

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОСІЮВАННЯ ЗЕРНА НА ВІБРОРЕШІТНОМУ ЕЛЕКТРОСЕПАРАТОРІ

Олексій Швець, к. т. н., Петро Коруняк, к. т. н.

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: opshvets@yahoo.com; petrokorunyak@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.064>

Швець О., Коруняк П. Підвищення ефективності просіювання зерна на віброрешітному електросепараторі

Одним із шляхів покращання умов проходження компонентів продовгуватої форми (овес, пшениця, ячмінь, жито та ін.) крізь отвори решіт є створення над ними електростатичного поля. Теоретично існує деяке початкове значення напруженості електричного поля, за якого насінина почне орієнтуватися в ньому. Оптимальним буде таке значення напруженості, за якого ступінь орієнтування насінин на коливному в поздовжньому напрямі решітці буде максимальним (коли їх поздовжня вісь буде перпендикулярною до решітці).

У праці описані результати дослідження процесу розділення сумішей зернових культур на віброрешітному електросепараторі та обґрунтування оптимальних параметрів напруженості електричного поля E й амплітуди коливань A решітці сепаратора.

Результати експериментальних досліджень показали, що вплив електричного поля на насінини різних культур є неоднаковим. Найменше він проявляється на насінні пшениці, оскільки кількість зорієнтованих в електричному полі насінин становила близько 50 %. Для насіння ячменю значення досліджуваного показника становило 65 %. Максимальний відсоток зорієнтованих насінин вівса за максимальної напруженості електричного поля над решіткою 6,67 кВ/см становив близько 80 % насінин.

Встановлено, що зі збільшенням напруженості електричного поля відсоток зорієнтованих насінин зростає. Це, своєю чергою, впливає на інтенсивність його просіювання крізь решітці. За умови збільшення напруженості електричного поля до максимального значення вміст прохідної фракції пшениці у східній фракції зменшувався на 20...23 %, ячменю – на 20...30 %, вівса – на 47 %.

Оптимальними параметрами роботи віброрешітного електросепаратора під час обробки зернових культур будуть напруженість електричного поля в робочій зоні сепарування $E = 5...6,5$ кВ/см та амплітуда коливання решітці дослідного зразка сепаратора $A = 1...1,5$ мм.

Ключові слова: насіння зернових культур, сепарування, вібраційний решітний електросепаратор, електричне поле, ефективність просіювання.

Shvets O., Koruniak P. Increasing the efficiency of grain sieving on a vibrating sieve electric separator

One of the ways to improve the conditions for the passage of elongated components (oats, wheat, barley, rye, etc.) through the holes of the sieves is to create an electrostatic field above them. Theoretically, there is a certain initial value of the intensity of the electric field, at which the seed will start to orient itself in it. The optimum tension value will be the one at which the degree of orientation of the seeds on the oscillating sieve in the longitudinal direction will be maximum (when their longitudinal axis will be perpendicular to the sieve).

The paper describes the results of the study of the process of separation of mixtures of grain crops on a vibrating sieve electric separator and the justification of the optimal parameters of the electric field intensity E and the amplitude of oscillations A of the separator sieve.

The paper describes the results of the study of the process of separation of mixtures of grain crops on a vibrating sieve electric separator and the justification of the optimal parameters of the electric field intensity E and the amplitude of oscillations A of the separator sieve. The results of experimental studies showed that the effect of the electric field on the seeds of different crops is not the same. It manifests itself least on wheat seeds, since the number of seeds oriented in the electric field was about 50 %. For barley seeds, the studied indicator had a value of 65 %. The maximum percentage of oriented oat seeds at the maximum intensity of the electric field over the sieve of 6.67 kV/cm was about 80 % of the seeds. It was found that with an increase in the intensity of the electric field, the percentage of oriented seeds increases. This also affects the intensity of its sifting through the sieve. When the intensity of the electric field increased to the maximum value, the content of the sifted fraction of wheat in the eastern fraction decreased by 20...23 %, barley – by 20...30 %, oats – by 47 %. The optimal operating parameters of the vibrating screen electric separator during the separation of grain crops will be the electric field strength in the working zone of separation $E = 5...6.5$ kV/cm, and the amplitude of vibration of the screen of the experimental sample of the separator $A = 1...1.5$ mm.

Key words: seeds of grain crops, separation, vibrating grid electric separator, electric field, sieving efficiency.

Постановка проблеми. Серед існуючих способів сортування насіння найбільш суттєвими недоліками зерноочисних машин загального та спеціального призначення є невелика їх продуктивність, низька якість отриманого насіння, труднощі в інтенсифікації процесу сортування, зумовлені повільним рухом робочих органів [6; 15]. Їх низька технологічна ефективність зумовлена ще й тим, що принцип розділення в них ґрунтується на різниці лише окремих властивостей насіння.

Нині все ширше застосування знаходять насіннеочисні машини, які дають змогу розділяти компоненти зернових сумішей за комплексом їх фізико-механічних властивостей.

Найпоширенішими у виробництві є решітні зерноочисні машини, на яких зерно розділяють на фракції за геометричними параметрами, а саме шириною і товщиною. У конструкціях цих машин застосовують решета з круглими, прямокутними та іншими отворами. Через круглі отвори решіт можуть проходити тільки ті компоненти суміші, ширина яких менша за діаметр отвору решета. При цьому їх товщина і довжина не впливають на процес розділення. Для розподілу компонентів насінневої суміші за їх шириною решета підбирають з такими отворами, щоб крізь них проходили зерна другого сорту або домішки (прохід), а зерна першого сорту сходили з поверхні решета (схід) [1; 5; 6; 8].

Робочі розміри отворів решіт вибирають залежно від розмірів зерен вихідної зернової суміші і вимог, які ставляться до оброблюваного матеріалу. Крім того, решета підбирають за необхідною точністю розподілу фракцій. Найчастіше вимоги до їх підбору виражаються обмеженням втрат (відходів), вираженим у відсотках, і обмеженням вмісту засмічувача в очищеному зерні [1; 4; 6; 13].

Одним з основних параметрів, які визначають ефективність роботи решета, є повнота розділення, яка встановлюється як відношення маси P частинок, що фактично проходять крізь решето, до маси дрібних частинок, які містяться у вихідному матеріалі. Показником високої якості поділу зернових сумішей можна вважати $\varepsilon = 0,8$; середньої – $\varepsilon = 0,65$, низької – $\varepsilon = 0,5$ [1; 13].

Для умов сучасного високопродуктивного сільськогосподарського виробництва не достатньо приймати середні значення показника якості поділу. На жаль, конструкція існуючих решітних насіннеочисних машин, їх кінематичні режими та рекомендації для обмеженої кількості культур не дають змоги покращити цей показник. Тому виникає необхідність пошуку новітніх способів розді-

лення зернових сумішей, розробки та дослідження роботи технічних засобів для їх реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Під час сортування зерна на фракції застосовують машини, в яких основним робочим органом є решето. Для вібраційних решітних машин характерним є один із режимів вібраційного переміщення [16], а саме прямолінійні гармонічні коливання без підкидання. Такий режим використовують для розділення суміші на тонких штампованих решетах. Безперервний контакт із решетом збільшує ймовірність просіювання частинок з нижнього шару і зменшує динамічні навантаження на решето, що характерно для інтенсивного підкидання.

Одним зі шляхів підвищення ефективності роботи таких машин та покращання якості сепарування є підвищення показника якості розділення за рахунок забезпечення сприятливих умов проходження компонентів насінневої суміші крізь отвори решета. Перша основна умова проходження насінин крізь отвори – це підбір такого решета, розмір отворів якого (діаметр або ширина) більший за відповідний їх розмір [1; 3; 4; 6; 8–10]. Друга умова стосується швидкості переміщення насінин по решету, яка б забезпечувала можливість западання їх в отвори решета та проходження через них [3; 4; 9].

Ще одним зі шляхів покращання умов проходження компонентів продовгуватої форми (овес, пшениця, ячмінь, жито тощо) крізь отвори решіт є створення над ними електростатичного поля [2; 7; 17–21].

Коли насінина перебуває в електричному полі між двома електродами, одним з яких є решето сепаратора, на неї будуть діяти обертовий момент цього поля M_o , момент сили взаємодії поля із зарядженою насінною M_{F_n} , змінний момент сили інерції M_{F_i} . Сумарна дія цих моментів може долати опір моментів сили ваги M_{F_g} і сили дзеркального відображення M_{F_2} [19–20], які їм протидіють, і насінина (рис. 1) орієнтуватиметься (перекочуватиметься по поверхні решета) довгою віссю перпендикулярно площині решета.

Умова орієнтування насінини еліптичної форми має такий вигляд:

$$M_e + M_{F_1} \pm M_{F_i} > M_{F_T} + M_{F_2}. \quad (1)$$

Значення напруженості електричного поля E , за якого можливе орієнтування насінини, визначають з виразу [20]:

$$E \geq \frac{m \cdot a \cdot g \cdot K'_{M_1} + j \cdot K_3}{\varepsilon_0 \cdot \pi \cdot a^3 \cdot K'_e - K_1 \cdot K_{e1}}, \quad (2)$$

де a – довжина довшої осі насінини; m – маса насінини; ε_0 – електрична стала; j – прискорення сили тяжіння; K_3 – функція, яка характеризує зміну моменту сили інерції залежно від коефіцієнта сферичності насінини k , коефіцієнта симетрії центра тяжіння насінини ρ , фазового кута повороту кривошипа системи α від напрямку коливань за різних кутів γ нахилу більшої осі насінини до площини коливного решета; K'_{M1} – функція моменту сили ваги насінини; K'_e – функція обертового моменту електричного поля; K_1 – функція моменту сили взаємодії електричного поля із зарядженою насінинною; $K_{еп}$ – функція співвідношення сил F_1 і F_2 .

Або

$$E \geq \frac{m \cdot g}{\varepsilon_0} \cdot \frac{K_{ем}}{a}, \quad (3)$$

де $K_{ем}$ – електромеханічна функція орієнтування насінини (яка визначає напруженість, за якої вона орієнтується).

У праці [19] були отримані залежності $K_{ем}$ для насінин із різним коефіцієнтом сферичності. Їх аналіз свідчить, що існує деяке початкове значення напруженості електричного поля, за якого насінинка почне орієнтуватися в ньому. Оптимальним буде таке значення напруженості, за якого ступінь орієнтування насінин на коливному в поздовжньому напрямі решеті буде максимальним (коли їх поздовжня вісь буде перпендикулярною до решета).

Постановка завдання. Основною перешкодою для застосування віброрешітних електросепараторів у технологічному процесі сепарування зерна є відсутність рекомендацій щодо вибору необхідних режимів їхньої роботи, за яких би досягався необхідний ступінь орієнтування насінин на решеті. Тому основним нашим завданням було дослідити вплив накладання електричного поля на орієнтування насінин, а отже, й на ефективність їх просіювання крізь отвори решета сепаратора.

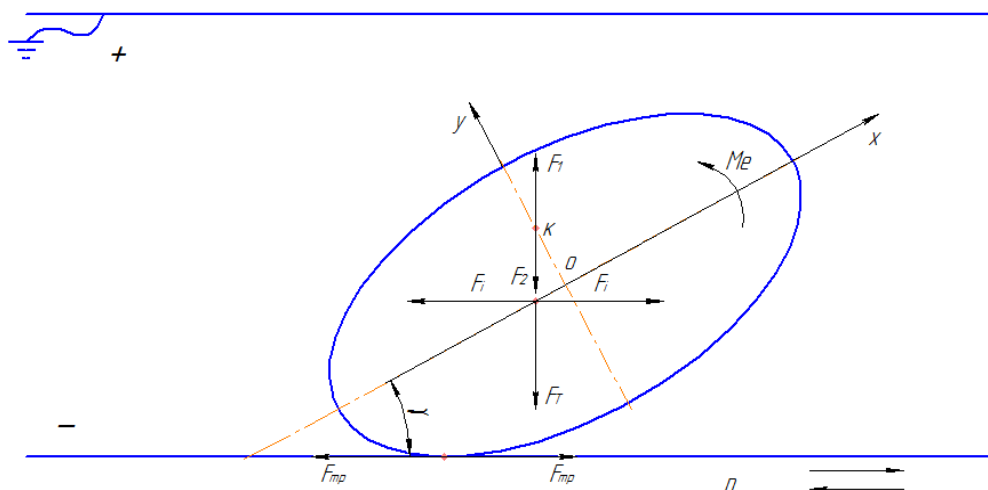


Рис. 1. Схема сил і моментів, які діють на заряджену насінинку зі зміщеним центром тяжіння, яка знаходиться на коливній в електричному полі площині

Fig. 1. Scheme of forces and moments that act on a charged seed with a shifted center of gravity, which is located on a plane oscillating in an electric field

Виклад основного матеріалу. Інтенсивність роботи сепаратора і повнота сепарування вихідного продукту залежать від фізико-технологічних властивостей матеріалу та умов робочого процесу решітного сепарування.

Для оцінки технологічної ефективності роботи решітного сепаратора використовують критерії, які характеризують сепарувальну здатність решета за величиною видалення прохідної $E_{п}$ або східної E_c фракції:

$$E_{п} = \Pi_{\phi} / \Pi_{д} = (\Pi - H_c) / (\Pi - H_c + H_n) = 1 / (1 + H_n / (\Pi - H_c)); \quad (4)$$

$$E_c = C_{\phi} / C_{д} = (C - H_n) / (C - H_n + H_c) = 1 / (1 + H_c / (C - H_n)), \quad (5)$$

де $\Pi_{д}$ і Π_{ϕ} – дійсний вміст прохідного продукту в матеріалі і фактичне його видалення за допомогою решета (при $\Pi_{д} > \Pi_{\phi}$); $C_{д}$ і C_{ϕ} – дійсний вміст сходу в матеріалі і фактичне його видалення решетом (при $C_{д} > C_{\phi}$); $\Pi_{д} - \Pi_{\phi} = H_n$ і $C_{д} - C_{\phi} = H_c$ – недосіви проходу і сходу продукту під час сепарування

вихідного матеріалу; $\Pi_{\phi} + H_c = \Pi + C_{\phi} + H_{\Pi} = C -$ сумарний вихід проходу і сходу.

У нашому випадку оцінку ефективності роботи сепаратора виконували за вмістом прохідної фракції у східній фракції:

$$K_c = \frac{H}{C}. \quad (6)$$

Вказані вище критерії оцінки ефективності роботи сепаратора визначали для кожного з досліджуваних режимів під час сепарування зерна пшениці, ячменю та жита.

Метою проведення багатофакторного експерименту було дослідження процесу обробки сумішей зернових культур на віброрешітному електросепараторі та обґрунтування оптимальних параметрів його роботи. Регульованими параметрами експерименту були напруженість електричного поля E та амплітуда коливань A решета сепаратора. Результати багатофакторного експерименту дають змогу отримати картину впливу регулю-

ваних параметрів процесу, яку математично можна виразити такою рівністю:

$$K_c = f(E, A), \quad (7)$$

де K_c – вміст прохідної фракції зерна у східній фракції; E, A – відповідно значення напруженості електричного поля та амплітуди коливань решета.

Для досліджень використовували насіння пшениці, ячменю і вівса з вологістю 14 %, яке пройшло первинну і вторинну очистку на машинах з повітряно-решітними робочими органами. Ці види культур були вибрані з огляду на те, що їх насінини мають еліптичну форму, однак відрізняються за коефіцієнтом еліптичності, а отже, будуть по-різному поводитися в електричному полі.

Для виконання експериментальних досліджень процесу розділення зерна на віброрешітному електросепараторі використовували спеціально розроблену лабораторну експериментальну установку (рис. 2).

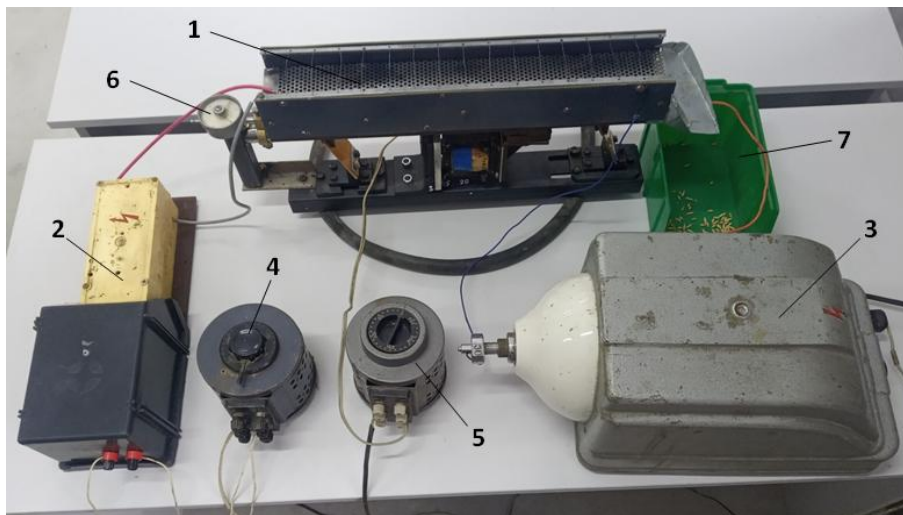


Рис. 2. Загальний вигляд дослідної лабораторної установки:

- 1 – віброрешітний електросепаратор; 2 – джерело високої напруги; 3 – кіловольтметр;
4, 5 – трансформатор-реостат; 6 – індикатор для вимірювання амплітуди коливань;
7 – приймач продуктів сепарування

Fig. 2. General view of the experimental laboratory installation:

- 1 – vibrating grating electric separator; 2 – high voltage source; 3 – kilo voltage meter;
4, 5 – rheostat transformer; 6 – indicator for measuring the amplitude of oscillations;
7 – receiver of separation products

За її основу було взято одномасний вібротранспортер з електромагнітним приводом [12]. Для забезпечення процесу розділення зерна на його лотку було змонтовано сепарувальний робочий орган зі системою електродів для створення в робочій зоні сепаратора електричного поля.

Результати досліджень впливу напруженості електричного поля в робочій зоні віброрешітного

електросепаратора (між решетом та електродом) наведені на рис. 3.

Під час досліджень до уваги брали лише ті насінини, які змінили своє положення відносно горизонтального на кут, який перевищував 45° .

Аналізуючи криві, наведені на рис. 3, бачимо, що вплив електричного поля на насінини різних культур є неоднаковим. Найменше він прояв-

ляється на насінні пшениці, оскільки за максимального значення напруженості поля кількість зорієнтованих насінин (коефіцієнт орієнтування) становила близько 50 %. Для насіння ячменю досліджуваний показник був більшим, ніж у попередньому досліді, у середньому на 15 %, а максимальне його значення становило 65 %.

Найбільше ефект орієнтування насінин довгою віссю перпендикулярно до площини решета проявляється під час проведення досліджень із насінням вівса. З рис. 3 видно, що інтенсивність його орієнтування в електричному полі була більшою порівняно з двома іншими культурами. Так, за зростання напруженості електричного поля до 5 кВ/см відсоток зорієнтованого насіння перевищив максимальні значення аналогічного параметра для пшениці та ячменю. Максимальний відсоток зорієнтованих насінин вівса за максимальної напруженості електричного поля над решетом 6,67 кВ/см становив близько 80 % насінин.

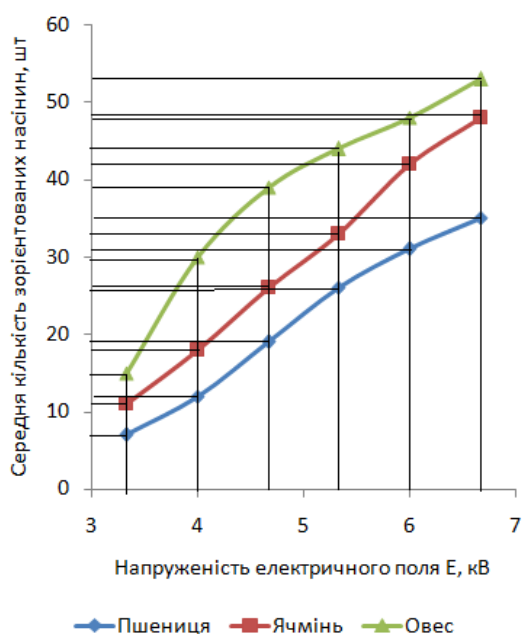


Рис. 3. Залежності орієнтування насінин досліджуваних культур від напруженості електричного поля
Fig. 3. Dependencies of the orientation of the seeds of the studied crops on the intensity of the electric field

Як показують результати досліджень, максимальне значення напруженості поля в робочій зоні електросепаратора дає змогу отримати максимальне орієнтування насінин довгою віссю перпендикулярно до площини решета та вздовж осі його отворів. Однак такі значення напруженості можуть призводити до ефекту утримування насінин у «підвішеному» стані і створення так званого

псевдозрідженого стану насінневої суміші на поверхні решета. Це, своєю чергою, перешкоджатиме просіюванню насінин крізь отвори, що є небажаним для сепарування. Тому наступним етапом досліджень було дослідження сукупного впливу напруженості електричного поля та параметрів процесу вібротранспортування насіння по решету на ефективність його просіювання та роботу сепаратора в цілому.

Оптимальні параметри роботи віброрешітного електросепаратора під час сепарування зерна визначали за залежностями вмісту прохідної фракції у сході насіння від параметрів процесу транспортування по решету, а саме амплітуди A коливання сепарувального вузла, за різних значень напруженості електричного поля E в зоні сепарування. Ці залежності представлені на рис. 4.

Аналізуючи рис. 4, можна зробити висновок, що електричне поле по-різному впливає на орієнтування зерна різних культур на поверхні решета сепаратора. Зі збільшенням напруженості поля відсоток зорієнтованих насінин зростає. Це, своєю чергою, впливає на інтенсивність його просіювання крізь решето. Так, під час сепарування зерна пшениці за умови збільшення напруженості електричного поля до максимального значення вміст прохідної фракції у східній фракції зменшувався на 20...23 % (див. рис. 4, а), під час сепарування ячменю – на 20...30 % (див. рис. 4, б), а під час обробки насіння вівса максимальна зміна досліджуваного показника сягала 47 % (див. рис. 4, в).

Під час проведення багатофакторного експерименту встановлено, що ефект орієнтування краще проявляється для насінин з більшою еліптичністю (зерна вівса) і менше для округліших насінин (зерно пшениці).

Значення амплітуди коливання сепарувального решета також впливає на інтенсивність його просіювання та вміст прохідної фракції у сході насіння. Для зерен пшениці і ячменю зі збільшенням амплітуди коливання ефект просіювання зростає. Це можна пояснити тим, що обертальний момент інерції, який отримували насінини, мав більші значення за максимальних амплітуд і допомагав насінині повернутись довгою віссю перпендикулярно до площини решета вздовж його отворів.

Що стосується впливу параметрів вібрації решета на процес сепарування вівса, то під час експериментальних досліджень встановлено, що зі збільшенням амплітуди до максимальних значень просіюваність зменшувалась і прохідна фракція насіння потрапляла у східну (див. рис. 4, в).

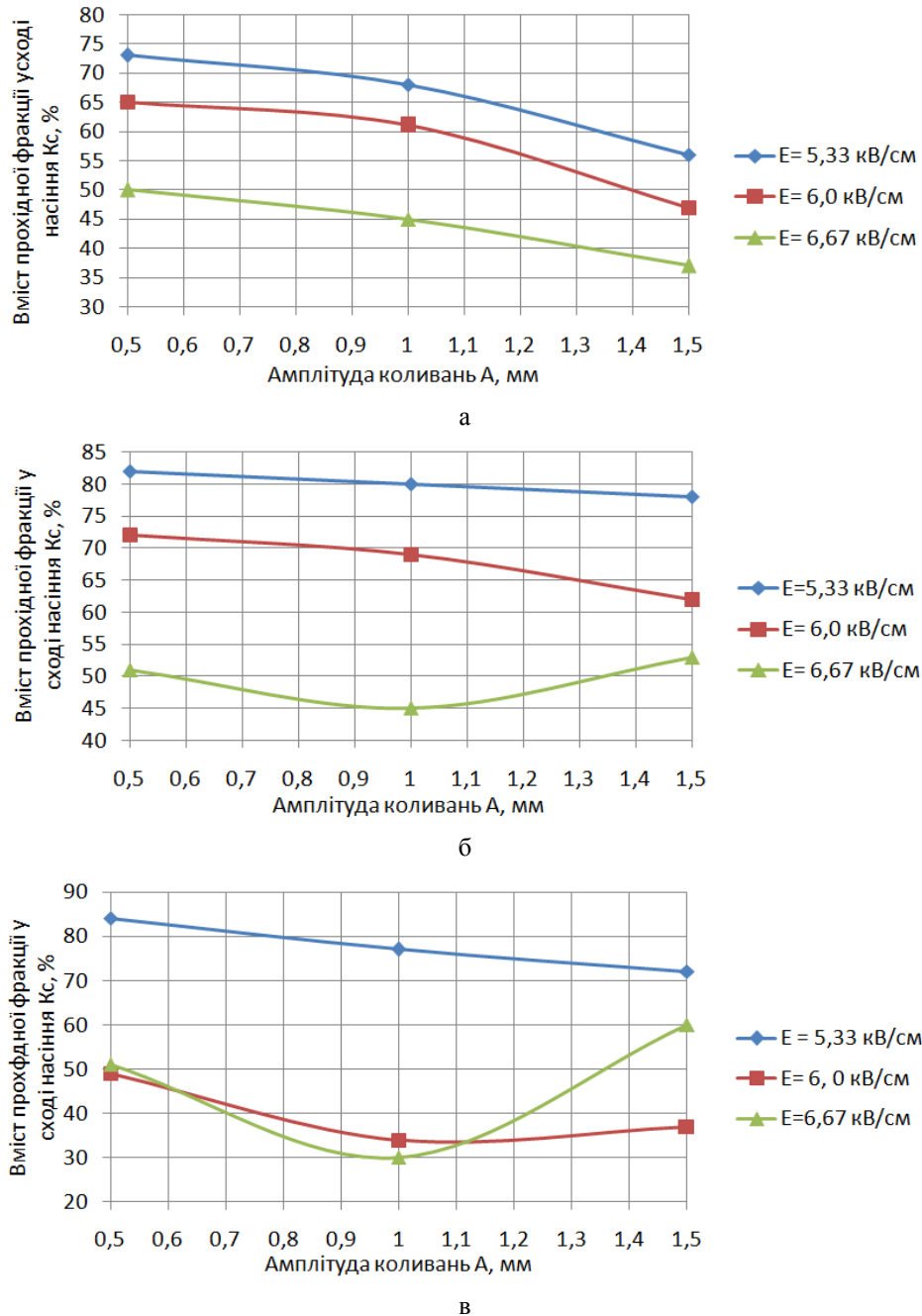


Рис. 4. Залежності вмісту прохідної фракції вівса у сході насіння:

а – пшениця; б – ячмінь; в – овес

Fig. 4. Dependencies of the content of the passable oat fraction in seed germination:

a – wheat; б – barley; в – oats

Висновки. Аналіз отриманих результатів свідчить про можливість підвищення ефективності просіювання зерна на решетах віброрешітних сепараторів та збільшення їх продуктивності загалом. Максимальний відсоток орієнтації насінин досягається за максимальної напруженості електричного поля над решетом, яка дорівнювала 6,67 кВ/см.

Оптимальними параметрами роботи віброрешітного електросепаратора під час обробки зернових культур буде напруженість електричного поля в робочій зоні сепарування $E = 5 \dots 6,5$ кВ/см та амплітуда коливання решета дослідного зразка сепаратора $A = 1 \dots 1,5$ мм. За таких умов потрапляння прохідної фракції в східну становить близько 30 %.

Бібліографічний список

1. Арнольд А. Э., Каменир Э. А., Лихачев Б. С. Обоснование технологической схемы разделения семян овса. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1987. № 12. С. 10-12.
2. Басов А. М. Электрозерноочистительные машины. Теория конструкций и расчёт. Москва: Машиностроение, 1986. 203 с.
3. Василенко П. М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / УАСХН. Киев, 1960. 284 с.
4. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. для студентів ВНЗ; за ред. Д. Г. Войтюка. Суми: Унів. кн., 2008. 543 с.
5. Гусев В. А., Дударев І. М., Токарчук М. В. Огляд конструкцій сепараторів сипких матеріалів. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей*. Луцьк: Луцьк. НТУ, 2019. Вип. 42. С. 20-28.
6. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: НПО «МЭДОК», 2006. 384 с.
7. Єрмак В. П., Богданов Є. В., Ільченко А. А. Класифікація засобів сепарації та конструкцій машин для відбору насіння з високими посівними властивостями. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету*. 2012. № 35. С. 127-132.
8. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око, 2006. Т. 3. 408 с.
9. Захаров Д. О. Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції: *метод. рекомендації*. Миколаїв: Миколаїв. НАУ, 2017. 39 с.
10. Зюлин А. Н. Исследование процесса сепарации зерна по длине частиц на решетном обогатителе к триеру: науч. отчет / ВИМ. Москва: ВИМ, 1977. 216 с.
11. Коруняк П., Боровець В., Шенбор В. Дослідження кутових коливань двомасових вібраційних машин. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2010. № 14. С. 317-323.
12. Коруняк П. С., Шенбор В. С., Боровець В. М. Вібраційні транспортери і транспортні системи з електромагнітним приводом для подачі зерна та зернопродуктів. *Механізовані процеси сільськогосподарського виробництва*. Львів: ЛДСГІ, 1995. С. 40-43.
13. Косилов Н. И. Состояние и тенденции совершенствования зерноуборочных машин: учеб. пособие. Челябинск, 1983. 99 с.
14. Матвійчук В. А., Рубаненко О. Є., Стаднійчук І. П. Електротехнології в АПК: навч. посіб. Вінниця: Твори, 2020. 272 с.
15. Михайлов А. Д. Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки зерна і насіння. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. 78 с.
16. Пoviдайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
17. Швець О., Барановський М. Дослідження можливості сепарування насіння райграсу пасовищного. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2020. № 24. С. 63-68.
18. Швець О. П. Спосіб інтенсифікації процесу розділення зерна на решетах. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок*. Львів: ЛНАУ, 2020. Вип. 20. С. 53.
19. Шмигель В. В. Ориентация семян в электростатическом поле. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1978. Вып. 3. С. 36-38.
20. Шмигель В. В. Характер движения частиц на колеблющемся электроде. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1979. Вып. 2. С. 36-37.
21. Електротехнологія / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев, В. Б. Файн. Москва: Агропромиздат, 1985. 256 с.

Стаття надійшла 14.07.2022