_f=1$ ;  $a=0,003$  м;  $\xi=0,3$ ;  $f=0,5$ ;  $\theta=8$  град;  $V_0=0,015$  м/с;  $\omega t=0$ ;  $L=1$  м;  $H=1$  м;  $R=0,0035$  м;  $k=0$ )

## 5. Заключение

Таким образом, в результате уточнений было получено окончательное решение краевой задачи динамики пузырьковой псевдооживленной смеси по структурному виброрешету с активаторами. Использование разработанной математической модели позволит управлять производительностью и качеством процесса просеивания ЗС на структурных решетках, что в свою очередь позволит интенсифицировать сепарацию ЗС.

## 6. Литература

1. Тищенко Л.Н. Интенсификация сепарирования зерна. – Харьков: Основа 2004. – 222 с.
2. Ковтун Ю.І., Харченко С.О. Обережно: насіння! /Ковтун Ю.І., Харченко С.О. // Агробізнес сьогодні. - №15-16(238-239).- 2012- С.32 – 34.
3. Строна И.Г. Общее семеноведение полевых культур/ И.Г. Строна. – М.: Колос, 1996. – 464с.
4. Ижик Н.К. Полевая всхожесть семян/ Н.К. Ижик. – К.: Урожай, 1976. – 200с.
5. Солошенко О.В., Харченко С.О., Кочетова С.І., Безпалько В.В. Урожайність і якість зерна озимої пшениці в залежності від основних факторів / Солошенко О.В., Харченко С.О., Кочетова С.І., Безпалько В.В. // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Харків: ХНТУСГ, 2014.-Вип.152. – С.120-114.
6. Харченко С.А. К построению трехмерной гидродинамической модели динамики пузырьковой псевдооживленной зерновой смеси по структурному виброрешету / С.А. Харченко // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2014. – Вип.14. Т.2. - С.80-85.
7. Харченко С.А. Уточнение уравнений динамики пузырьковой псевдооживленной зерновой смеси по структурному виброрешету / С.А. Харченко, Л.Н. Тищенко // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ, 2014. - №1 (73). – С.50-53.
8. Харченко С.А. Алгоритм расчета эффективного коэффициента динамической вязкости пузырьковой псевдожидкости, моделирующей сепарируемую зерновую смесь / С.А. Харченко, Л.Н. Тищенко // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця: ВНАУ, 2013. – С.64-72.
9. Харченко С.А. К решению уравнений динамики пузырьковой псевдооживленной зерновой смеси по структурному трехмерному виброрешету / С.А. Харченко // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – С.140-146.
10. К построению модели динамики пузырьковой псевдооживленной зерновой смеси по структурному трехмерному виброрешету/ Тищенко Л.Н., Харченко С.А., Абдуев М.М.// Вісник ХНТУСГ: Механізація сільськогосподарського виробництва, 2015. – Вип.156. – С.168-174.
11. Харченко С.А. Математические выражения модели динамики пузырьковой псевдооживленной зерновой смеси по структурному трехмерному виброрешету // Вісник ХНТУСГ: Технічні системи і технології тваринництва, 2015. – Вип.157. – С.226 - 230.