



Волик Д.А.
аспірант

Степаненко С.П.
д.т.н., старший науковий
співробітник

*Інститут механіки та
автоматики
агропромислового
виробництва*

Котов Б.І.
д.т.н., професор

*Заклад вищої освіти
«Подільський державний
університет»*

Мельник В.А.
аспірант

*Інститут механіки та
автоматики
агропромислового
виробництва*

Volyk D.
postgraduate student

Stepanenko S.
Doctor of Technical Sciences,
senior researcher

*Institute of Mechanics and
Automation of Agricultural
Production*

Kotov B.
Doctor of Technical Sciences,
Professor

*Institute of Higher
Education "Podilskyi State
University"*

Melnyk V.
postgraduate student

*Institute of Mechanics and
Automation of Agricultural
Production*

УДК 631.313.6

DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУХУ ТА РОЗДІЛЕННЯ КОМПОНЕНТІВ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ У ВІБРОПНЕВМАТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Стаття присвячена дослідженню процесів руху та відокремлення компонентів у суміші насіння за умов вібропневматичного шару. Проблема конкурентоспроможності зернового виробництва висвітлюється через використання насіння з високими посівними якостями. Проведені дослідження зосереджується на методах підвищення якості насіння, зокрема на їх відокремленні у вібропневматичному середовищі за фізико-механічними властивостями та густиною насінин. Автори вказують на тісний взаємозв'язок між посівними якостями та густиною насіння. Дослідження показує, що сучасні технічні засоби, такі як вібропневмосепаратори, мають обмежену ефективність через низьку питому навантаженість та високі енергетичні витрати. Однак, авторами запропоновано підвищення ефективності розділення насіння у вібропневоімпульсному шарі зернового середовища, що може призвести до створення конкурентоспроможних комбінованих вібропневмосепараторів для поділу насіння за густиною. Отримано графічні залежності основних параметрів розділення насіннєвих сумішей. Обґрунтовано основні елементи для CFD-моделювання та встановлені конструкційні і кінематичні параметри робочої поверхні вібропневоімпульсного сепаратора. Створені математичні моделі дають змогу прогнозувати швидкість переміщення компонентів із невеликою густиною у вібропневоімпульсному шарі зерна, беручи до уваги різні фактори. Виходячи з результатів досліджень, було розроблено та виготовлено модернізований вібропневоімпульсний сепаратор, який підвищує питоме навантаження на решето та зменшує енергетичні витрати під час розділення насіння. За даними експериментів, збільшення швидкості повітряного потоку від 0,6 до 1,4 м/с сприяє підвищенню ефективності розділення насіння пшениці, досягаючи 70%, при цьому втрати якісного насіння в інші фракції не перевищують 3% (при допустимих 10%).

Ключові слова: насіння, вібропневматичний шар, розділення, густина, ефективність, технічні засоби, математичне моделювання, CFD, експериментальні дослідження.

Постановка
Конкурентоспроможність зернового виробництва залежить від численних чинників. Однак одним із ключових та економічно вигідних є використання насіння з високими посівними якостями. Для підвищення цих

проблеми. якостей застосовуються різноманітні методи, включаючи їх розділення в вібропневматичному шарі за комплексом фізико-механічних властивостей, в тому числі за густиною. Крім того, розділення за густиною використовується для виділення біологічно цінної частини



насіння, оскільки між посівними якістьми насіння та їх густиною існує тісний взаємозв'язок.

Сучасні технічні засоби, які використовуються для розділення насіння за густиною, включають вібропневмосепаратори з трапецієподібними деками. Однак такі сепаратори характеризуються низькою питомою навантаженістю і, відповідно, високими енергетичними витратами. У зв'язку з цим наші дослідження, спрямовані на підвищення ефективності розділення насіння в вібропневмоімпульсному шарі зернового середовища, є важливими та актуальними, і їх результати сприятимуть створенню конкурентоспроможних комбінованих вібропневмосепараторів для насіння.

Аналіз останніх досліджень.

Вітчизняними дослідниками [1-12] в достатньому обсязі були обґрунтовані сучасні методи щодо дослідження процесів сепарації зернових матеріалів.

Зокрема Алієв Є.Б. в роботах [1] розробив оригінальну методику та провів серію досліджень щодо прецизійного розділення насіння соняшнику. В результаті досліджень визначено структуру адаптивного техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва соняшнику та визначено узагальнюючі коефіцієнти якості виконання технологічного процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу.

Богатирьов Д. В. в своїй роботі [2] обґрунтував конструкцію пневмоімпульсної машини. Згідно з його дослідженнями, пульсація повітряного потоку в пневматичному каналі призводить до зменшення коефіцієнту внутрішнього тертя між елементами зернового матеріалу, що пришвидшує приведення матеріалу в стан вседозрідження.

В роботі [13] було проведено моделювання динамічних процесів зернових сумішей на плоских віброуючих решетах з ускладненою геометричною структурою. При моделюванні властивості зернового матеріалу прийняті за в'язку нестисну рідину, яка в загальних випадках описується рівнянням Нав'є-Стокса. Отримане рівняння руху зернового шару в стані особливого бульбашкового псевдозрідження використовується задля опису розподілу поля швидкостей.

Автори [8, 11] для опису характеру руху часток при віброрешітній сепарації зернового матеріалу дослідили рівняння відносного руху в циліндричних координатах, що дало змогу визначити траєкторії руху та на основі гідродинамічної аналогії розробили математичні моделі гармонічних коливань зернових потоків.

Формулювання мети статті. Метою дослідження є детальний опис та чисельне моделювання процесів, що відбуваються під час розділення насінневих сумішей в стані вібропневмозрідження.

Використовуючи методи класичної гідродинаміки, пропонується відслідкувати взаємозалежності та визначити ступінь впливу параметрів сепаратора на характеристики зернового шару у стані вібропневмозрідження. Це дослідження спрямоване на покращення розуміння процесів розділення та визначення раціональних параметрів сепараторів для підвищення ефективності обробки зернового матеріалу.

Основна частина.

Враховуючи наукові дослідження, проведені [1, 2] у контексті вібропневматичного шару сипкого матеріалу було отримано вираз для відносного переміщення частинки у вібропневматичному шарі:

$$m \cdot \ddot{x} = (1 - \Delta) \cdot [m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta + u_x) + F_p] - F_v \quad (1)$$

де m_0 - ефективна маса частинки, яка складається з маси самої частинки m та маси середовища у половині її об'єму;

\ddot{x} - проекція відносного прискорення частинки.

g - прискорення вільного падіння;

Δ - співвідношення густини розглянутої частинки ρ_p до густини частинок ρ_s , що утворюють зерновий шар (зернове середовище); $\Delta = \frac{\rho_p}{\rho_s}$;

u_x - проекція прискорення безпроваляного перфорованого решета на вісь x ;

F_p - сила повітряного потоку;

F_v - сила опору відносному переміщенню.

Сила повітряного потоку F_p містить статичну F_{ps} та динамічну F_{pd} компоненти. Статична частина впливу повітряного потоку обчислюється за відомим виразом [3, 4]:

$$F_{ps} = V \cdot \text{grad}P, \quad (2)$$

де V - об'єм, який займає частинка у зерновому середовищі;

$\text{grad}P$ - градієнт напору.

Градієнт напору визначається як [8]:

$$\text{grad}P = \frac{\Delta P}{h} \quad (3)$$

де ΔP - різниця тиску повітря у шарі насіння висотою h .

Як відомо, різниця тиску, згідно з рівнянням Ергана, складе [8]:

$$\Delta P = 150 \cdot \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\mu \cdot V_p \cdot h}{d^2} + 1,75 \cdot \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \frac{\rho V V_p^2 \cdot h}{d} \quad (4)$$

де ε - пористість вібропневматичного шару;

V_p - швидкість повітряного потоку;

μ - динамічна в'язкість повітряного потоку;



ρ_v - густина повітря;
 d - еквівалентний діаметр частинки.

Необхідно зазначити, що для умов вібропневмоімпульсного середовища ми модифікували рівняння Ергана в наступну формулу:

$$\Delta P = 150 \cdot \frac{[1 - \varepsilon]^2}{\varepsilon^3} \cdot \mu \cdot [V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)]] \cdot k_p \cdot h + 1,75 \cdot \frac{[1 - \varepsilon]}{\varepsilon^3} \cdot \rho_v \cdot [V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)]]^2 \cdot k_p \cdot h^2 \quad (5)$$

де V_{pn} - швидкість пульсуючого повітряного потоку в міжзерновому просторі;

ω_1 - частота обертання заслінки пульсатора;

k_p - коефіцієнт вітрильності частинки, який характеризує її фізико-механічні та аеродинамічні властивості.

На рис.1 наведено залежності втрат тиску в насінневому шарі зернового середовища від швидкості пульсуючого повітряного потоку для різної висоти шару h , які побудовані за залежністю (5). Встановлено, що зі зміною частоти пульсації повітряного потоку в діапазоні 0...10 Гц та зміною висоти шару зернового середовища 6...20 мм в діапазонах екстремумів функції має різницю понад 30%.

Таким чином, можемо стверджувати, що в залежності від режиму роботи зі збільшенням товщини шару насінневої суміші збільшується значення перепаду тиску.

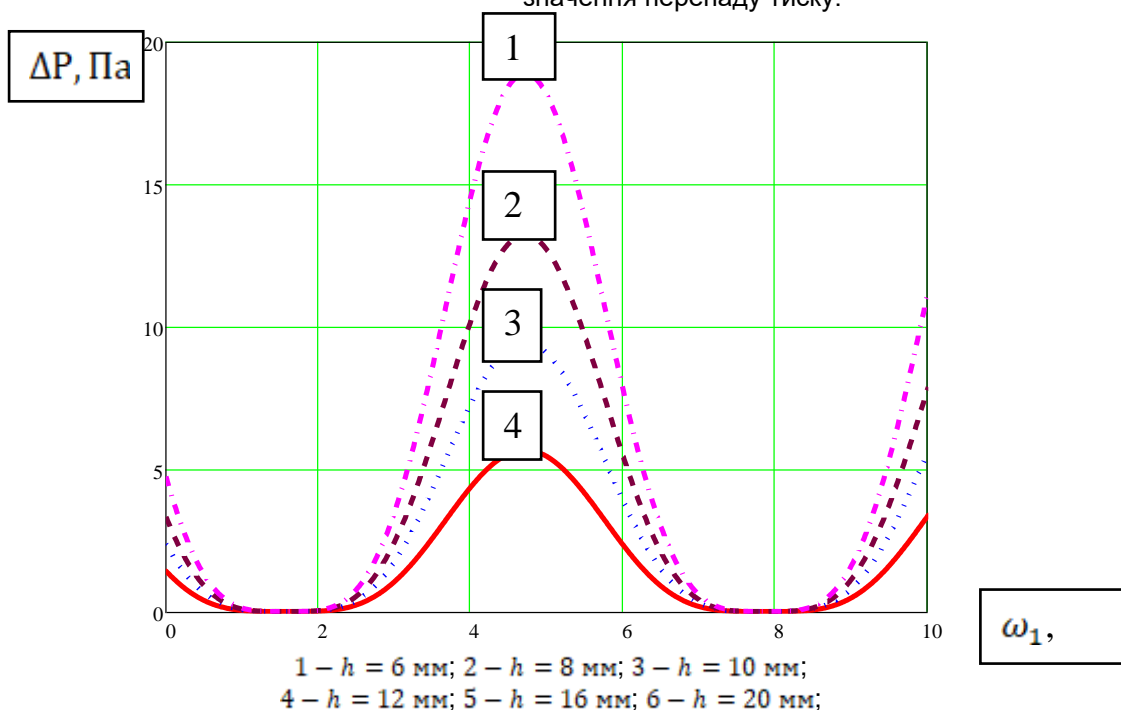


Рис.1. Залежність втрат тиску ΔP в насінневому шарі зернового середовища від частоти пульсуючого повітряного потоку ω_1 для різної висоти шару h

Об'єм частинки, які мають форму, найкраще описану трьома основними напрямками еліпсоїда, обчислюється за наступною формулою [3]:

$$V = \frac{\pi \cdot a \cdot b \cdot c}{6} \quad (6)$$

де a, b, c - відповідно, товщина, ширина та довжина частинки.

Еквівалентний діаметр частинки d визначається за відомою формулою [3, 4]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}} \quad (7)$$

Відомо, що динамічна компонента F_{pd} залежить від швидкості пульсуючого повітряного потоку. У межах швидкостей 0,2 м/с до 2,5 м/с, його вплив на частинку сипкого матеріалу розраховується за допомогою відомої формули Ньютона. Для випадку з

пульсуючим повітряним потоком, нам вдалося записати формулу Ньютона в більш адекватному для нашого процесу вигляді:

$$F_{pd} = \rho \cdot k \cdot S_p \cdot [V_{pn} \cdot [1 - \sin(\omega_1 \cdot t)]]^2 \quad (8)$$

де k - коефіцієнт, який враховує властивості поверхні частинки ($k = 0,15 - 0,27$);

S_p - площа Міделевого перерізу частинки.

Площу Міделевого перерізу частинки, за умови, що їхня вісь спрямована паралельно коливній перфорованій поверхні, і їх розмір a визначає товщину моношару (як найбільш стабільне положення), тому можна обчислити як площу еліпса:

$$S_p = \frac{\pi \cdot b \cdot c}{4} \quad (9)$$

Згідно з методикою аналізу процесу вібропереміщення шару насіння,



запропонованою Богатирьовим Д. В. [2], але з урахуванням впливу вібрацій, пульсуючого повітряного потоку, сила опору поперечному переміщенню частинки F_v буде визначатися за виразом:

$$F_v = \frac{m_0 \left[g \cdot \cos \beta - \frac{F_p}{m_0} + u_x \right] \delta^* \cdot \tan[\theta - \varphi_n]}{1 + f_v \cdot \tan[\theta - \varphi_n]} \quad (10)$$

де θ - насипний кут, що характеризує розташування насіння в зерновому середовищі;
 m_0 - маса частинок, що утворюють зернове середовище;

δ^* - кількість моношарів, розташованих вище над часткою, що розглядається;

f_v - коефіцієнт внутрішнього тертя;
 $f_v = \tan \varphi_n$;

φ_n - кут внутрішнього тертя.

Проекція прискорення робочої поверхні буде визначена за відомою формулою [3, 4]:

$$u_x = \omega^2 \cdot r \cdot \cos[\omega \cdot t] \cdot \sin(\varphi) \quad (11)$$

де ω - частота обертання віброрешета;

φ - кут нахилу віброуючої площини до горизонту.

Кількість моношарів над розглянутою частинкою можна виразити через її координату x .

$$\delta^* = \frac{h - 0,5a - x}{a} \quad (12)$$

Величини прискорення деки та швидкості пульсуючого повітряного потоку обмежені умовою безвідривного руху частинок з білою густиною за інші частки. Розв'язанням диференціального рівняння (1) чисельним методом при $m_0 = 3,4$ г; $a = 2,7$ мм, $b = 2,8$ мм, $c = 6,5$ мм, $\omega = 52$ с⁻¹, $r = 2,5$ мм, $\beta = 5^\circ$, $\theta = 18^\circ$, $\varphi_n = 16^\circ$, $\rho_s = 0,78$ г/см³, $\varphi = 22^\circ$ визначені час та швидкість переміщення частинки з нижнього шару зернового середовища на його поверхню (тобто на верхній моношар зернового середовища). При цьому має бути виконана умова:

$$\frac{(1 - \Delta) \cdot \left[m_0 \cdot (g \cdot \cos \beta + u_x) + F_p \right]}{m_0 \left[g \cdot \cos \beta - \frac{F_p}{m_0} + u_x \right] \delta^* \cdot \tan[\theta - \varphi_n]} \geq \frac{1 + f_v \cdot \tan[\theta - \varphi_n]}{1} \quad (13)$$

Швидкість відносного переміщення частинок з малою густиною у вібропневмоімпульсному шарі зернового середовища залежить від співвідношення густини розглянутої частинки до густини частинок, які утворюють шар. Ця величина також визначає швидкість пульсуючого повітряного потоку, за якої починається внутрішньшарове переміщення.

За однакової швидкості повітряного потоку рух частинки з меншої глибини h відбувається інтенсивніше. Отримані результати розрахунків достатньо добре узгоджуються з даними експериментальних досліджень [15].

Розроблено 3д модель експериментального зразка технічного засобу з перфорованим безпровальним решетом (рис. 2), на поверхні якого розташовані спрямовувачі фракцій насіння, виконані у вигляді перфорованих рифів у формі півкол і розташовані з певним інтервалом. При чому, в першій та другій частинах безпровального решета рифи розташовані під різними кутами до напрямку подачі зернового матеріалу. А у зоні розділення матеріалу перфоровані рифи розташовані перпендикулярно до напрямку подачі матеріалу.

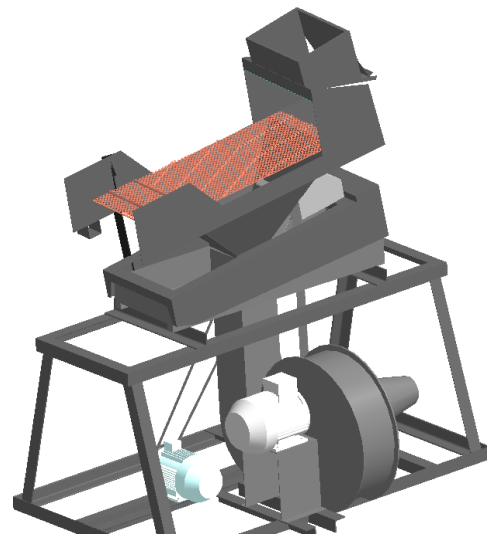
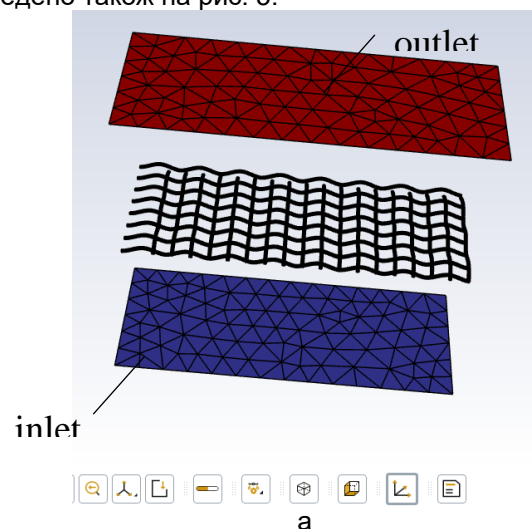
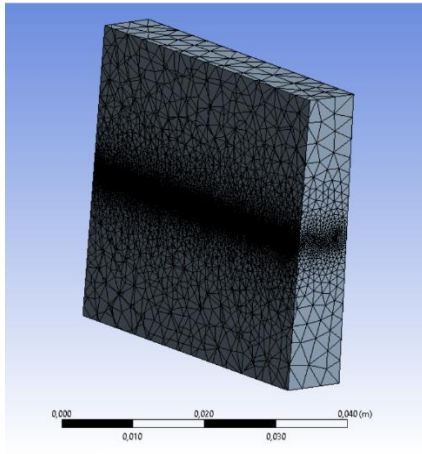


Рис. 2. Схема 3д моделі експериментального зразка технічного засобу з перфорованим безпровальним решетом

Застосовано CFD моделювання для встановлення характеру дії повітряного потоку на перфороване безпровальне решето рис. 3.а і визначення зміни тиску рис. 3.б та швидкості пульсуючого повітряного потоку над його поверхнею рис. 4, елементи моделювання наведено також на рис. 5.





б

Рис. 3. Розрахункова сітка для визначення проходження потоку повітря через безпровальне решето.

На рисунку 3(а) зображено початкові умови до розрахунку, на рисунку 3 (б) зображено розрахункову сітку.

Оскільки моделювання проводилось для відтинку площі в центрі безпровального решета, було задано в початкових умовах симетричний тип граничних умов для бокових частин моделі. Потік повітря подавався знизу (inlet) зі стабільним значенням швидкості, вихід повітряного потоку (outlet) заданий базовою умовою з нульовим тиском.

Ущільнення чарунок сітки поблизу безпосередньо елементу безпровального решета необхідне для підвищення точності розрахунку та якості розрахункової сітки.

CFD моделювання дає змогу визначити чисельні значення перепадів тиску за різних режимів роботи пневматичної системи вібропневмоімпульсного сепаратора та визначити сходимість даних, отриманих шляхом математичного моделювання.

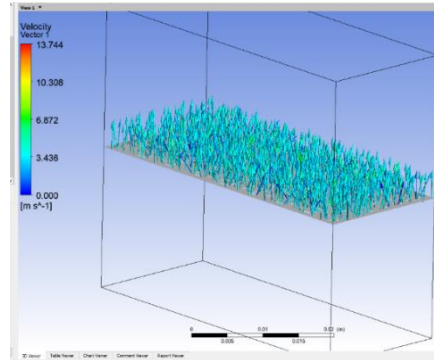
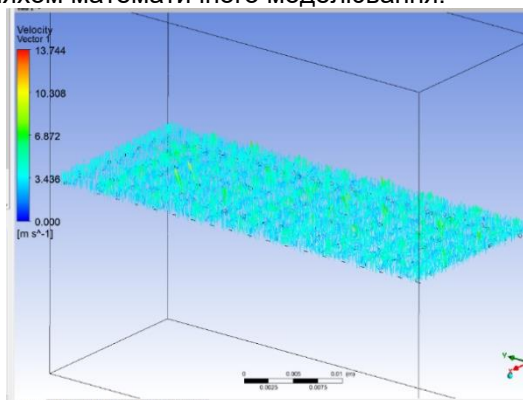


Рис. 4. Вектори та значення дії швидкості повітряного потоку на безпровальне решето в перерізі, що співпадає з середньою площиною безпровальної поверхні

На рис. 4. наведено графічний результат моделювання швидкості повітряного потоку. Отримані результати дозволяють визначити ступінь впливу пульсуючого повітряного потоку на зернове середовище, дотичне до безпровальної поверхні.

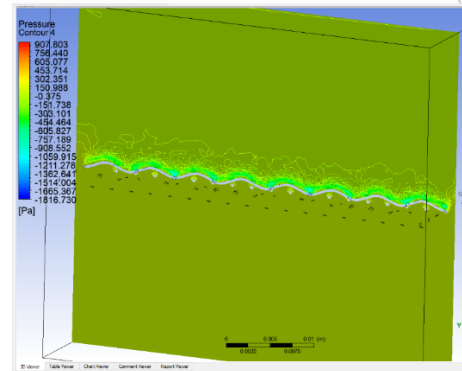
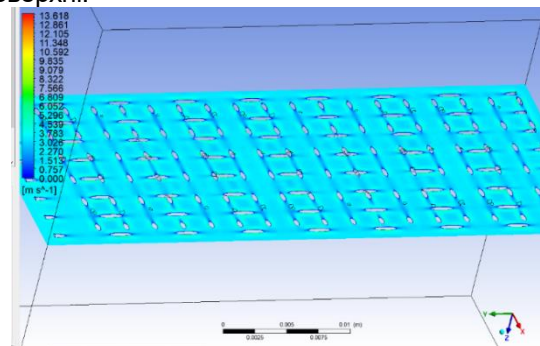
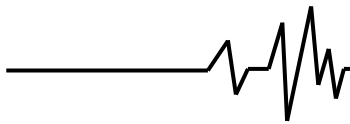


Рис. 5 Елементи CFD моделювання з перфорованим безпровальним решетом для визначення зміни тиску та швидкості пульсуючого повітряного потоку

На рис. 5. наведені графічні результати моделювання швидкості повітряного потоку в пневматичному каналі під час проходження через безпровальне решето у вигляді контурів.

Згідно з отриманими даними, повітропроникність безпровальної поверхні є задовільною, значної концентрації повітря безпосередньо під решетом не спостерігається.



Дане дослідження свідчить, що таку конструкцію безпровального решета доцільно застосовувати в подальшому. Наступним кроком в дослідженні пневматичної системи буде дослідження пульсувального повітряного потоку та його взаємодія з безпровальною поверхнею. Наразі необхідно досягти рівномірного розподілу потоку повітря під решетом для дотримання режимів роботи.

Дослідження були проведені в ІМА АПВ НААН з використанням розробленого вібропневмоімпульсного сепаратора [15], який наведено на рис. 6, конструкція якого дозволяє підвищити питоме навантаження і, отже, знизити енергоспоживання при розділенні насіння за густиною їх частинок.



Рис. 6. Загальний вигляд конструкції вібропневмоімпульсного сепаратора

Насіннева суміш, що підлягає розділенню рухається в завантажувальну зону фракційної

поверхні. Під дією сили інерції коливного руху безпровального решета, інерція передається насінні, вона притискається до поверхні, а за рахунок інерційних сил вібрації, ваги і пульсуючого повітряного впливу – рухаються по визначених траєкторіям, характер зміни яких залежить від поєднання напрямку дії сил, форми і розміщення фракційної поверхні в просторі і фізико – механічних властивостей насіння. В результаті вихідне насіння розділяється на декілька фракцій, які відрізняються фізико – механічними властивостями та густиною, вихід яких залежить від того, з якої частини розвантажувальної кромки збирається фракція.

Проведені дослідження впливу швидкості пульсуючого повітряного потоку на рівень видалення частинок з «малою» густиною, які обумовлені ступенем інтенсивності переміщення компонентів з невеликою «малою» густиною на поверхню зернового середовища. Оцінка втрат насіння в відходи при питомому навантаженні на перфоровану безпровальну поверхню вібропневмоімпульсного сепаратора здійснюється шляхом вивчення поверхні рухомого шару зернового середовища та оцінки ступеня розділення компонентів.

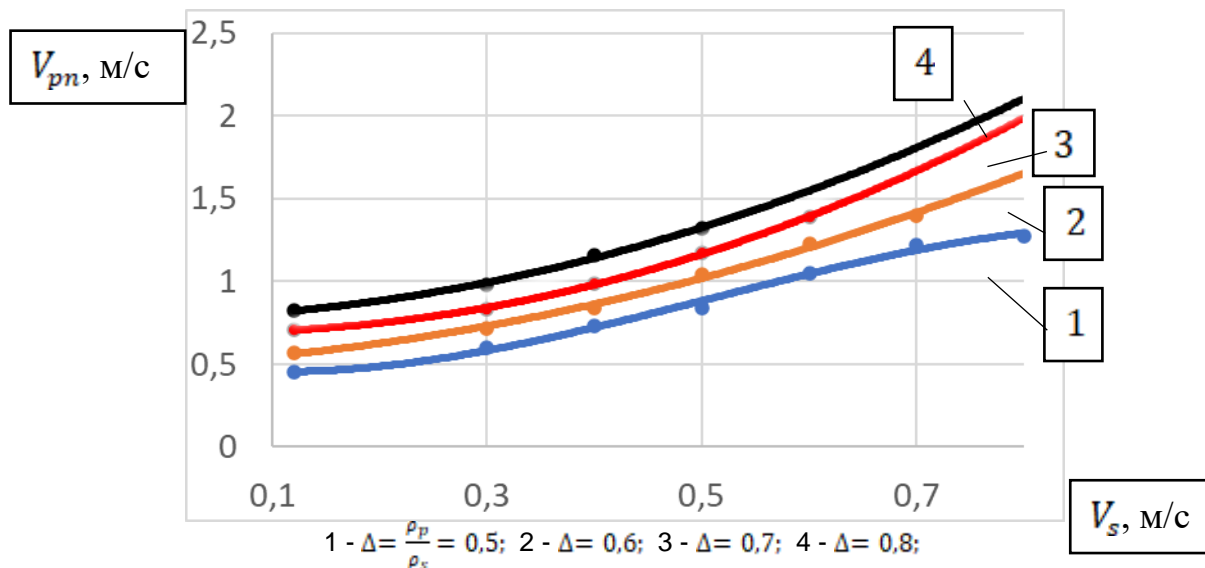


Рис. 7. Залежність швидкості переміщення (спливання) V_s компонентів у вібропневмоімпульсному шарі від швидкості повітряного потоку V_{pn} ($\omega = 52$ рад/с; $r = 5$ мм.)



Експериментальні дослідження з розділення насіння пшениці проводилися при встановленому значенні подачі 1000 кг/год. Середнє значення об'ємної маси насіння пшениці становило 0,7 кг/дм³. Середнє значення забрудненості насіння пшениці овсюгом – 90-95 шт./кг. Вібропневмоімпульсний сепаратор мав продольний кут деки 3°, поперечний - 0°, напрям коливань - 30°, амплітуду коливань деки - 5 мм, частоту коливань деки - 490 1/хв.

Експериментальні дослідження проводилися за методикою [2, 3, 15] при зміні

швидкості повітряного потоку: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 м/с. Проби відбиралися при встановленому режимі роботи вібропневмоімпульсного сепаратора. Після експерименту визначали масу кожної з п'яти фракцій. Обчислювали середню кількість насінин у кілограмі пшениці. Розрахунком визначали повноту розділення $P_r, \%$ і втрати кондиційного насіння в іншій фракції $k_n, \%$.

В результаті отриманих даних були побудовані графічні залежності (рис. 7, 8, 9).

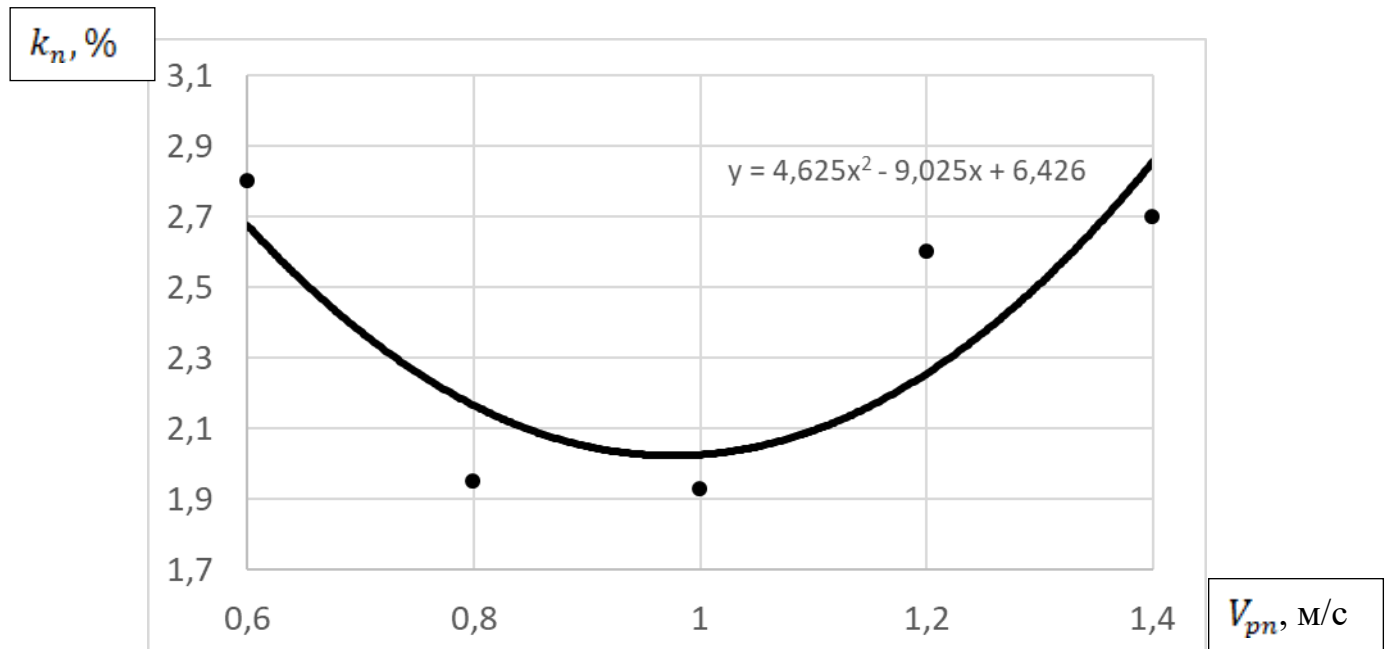


Рис. 8. Закономірності зміни показників якості розділення компонентів насіннєвої суміші в вібропневмоімпульсному шарі зернового середовища залежно від швидкості пульсуючого повітряного потоку.

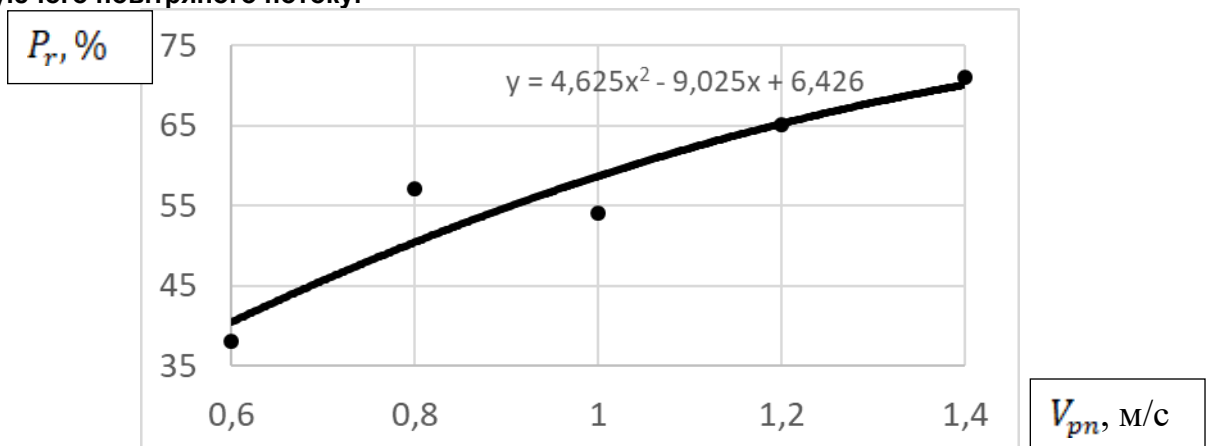


Рис. 9. Закономірності зміни показників якості розділення компонентів насіннєвої суміші в вібропневмоімпульсному шарі зернового середовища залежно від швидкості пульсуючого повітряного потоку.

Висновки.

Розроблені математичні моделі, які дозволяють прогнозувати швидкості переміщення компонентів з «невеликою»

густиною в вібропневмоімпульсному шарі зернового середовища залежно від різних факторів. З урахуванням результатів досліджень було розроблено та виготовлено



вібропневмоімпульсний сепаратор удосконаленої конструкції, що дозволяє підвищити питоме навантаження на деку та знизити витрати енергії на розділення насіння. Експериментальні дослідження показали, що при збільшенні швидкості повітряного потоку від 0,6 до 1,4 м/с ступінь розділення насіння пшениці зростає і досягає 70% при втратах повноцінного насіння в інші фракції з меншим значенням маси 1000 шт., які не перевищують 3% (при допустимих - 10%).

Список використаних джерел

1. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва : підручник. Київ : Аграрна наука, 2023. 341 с.
2. Богатирьов Д. В. Обґрунтування параметрів пневмоімпульсної машини для сепарації насіння за густиною : дис. ... канд. техн. Кіровоград, 2005. 150 с.
3. Котов Б. І., Степаненко С. П. Основи теорії та технології повітряної сепарації зернових матеріалів : монографія. Київ : ЦП Компрінт, 2023. 427 с.
4. Котов Б. І., Степаненко С. П. Основні теоретичні положення сепарації зернового матеріалу в повітряних каналах з нерівномірною швидкістю повітряного потоку. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2020. № 50. С. 122—123.
5. Ребот Д. П., Топільницький В. Г. Математична модель руху сипкого матеріалу у вібраційному сепараторі. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. 2022. № 56. С. 67—74.
6. Степаненко С. П., Котов Б. І., Калініченко Р. А. Дослідження руху частинок зернового матеріалу у вертикальному каналі за умов дії пульсацій повітряного потоку. *Сільськогосподарські машини*. 2021. № 47. С. 25—36. URL: <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619> (дата звернення: 17.10.2023).
7. Степаненко С. П., Котов Б. І. Математичне моделювання процесів поділу компонентів зернового матеріалу в комбінованому вібраційно-повітряному сепараторі. *Вібрації в техніці та технологіях : Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2020. Т. 2(97). С. 51—61.
8. Тищенко Л. Н., Ольшанський В. П., Ольшанський С. В. Вібросешітна сепарація зернових сумішей : монографія. Харків : Міськдрук, 2011. 280 с.
9. Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH / A. Nesterenko et al. *Agricultural Engineering*. 2017. No. 53(3). P. 65—70.

10. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskyi, P., Denisenko, S., & Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1(112)), 54–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938> (date of access: 17.10.2023).

11. Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders / I. Rogovskii et al. *Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*. 2020. Vol. 13(62), no. 1. P. 117—128. URL: <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11> (date of access: 17.10.2023).

12. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A., Popardowski, E., & Kielbasa, P. (2021). Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Applied Sciences*, 11(10), 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>

13. Reguła T., Frączek J., Fitas J. A Model of Transport of Particulate Biomass in a Stream of Fluid. *Processes*. 2020. Vol. 9, no. 1. P. 5. URL: <https://doi.org/10.3390/pr9010005> (date of access: 17.10.2023).

14. Stepanenko S. P., Volyk D. A. Mathematical Modeling and the Results of Experimental Research of the Process of Density-Based Seed Separation Using Vibro-Pneumatic-Impulse Technology. *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2023. No. 53. P. 138—148. URL: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.138-148>

15. Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow / V. Adamchuk et al. *In Engineering for Rural Development*. No. 20. P. 657—664.

References

1. Aliiev, E. B. (2023). *Chyselne modeliuvannia protsesiv ahropromyslovoho vyrobnytstva : pidruchnyk*. Ahrarna nauka.
2. Bohatyrov, D. V. (2005). *Obgruntuvannia parametriv pnevmoimpulsnoi mashyny dlia separatsii nasinnia za hustynoiu* [Neopubl. dys. ... kand. tekhn]. TsNTU.
3. Kotov, B. I., & Stepanenko, S. P. (2020). Osnovni teoretychni polozhennia separatsii zernovoho materialu v povitrianykh kanalakh z nerivnomirnoiu shvydkistiu povitrianooho potoku. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, (50), 122–123.



4. Kotov, B. I., & Stepanenko, S. P. (2023). *Osnovy teorii ta tekhnologii povitrianoi separatsii zernovykh materialiv*. TsP Kompyrnt.
5. Rebot, D. P., & Topilnytskyi, V. H. (2022). Matematychna model rukhu sypkoho materialu u vibratsiinomu separatori. *Avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, (56), 67–74
6. Stepanenko, S. P., & Kotov, B. I. (2020). Matematychno modeliuвання protsesiv podilu komponentiv zernovoho materialu v kombinovanomu vibratsiino-povitrianom separatori. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh : Vseukrainskyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal*, 2(97), 51–61.
7. Stepanenko, S. P., Kotov, B. I., & Kalinichenko, R. A. (2021). Doslidzhennia rukhu chastynok zernovoho materialu u vertykalnomu kanali za umov dii pulsatsii povitrianoho potoku. *Silskohospodarski mashyny*, (47), 25–36. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.619>
8. Tyshchenko, L. N., Olshanskyi, V. P., & Olshanskyi, S. V. (2011). *Vibroreshitna separatsiia zernovykh sumishei*. Miskdruk
9. Nesterenko, A., Leshchenko, S., Vasylykovskiy, O., & Petrenko, D. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. *INMATEH. Agricultural Engineering*, (53(3)), 65–70.
10. Bredykhin, V., Pak, A., Gurskiy, P., Denisenko, S., & Bredykhina, K. (2021). Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1(112)), 54–60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>
11. Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O., & Stepanenko, S. (2020). Experimental study of the process of grain cleaning in a vibro-pneumatic resistant separator with passive weeders. *Series II: Forestry Wood Industry Agricultural Food Engineering*, 13(62)(1), 117–128. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2020.13.62.1.11>
12. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Piven, M., Abduev, M., Miernik, A., Popardowski, E., & Kielbasa, P. (2021). Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Applied Sciences*, 11(10), 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>
13. Reguła, T., Frączek, J., & Fitas, J. (2020). A Model of Transport of Particulate Biomass in a Stream of Fluid. *Processes*, 9(1), 5. <https://doi.org/10.3390/pr9010005>
14. Stepanenko S. P., Volyk D. A. Mathematical Modeling and the Results of Experimental Research of the Process of Density-Based Seed Separation Using Vibro-Pneumatic-

Impulse Technology. *National Interagency Scientific and Technical Collection of Works. Design, Production and Exploitation of Agricultural Machines*. 2023. No. 53. P. 138–148. URL:

<https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.138-148>

15. Adamchuk, V., Bulgakov, V., Ivanovs, S., Holovach, I., & Ihnatiev, Y. (b. d.). Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *In Engineering for Rural Development*, (20), 657–664

RESEARCH ON THE PROCESSES OF MOTION AND SEPARATION OF COMPONENTS IN SEED MIXTURES IN A VIBROPNEUMATIC ENVIRONMENT

The article is devoted to the study of the processes of movement and separation of components in a seed mixture under the conditions of a vibro-pneumatic layer. The problem of competitiveness of grain production is highlighted through the use of seeds with high sowing qualities. The conducted research focuses on methods of improving the quality of seeds, in particular on their separation in a vibro-pneumatic environment according to physical and mechanical properties and seed density. The authors indicate a close relationship between sowing qualities and seed density. The study shows that modern technical means, such as vibropneumoseparators, have limited efficiency due to low specific load and high energy costs. However, the authors suggested improving the efficiency of seed separation in the vibro-pneumopulse layer of the grain medium, which can lead to the creation of competitive combined vibro-pneumoseparators for separating seeds by density. Graphical dependences of the main parameters of separation of seed mixtures were obtained. The main elements for CFD modeling are substantiated and the design and kinematic parameters of the working surface of the vibration-pneumopulse separator are established. The created mathematical models make it possible to predict the speed of movement of components with a small density in the vibro-pneumopulse grain layer, taking into account various factors. Based on the research results, a modernized vibro-pneumopulse separator was developed and manufactured, which increases the specific load on the sieve and reduces energy costs during seed separation. According to experimental data, an increase in air flow speed from 0.6 to 1.4 m/s helps to increase the efficiency of separating wheat seeds, reaching 70%, while the loss of high-quality seeds to other fractions does not exceed 3% (with a permissible 10%).

Key words: seed, vibropneumatic layer, separation, density, efficiency, technical means, mathematical modeling, CFD, experimental studies.

**Відомості про авторів**

Степаненко Сергій Петрович доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, e-mail: stepanenko_s@ukr.net; ORCID iD 0000-0002-8331-4632)

Волик Дарина Анатоліївна аспірант, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, ORCID iD 0009-0001-1979-861X)

Котов Борис Іванович доктор технічних наук, професор, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», ([Україна, Хмельницька обл., Кам'янець-Подільський р-н, місто Кам'янець-Подільський, вул.Шевченка, 13](#)) ORCID iD 0000-0001-6369-3025

Мельник Віталій Анатолійович аспірант, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва Національної академії аграрних наук України (08631, Київська область, Фастівський район, смт Глеваха, вул. Вокзальна, 11/1, ORCID iD [0009-0006-2383-9572](#))

Serhiy Stepanenko, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (08631, Kyiv region, Fastivskyi district, Glevakha village, Vokzalna street, 11/1, e-mail: stepanenko_s@ukr.net ; ORCID iD 0000-0002-8331-4632)

Daryna Volyk, PhD student, Institute of Mechanics and Automation of Agro-industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (08631, Kyiv region, Fastivskyi district, Hlevakha settlement, Vokzalna street, 11/1, ORCID iD 0009-0001-1979-861X)

Boris Kotov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Higher Education "Podilskyi State University", (Ukraine, Khmelnytskyi Region, Kamianets-Podilskyi District, Kamianets-Podilskyi City, Shevchenko Street, 13) ORCID iD 0000- 0001-6369-3025

Vitaly Melnyk PhD student, Institute of Mechanics and Automation of Agro-industrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (08631, Kyiv region, Fastivskyi district, Hlevakha township, Vokzalna street, 11/1, ORCID iD 0009-0006-2383-9572)