

УДК 631.33

**В.Б. Бойко, інж.***Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м.Дніпропетровськ, Україна, vlad-boyko@mail.ru*

## Дослідження процесу заряджання насінини в насіннепровід координатного гідропневматичного висівного апарата

Розроблено математичну модель процесу заряджання насіння до насіннепроводу координатного гідропневматичного висівного апарата з використанням в програмного пакету STAR-CCM+. Отримано результати чисельного моделювання процесу зарядки насінини дозволило визначити залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідро клапан  $V_t$  від ширини забірної камери  $B$  і початкової швидкості рідини  $V_0$  в ній.

**гідропневматичний висівний апарат, однонасінневий висів, псевдозріджений шар, заряджання, насіннепровід, математична модель**

**В.Б. Бойко, інж.***Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г.Днепропетровск, Украина*

**Исследование процесса зарядки семени в семяпровод координатного гидропневматического высевного аппарата**

В статье разработана математическая модель процесса зарядки семян в семяпровод координатного гидропневматического высевного аппарата с использованием программного пакета STAR-CCM+. Полученные результаты численного моделирования процесса зарядки семян позволили определить зависимость минимальной начальной скорости потока жидкости через гидроклапан  $V_t$  (0,42-1,45 м/с) от ширины заборной камеры  $B$  и начальной скорости жидкости  $V_0$  в ней.

**гидропневматический высевной аппарат, односеменной висев, псевдооживленный слой, зарядка, семяпровод, математическая модель**

**Постановка проблеми.** Відбір насіння в класичних висівних апаратах здійснюється за рахунок присмоктування до комірок дисків, за допомогою котушок або щіток. Аналізом останніх досліджень встановлено наявність великої кількості наукових робіт по вивченню процесів захоплення насіння розглянутими способами. В нашому випадку досліджується координатний гідропневматичний висівний апарат (ГПВА) [1], що належить до нового типу висівних апаратів і потребує ретельного вивчення технологічних процесів. В даній роботі буде розглянуто процес заряджання насінини, що знаходиться в рідині у зваженому стані.

**Аналіз останніх публікацій.** Вивченню питання руху насінини в гідравлічних висівних апаратах присвячені роботи як вітчизняних так і закордонних науковців та практиків, зокрема: Яковенко К.І., Ольховського М.Ф., Заполіна В.М., Ящук А.І., Давидова Е.И., Мюйріпеал М.В., Девіда Коронакі, Ігучі Манабу, Домініка Кубіцкі.

**Постановка завдання.** Побудувати математичну модель процесу забору насіння з псевдозрідженого шару і подальшого його заряджання в насіннепровід ГПВА. Визначити мінімальні значення швидкості потоку для заряджання насіння в насіннепровід.

**Виклад основного матеріалу.** Попередньо проведені дослідження процесу формування псевдозрідженого шару [2] дали змогу визначити основні конструктивно-технологічні параметри та обрати форму забірної камери. Використавши їх проведемо дослідження процесу забору насіння з послідуочим зарядженням до насіннепроводу висівного апарата.

Процес забору насіння відбувається в момент відкриття гідроклапана 1 (рис.1). Через відкритий клапан 1 з'являється потік рідини, що витікає в забірну камеру 4 одночасно захоплюючи насінину 2 з псевдозрідженого шару і транспортуючи її по насіннепроводу 3 до висівної частини апарата. Розглянемо крайовий варіант розташування насінини біля початку потоку рідини від клапана (рис. 1).

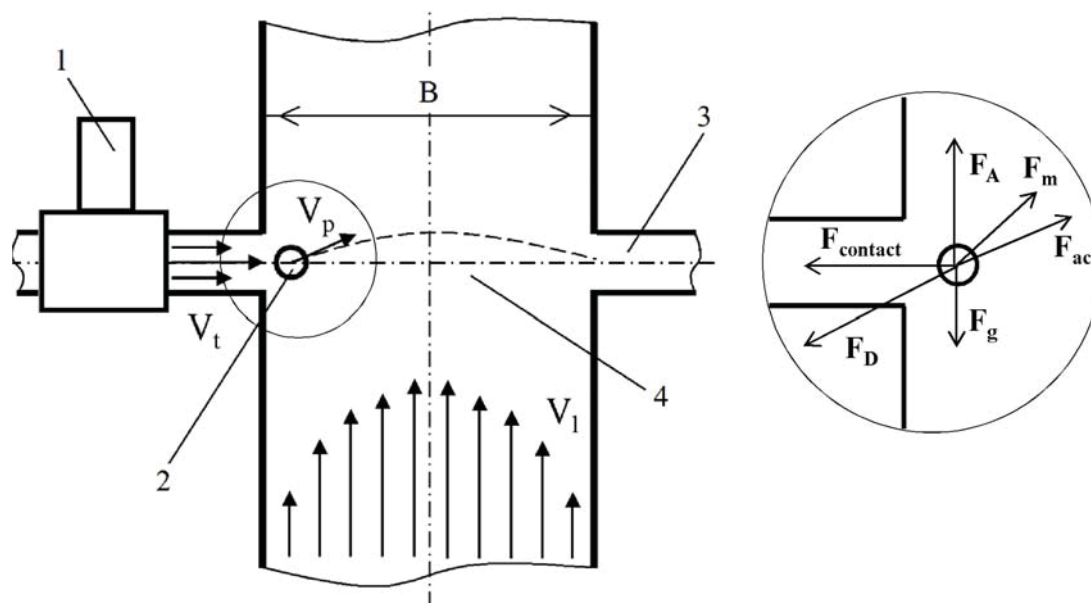


Рисунок 1 – Розрахункова схема процесу зарядження насінини в насіннепровод

Джерело: [2]

Система диференціальних рівнянь руху насінини в потоці рідини [3, 4, 5, 6, 7] для поставленої задачі матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_p \frac{d_p \bar{V}_p}{dt} = \bar{F}_g + \bar{F}_A + \bar{F}_{ac} + \bar{F}_m + \bar{F}_D + \bar{F}_{contact}, \\ \frac{d_p \bar{S}_p}{dt} = \bar{V}_p, \\ \frac{d_p}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \bar{V}_p \cdot \bar{\nabla}. \end{cases}$$

або

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d_p \bar{V}_p}{dt} &= \frac{2(\rho_p - \rho_l)}{2\rho_p + \rho_l} \bar{g} + \frac{3\rho_l}{2\rho_p + \rho_l} \frac{d_l(\bar{V}_l + \bar{V}_t)}{dt} + \\ &+ \frac{3\rho_l f_M(\text{Re})}{4a(2\rho_p + \rho_l)} (\bar{V}_l + \bar{V}_t - \bar{V}_p) \cdot |\bar{V}_l + \bar{V}_t - \bar{V}_p| + \overline{F_{contact}}, \\ \overline{F_{contact}} &= \begin{cases} \bar{F}_n + \bar{F}_t, & \overline{S_{pA}} = \overline{S_{pB}}, \\ 0, & \overline{S_{pA}} \neq \overline{S_{pB}}, \end{cases} \\ \frac{d_p \bar{S}_p}{dt} &= \bar{V}_p, \\ \frac{d_p}{dt} &= \frac{\partial}{\partial t} + \bar{V}_p \cdot \nabla, \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де  $a$  – радіус сферичної насінини, м;

$\rho_p$  – густина насінини, кг/м<sup>3</sup>;

$\bar{V}_p$  – вектор швидкості руху насінини, м/с;

$\bar{S}_p$  – вектор переміщення насінини, м;

$\bar{F}_g = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_p \bar{g}$ , – вектор сили тяжіння, Н;

$\bar{F}_A = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_l \bar{g}$ , – вектор сила Архімеда;

$\bar{F}_{ac} = \frac{4}{3} \pi a^3 \rho_l \frac{d_l \bar{V}_l}{dt}$  – сила, що зумовлена зміною тиску в напрямку руху несучого потоку, Н;

$\bar{V}_l$  – вектор швидкості руху рідини, м/с.

$\bar{F}_m = \frac{2}{3} \pi a^3 \rho_l \frac{d}{dt} (\bar{V}_l - \bar{V}_p)$  – сила, еквівалентна впливу приєднаної маси представляється, Н;

$\bar{F}_D = \frac{1}{2} \pi a^2 \rho_l f_M(\text{Re}) (\bar{V}_l - \bar{V}_p) |\bar{V}_l - \bar{V}_p|$  – сила в'язкого опору, Н;

$\overline{F_{contact}} = \bar{F}_n + \bar{F}_t$  – сила взаємодії між насінинами і границею, Н;

$\bar{F}_n = -K_n \bar{d}_n - N_n \bar{V}_n$  – нормальна складова сили, Н;

$\bar{F}_t = -K_t \bar{d}_t - N_t \bar{V}_t$  – тангенціальна складова сили, Н.

Нормальна складова сили визначається наступним рівнянням:

$K_n = \frac{4}{3} E_{eq} \sqrt{d_n R_{eq}}$  – нормальний коефіцієнт жорсткості пружної складової, Н/м;

$N_n = \sqrt{(5K_n M_{eq})} N_{n \text{ damp}}$  – нормальний коефіцієнт згасання демпферної складової, Н/м;

$K_t = 8G_{eq} \sqrt{d_t R_{eq}}$  – тангенціальний коефіцієнт жорсткості пружної складової, Н/м;

$N_t = \sqrt{(5K_t M_{eq})} N_{t \text{ damp}}$  – тангенціальний коефіцієнт згасання демпферної складової, Н/м;

$$N_{damp} = \frac{-\ln(C_{n\ rest})}{\sqrt{\pi^2 + \ln(C_{n\ rest})^2}} - \text{коефіцієнт загасання}$$

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}} - \text{еквівалентний радіус двох насінин A і B, м;}$$

$$M_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} - \text{еквівалентна маса двох насінин A і B, кг;}$$

$$E_{eq} = \frac{1}{\frac{1-v_A^2}{E_A} + \frac{1-v_B^2}{E_B}} - \text{еквівалентний модуль Юнга двох насінин A і B, Па;}$$

$$G_{eq} = \frac{1}{\frac{2(2-v_A)(1+v_A)}{E_A} + \frac{2(2-v_B)(1+v_B)}{E_B}} - \text{еквівалентний модуль зсуву двох}$$

насінин A і B, Па;

$M_A, M_B$  – маси насінин A і B, кг;

$d_n, d_t$  – коефіцієнт дублювання в нормальному і тангенціальному напрямках в точці контакту [22];

$R_A, R_B$  – радіуси насінин A і B, м;

$E_A, E_B$  – модулі Юнга насінин A і B, Па;

$v_A, v_B$  – коефіцієнти Пуассона часток A і B;

$\bar{V}_n, \bar{V}_t$  – нормальний і тангенціальний компонент відносної швидкості поверхні насінини в точці контакту, м/с;

$\bar{S}_p$  – вектор переміщення насінини, м;

$f_M(Re)$  – коефіцієнт в'язкого опору

$\bar{\nabla}$  – векторний диференціальний оператор Гамільтона;

$\bar{V}_t$  – тангенціальний компонент відносної швидкості поверхні насінини в точці контакту, м/с;

Система диференціальних рівнянь (1) в загальному вигляді не вирішується аналітичними методами, тому вирішення поставленої задачі проведемо в програмному пакеті STAR-CCM+.

За фактори чисельного моделювання були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри: ширина забірної камери  $B$  (змінюється в межах від 0,010-0,025 м, крок варіювання – 0,005) і швидкість на вході забірної камери  $V_0$  (змінюється в межах від 0,4-0,6 м/с, крок варіювання – 0,05). Чисельне моделювання було проведено за повним факторним дослідом із загальною кількістю дослідів –  $4 \times 5 = 20$ . В результаті була отримана графічна інтерпретація процесу переміщення насінини з об'єму забірної камери в насіннепровід (рис. 2).

В розробленій моделі в програмному пакеті STAR-CCM+ була задана кінцева точка шляху насінини (на вході в насіннепровід), яку вона повинна досягти згідно із поставленою технологічною задачею. Для кожного дослідів проведено чисельний перебір початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $V_t$  і встановлено її мінімальне значення, при якому насінина досягає заданої кінцевої точки (табл. 1).

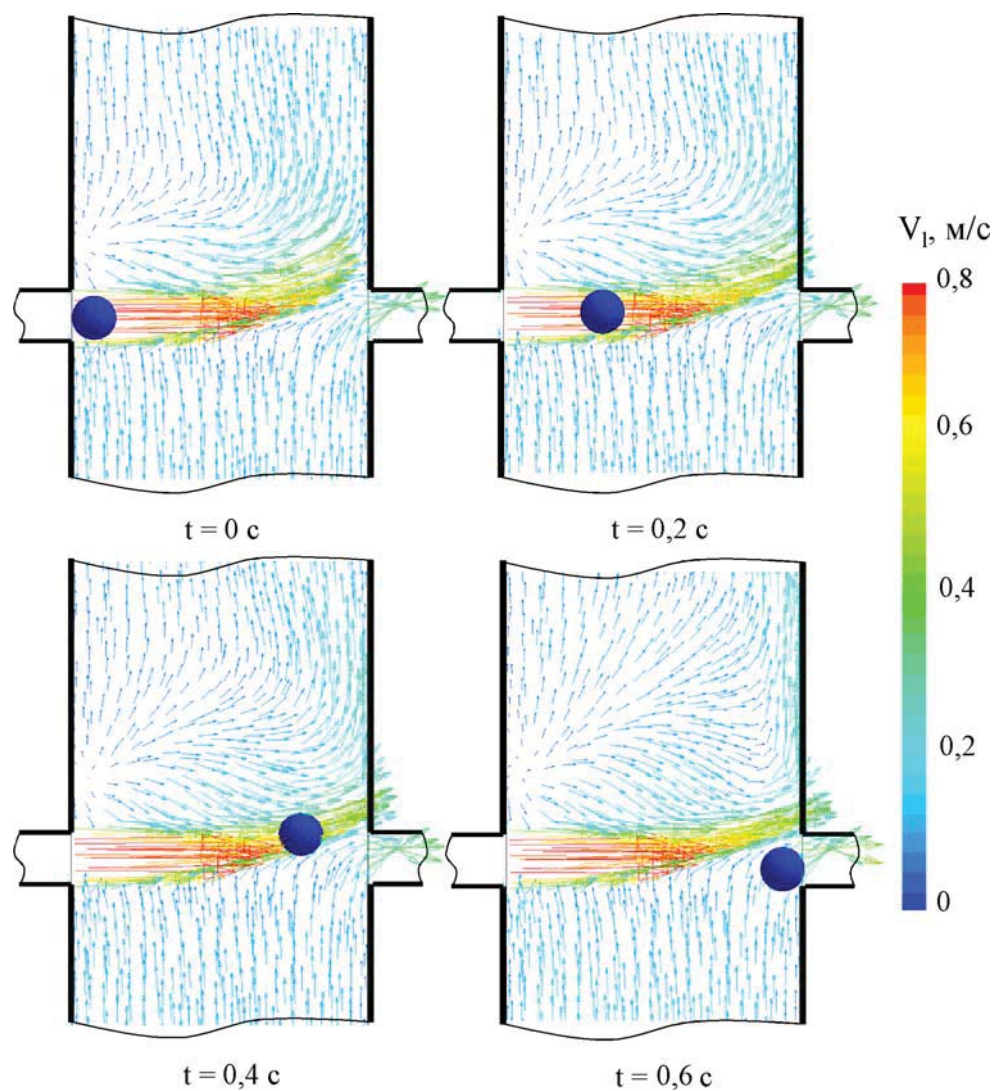


Рисунок 2 – Процес переміщення насінини з об'єму забірної камери в насіннепровід: об'ємна концентрація насіння  $n = 0,32 \text{ см}^{-3}$ , кут між стінками забірної камери  $\alpha = 15^\circ$ , початкова швидкість на вході в забірну камеру  $V_0 = 0,6 \text{ м/с}$

Таблиця 1 – Результати чисельного моделювання процесу зарядження насінини в насіннепровід

| № | Ширина забірної камери<br>$B$ , м | Швидкість потоку рідини<br>$V_1$ , м/с | Швидкість руху рідини через гідроклапан<br>$V_t$ , м/с |
|---|-----------------------------------|--|--|
| 1 | 0,010                             | 0,40                                   | 0,42   |
| 2 | 0,010                             | 0,45                                   | 0,53   |
| 3 | 0,010                             | 0,50                                   | 0,62   |
| 4 | 0,010                             | 0,55                                   | 0,73   |
| 5 | 0,010                             | 0,60                                   | 0,82   |

Продовження таблиці 1

|    |       |      |      |
|----|-------|------|------|
| 6  | 0,015 | 0,40 | 0,61 |
| 7  | 0,015 | 0,45 | 0,73 |
| 8  | 0,015 | 0,50 | 0,82 |
| 9  | 0,015 | 0,55 | 0,93 |
| 10 | 0,015 | 0,60 | 1,04 |
| 11 | 0,020 | 0,40 | 0,76 |
| 12 | 0,020 | 0,45 | 0,87 |
| 13 | 0,020 | 0,50 | 0,99 |
| 14 | 0,020 | 0,55 | 1,10 |
| 15 | 0,020 | 0,60 | 1,21 |
| 16 | 0,025 | 0,40 | 1,01 |
| 17 | 0,025 | 0,45 | 1,11 |
| 18 | 0,025 | 0,50 | 1,23 |
| 19 | 0,025 | 0,55 | 1,35 |
| 20 | 0,025 | 0,60 | 1,45 |

З використанням програмного пакету Mathematica проведено апроксимацію отриманих даних (табл. 1) у вигляді рівняння регресії, в результаті якої встановлено залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $V_t$  від факторів чисельного моделювання:

$$V_t = -0,6398 + 16,26 B + 420 B^2 + 2,06829 V_1 + 17,2 B V_1 - 0,214286 V_1^2. \quad (2)$$

За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стюдента незначущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% є коефіцієнти при таких членах рівняння:  $B^2$ ,  $V_1^2$ . На основі цього рівняння регресії (2) прийме вигляд:

$$V_t = -0,6398 + 16,26 B + 2,06829 V_1 + 17,2 B V_1. \quad (3)$$

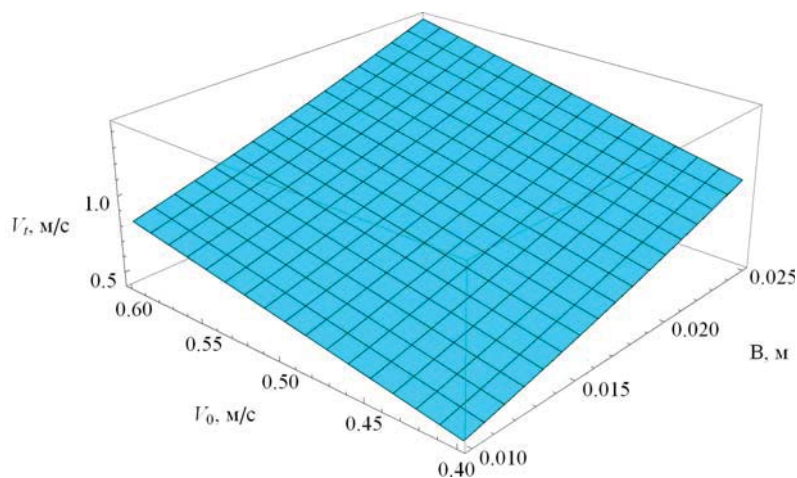


Рисунок 3 – Залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $V_t$  від ширини забірної камери  $B$  і швидкості на її вході  $V_0$

Аналізуючи рисунок 3 можна стверджувати, що із збільшенням ширини забірної камери і швидкості на її вході необхідно збільшувати і початкову швидкість потоку рідини через гідроклапан. Це необхідно для виконання поставленої технологічної вимоги щодо виконання процесу зарядження насіння в насіннепровід.

**Висновки.** Результати чисельного моделювання процесу зарядження насіння дозволили визначити залежність мінімальної початкової швидкості потоку рідини через гідроклапан  $V_t$  (0,42-1,45 м/с) від ширини забірної камери  $B$  і початкової швидкості рідини  $V_0$  в ній.

## Список літератури

1. Спосіб координатного гідропневматичного висіву насіння та пристрій для його реалізації [Текст] Патент України UA № 90998 A01C7/04. Бюл. № 12, 2010.
2. Бойко В.Б. Процес утворення пульпи в координатному гідропневматичному висівному апараті. [Текст] / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Х., 2014. – Вип. 148 - С. 48-55.
3. Гельперин Н. И. Основы техники псевдоожижения [Текст] / Н. И. Гельперин, В. Т. Айнштейн, В. Б. Кваша. - М. : Химия, 1967.- 664 с.
4. Авраменко М.И. О к-ε модели турбулентности [Текст] / М.И. Авраменко // VIII Забабахинские научные чтения (5-9 сентября 2005 г.) – 2005. – С. 1-21.
5. Vikram Roy, Analysis of the Turbulent Fluid Flow in an Axi-symmetric Sudden Expansion / Vikram Roy, Snehamou Majumder, Dipankar Sanyal. [Електронний ресурс] // International Journal of Engineering Science and Technology – 2010. – №2 (6). – P. 1569-1574.
6. Белов И.А. Моделирование турбулентных течений: Учебное пособие [Текст] / И.А. Белов, С.А. Исаев // Балт. гос. техн. ун-т. СПб. – 2001. – 108 с.
7. Di Renzo. Comparison of contact-force models for the simulation of collisions in DEM-based granular flow codes / Di Renzo Alberto, Di Maio Francesco Paolo // [Електронний ресурс] Chemical Engineering Science. – 2004. – № 59 (1). – P. 525-541.

**Vladislav Boyko, assist.**

*Dnipropetrovsk State Agrarian and Economic University, Dnipropetrovsk, Ukraine*

### **The study of the charging process of the seed in the seed tube jig hydro-pneumatic seed distributor**

In the Dnepropetrovsk agrarian University is working to coordinate implementation of the agriculture using bridge machines. Coordinate agriculture will implement a personalized approach to the cultivation of vegetable crops, thus reducing mechanical and chemical effects in crop production.

To improve the efficiency of agriculture bridge designed and manufactured a prototype of the coordinate hydropneumatic sowing device.

In this paper, an analysis of recent publications on transportation of seed in hydraulic seeding machines.

Using the software package STAR-CCM+, the mathematical model of the charging process of the seeds in the seed channel to coordinate hydropneumatic sowing device.

The results of numerical simulation of the charging process of the seed made it possible to justify the minimum value of the initial flow rate of fluid passing through the hydraulic valve device, and transports the seeds from the suction chamber into the channel for the seed.

Одержано 20.11.15