

УДК 631.362

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2020.50.52-58>

О.М. Васильковський, проф., канд. техн. наук, **С.М. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **С.М. Мороз**, доц., канд. техн. наук, **О.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, e-mail: olexa74@ukr.net

До створення концепції «ідеального» решета зернового сепаратора

У статті викладені міркування щодо створення умов для інтенсифікації процесу сепарації зерна за геометричними ознаками. Проведено огляд конструкцій і аналіз роботи відомих решітних поверхонь з позиції можливості забезпечення високих показників технологічної ефективності за рахунок прискорення орієнтації часток відносно отворів решета. Встановлено, що найбільш сприятливі умови орієнтації забезпечують поверхні, утворені повздовжніми елементами малого перерізу обтічної форми, що мінімізують можливість розташування на них часток в положеннях стійкої рівноваги. Виявлено теоретичні можливості збільшення площ живого перерізу та коефіцієнтів живого перерізу решітних полотен, що не мають поперечних перетинків. Наведені залежності сумарної ширини повздовжніх перетинків і коефіцієнта живого перерізу решіт від ширини повздовжніх перетинків для різних решіт. Це дає можливість візуальної оцінки необхідності збільшення живого перерізу решіт шляхом зменшення ширини повздовжніх перетинків, які їх утворюють. Суттєве зменшення ширини перетинків стає можливим завдяки використанню нових матеріалів – плетених шнурів з надвисокомолекулярних поліетиленів типу Spectra/Dyneema, що забезпечують високі показники механічної міцності і зносостійкості при «абсолютній» нерозтяжності.

зерно, зернова суміш, частка, зерноочисна машина, решето, робочі отвори, повздовжні перетинки, просіювальна здатність, ймовірність просіювання, якість очищення, ефективність сепарації, продуктивність, живий переріз, коефіцієнт живого перерізу

А.М. Васильковский, проф., канд. техн. наук, **С.Н. Лещенко**, доц., канд. техн. наук, **С.Н. Мороз**, доц., канд. техн. наук, **А.В. Нестеренко**, доц., канд. техн. наук, **Л.А. Молокост**, препод.

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

К созданию концепции «идеального» решета зернового сепаратора

В статье изложены соображения по созданию условий для интенсификации процесса сепарации зерна по геометрическим признакам. Проведен обзор конструкций и анализ работы известных решетных поверхностей с позиции возможности обеспечения высоких показателей технологической эффективности за счет ускорения ориентации частиц относительно отверстий решета. Установлено, что наиболее благоприятные условия ориентации обеспечивают поверхности, образованные продольными элементами малого сечения обтекаемой формы, которые минимизируют возможность расположения на них частиц в положениях устойчивого равновесия. Выявлены теоретические возможности увеличения площади живого сечения и коэффициента живого сечения решетных полотен, которые не имеют поперечных перегородок. Приведены зависимости суммарной ширины продольных перегородок и коэффициента живого сечения решет от ширины продольных перегородок для различных решет. Это дает возможность визуальной оценки необходимости увеличения живого сечения решет путем уменьшения ширины продольных перегородок, которые они образуют. Существенное уменьшение ширины перепонки становится возможным благодаря использованию новых материалов – плетеных шнуров их сверхвисокомолекулярных полиэтиленов типа Spectra/Dyneema, обеспечивающих высокие показатели механической прочности и износостойкости при «абсолютной» нерастяжимости.

зерно, зерновая смесь, частица, зерноочистительная машина, решето, рабочие отверстия, продольные перемычки, просеивающая способность, вероятность просеивания, качество очистки, эффективность сепарации, производительность, живое сечение, коэффициент живого сечения

Постановка проблеми. Якість роботи зерноочисних машин визначається ефективністю виконання технологічних процесів їх основних робочих органів. Сучасні машини оснащені різним набором робочих органів – решетами, системами аспірації, трієрами тощо, які використовуються для забезпечення видалення сторонніх органічних і неорганічних домішок, некондиційного зерна основної культури. На кожному етапі очищення може використовуватися свій набір робочих органів, однак решітне очищення, що дозволяє розділити компоненти зернової суміші за розмірами є універсальною обов'язковою операцією у підготовці зерна до переробки, зберігання, сівби тощо. Таким чином решето являє собою елемент, від параметрів якого у великій мірі залежить продуктивність і якість сепарації. Від режимів роботи решіт також суттєво залежать показники ефективності, однак решето є первинним, базовим елементом системи, який має характеризуватися «ідеальними» показниками для забезпечення максимальної ймовірності просіювання прохідних часток.

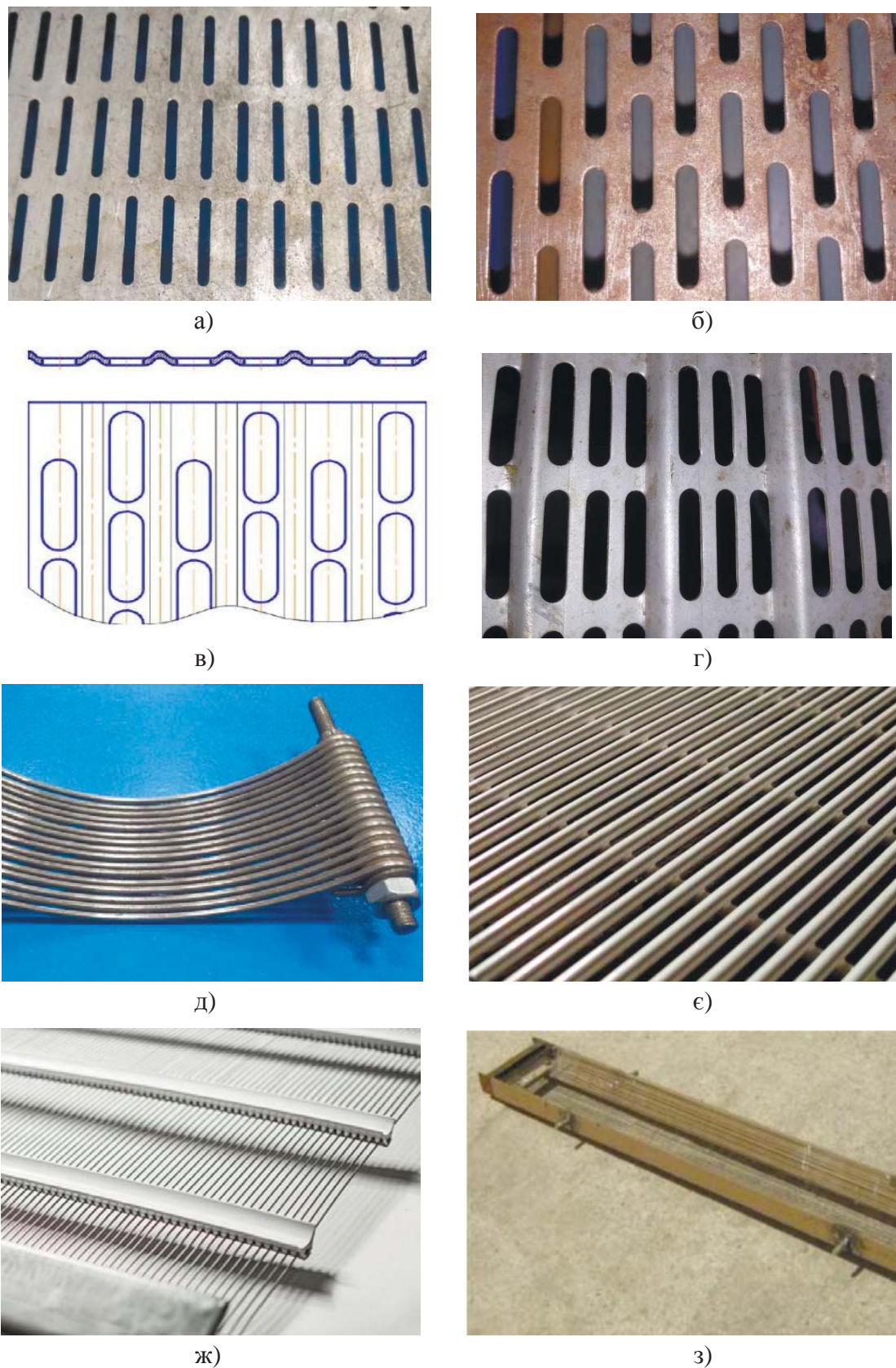
Основними параметрами решіт, що визначають ефективність їх роботи є довжина і ширина, розміри отворів і перетинок, форма решета, перетинок і отворів, положення у просторі і матеріал, з якого решето виготовлено. Таким чином, основою концепції створення «ідеального» решета має стати обґрунтована відповідь на кожне поставлене вище питання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зернові решітні сепаратори, попри те, що призначені для виконання лише однієї операції, можуть суттєво відрізнитися за конструктивними особливостями і дією на оброблюваний зерновий матеріал [1-5]. Однак решітні полотна, якими оснащуються зазначені машини мають лише кілька різновидів – плоскі штамповані (рис. 1а,б), профільовані (рис. 1в,г), пруткові (рис. 1д,є) та струнні (рис. 1ж,з).

Плоскі штамповані решітні полотна (рис. 1а,б) використовують у переважній більшості серійних зерноочисних машин, оснащених плоскорешітними нерухомими, коливальними або вібраційними станами [6, 7], а також циліндричними (барабанними) обертальними робочими органами [8]. Вони є найбільш простими і технологічними у виготовленні, легкозамінними і найбільш поширеними з моменту створення решітних сепараторів. Недоліками таких полотен є мала площа живого перерізу і низька орієнтуюча здатність, що не сприяє переміщенню зерна до отворів, а значить не дозволяє інтенсифікувати процес сепарації. Зменшення розмірів перетинок дозволяє позбутися зазначених недоліків, однак це призводить до втрати міцності полотен, особливо тих, що працюють в умовах коливань і вібрацій.

Гофровані решітні полотна (рис. 1в) дозволяють прискорити орієнтацію вздовж робочих отворів і мають вищі показники технологічної ефективності роботи [9,10], однак мають і характерні недоліки – складність виготовлення і очищення отворів від забивань, особливо для вібраційних сепараторів. Решета (рис. 1г) використовують переважно в системах очистки зернозбиральних комбайнів.

Пруткові решітки (рис. 1д,є) являють собою конструктивні рішення, що суттєво інтенсифікують процес сепарації за рахунок наявності повздовжніх перетинок круглого перетину і відсутності поперечних перетинок [11-13]. Повздовжні перетинки круглого профілю суттєво прискорюють орієнтацію часток вздовж отворів, а відсутність поперечних перетинок і гострик крайок знижує ймовірність травмування зерна. Спільним недоліком даних конструкцій є неможливість суттєвого збільшення площі живого перерізу решіт, оскільки зменшення перерізу повздовжніх перетинок – твірних отворів, зменшує їх жорсткість і механічну міцність.



а, б – плоскі пробивні полотна; в, г – профільовані пробивні полотна; д, е – пруткові полотна;
ж, з – струнні решета

Рисунок 1 – Решітні полотна зернових сепараторів

Джерело: розроблено авторами з використанням [1...5]

Струнні решета (рис. 1 ж,з) утворені за рахунок попередньо натягнутих металевих повздожніх елементів – струн малого діаметру (1...2 мм) і мають найбільшу площу живого перерізу з усіх відомих полотен [14-15]. Як і пруткові решітки, вони не мають поперечних перетинок та гострих крайок і є травмобезпечними для оброблюваного матеріалу. Основним недоліком даних решіт є складність забезпечення попереднього натягу струн і підтримання його в процесі роботи, оскільки при великих і нерівномірних навантаженнях, струни можуть зміщуватися у поперечному до напрямку подачі зерна напрямку. При цьому не буде витримано початковий розмір отворів, що погіршить чіткість сепарації.

Постановка завдання. Завданням наших досліджень є формування концепції «ідеального» решета зерноочисної машини, яке дозволило б отримати найвищі показники технологічної ефективності за будь-яких інших рівних умов.

Виклад основного матеріалу. Очевидно, що інтенсивність просіювання часток залежить їх орієнтації – розташування відносно отворів решета. Частка, що знаходиться на повздожній перетинці решітки в положенні стійкої рівноваги має менше ймовірності потрапити до отворів і просіятися, ніж частка, що знаходиться безпосередньо над отвором або у положенні нестійкої рівноваги. Таким чином, інтенсифікувати процес сепарації необхідно шляхом створення умов, при якій частки не матимуть можливості знаходитися у положенні стійкої рівноваги.

Даній вимозі в тій чи іншій мірі відповідають решітні полотна, зображені на рис. 1 в-з.

На показники технологічної ефективності решітної сепарації суттєво впливає площа живого перерізу – сума площ отворів решета A_o , яка в ідеалі має прямувати до площі всього решета A_p , A_p

$$A_o \rightarrow A_p.$$

При цьому, в загальному випадку, коефіцієнт живого перерізу решета має наближатися до 1

$$k_l = \frac{A_o}{A_p} \rightarrow 1.$$

Це стає можливим якщо площа перетинок A_n , що утворюють решето мінімальна:

$$A_n \rightarrow 0.$$

Очевидним є те, що площа живого перерізу буде меншою у решіт, що не мають поперечних перетинок (рис. 1 д,є,з). Для таких решіт наведені вище залежності можна переписати у вигляді

$$b_{o.сум.} \rightarrow B, k_l = \frac{b_{o.сум.}}{B} \rightarrow 1, b_{n.сум.} \rightarrow 0.$$

де $b_{o.сум.}$ – сумарна ширина отворів решета;

B – ширина решета;

$b_{n.сум.}$ – сумарна ширина повздожніх перетинок решета.

З розвитком технологій, забезпечення цієї умови стає реальністю. Сучасні плетені шнури з надвисокомолекулярного поліетилену, наприклад, запатентованої марки Spectra/Dyneema мають високі показники механічної міцності і зносостійкості при малому поперечному перерізі. При цьому такий матеріал характеризується «абсолютною нерозтяжністю». Зокрема, плетений шнур фірми Power Pro при діаметрі 0,28 мм має розривне навантаження 20 кг, а діаметр 0,15 мм є працездатним при навантаженні 9 кг, що у сукупності з нерозтяжністю і зносостійкістю робить їх перспективними для використання у якості повздовжніх перетинок – твірних отворів решіт для забезпечення зазначених вище умов.

Залежності сумарної ширини повздовжніх перетинок і коефіцієнта живого перерізу решета шириною 100 мм від діаметрів повздовжніх перетинок наведено на рис. 2.

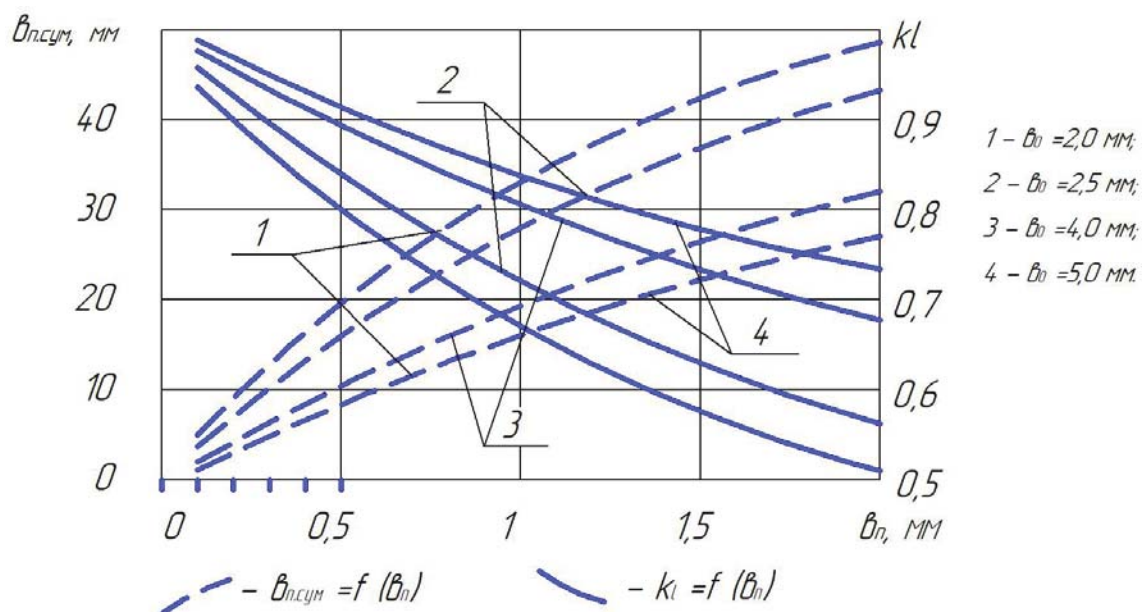


Рисунок 2 – Залежності сумарної ширини повздовжніх перетинок і коефіцієнта живого перерізу решета шириною 100 мм від діаметрів повздовжніх перетинок для робочих поверхонь з різними розмірами отворів b_0

Джерело: розроблено авторами

Висновки. На основі проведених досліджень встановлено, що для підсівних і сортувальних решіт сумарна ширина (а значить і площа) повздовжніх перетинок складає понад 40% поверхні, коли ширина останніх 2 мм. Зменшення ширини перетинок до рівня 0,15 мм збільшує коефіцієнт живого перерізу до рівня 93...99%. При цьому повинна відповідно збільшитися і його пропускна здатність.

Враховуючи те, що зменшення ширини повздовжніх перетинок зменшує ймовірність розміщення часток на останніх в положенні стійкої рівноваги, то в основу створення «ідеальної» конструкції решета повинна стати мінімізація ширини повздовжніх перетинок.

Список літератури

1. Лузан П.Г., Васильковський О.М. Нові конструкції решіткових сепараторів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 1999. Вип. 27. С. 123-127.

2. Ермолев Ю.И. Применение гофрированных подсевных решет для очистки зерновых культур. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1984. №6. С. 17-18.
3. Комаристов В.Ю., Петренко М.М. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна. К.: Урожай, 1990. 194 с.
4. Васильковский М.И. Повышение эффективности сепарации зерна на быстровращающемся цилиндрическом решете. Автореф. дис... канд. техн. наук. Воронеж, 1987. 24с.
5. Завгородний А. И., Монтасер Х. Определение рациональной интенсивности колебаний рабочих органов вибросепаратора зерновых смесей. *Інженерія природокористування*. 2015. Вип. 1(3). С. 34-39.
6. Півень М. В. Обоснование процесса сепарирования зерновых смесей плоскими вибрационными решетками. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin. 2015. Vol.17. №7. С. 163-169.
7. Тищенко Л. Н. та ін. Идентификация скорости прохождения частиц зерновой смеси через отверстия решет вибрационных зерновых сепараторов. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2016. Вып. 2(7). С. 63-69.
8. Котов Б. И., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація с-г машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2003. Вип. 33. С.53-59.
9. Решето Фадеева: пат. 37527 Україна: МПК В07В 1/46 № u200809604; заявл. 22.07.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
10. Минаев В.Н., Регге Х. Пути повышения производительности зерноочистительных машин. *Техника в сельском хозяйстве*. 1990. №1. С.16-17.
11. Мороз С.М., Васильковский М.І., Васильковский О.М. Обґрунтування діаметрів стержнів пруткового решета. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту*. 2004. Вип. 14. С. 72-78.
12. Мороз С.М., Васильковский О.М. Експериментальні дослідження впливу параметрів транспортера-сепаратора зерна на показники його роботи. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2013. Вип. 43 (2). С. 213-219.
13. Мороз С.М., Васильковский О.М., Мачок Ю.В., Анісімов О.В. Вплив основних параметрів роботи транспортера-сепаратора на чіткість очищення зерна. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Техніка та енергетика АПК»*. 2018. Вип. № 282. С. 292-303
14. The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality / O. Vasylovskiyi, K. Vasylovskya, S. Moroz, M. Sviren, L. Storozhyk. *INMATEH - Agricultural Engineering – Romania*, Bucharest: INMA. 2019. Vol. 57, No.1. 63-70.
15. Иванов, Н.М. Сепарация зерна на конических решетках с профилированной поверхностью: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 1988. 171 с.

Referencis

1. Luzan, P.G. & Vasilkovsky, O.M. (1999). Novi konstrukciyi reshitkovy`x separatoriv [Design, manufacture and operation of agricultural machinery]. *Konstruiuvannia, vyrobnystvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn, Vol. 27*, 123-127. [in Ukrainian].
2. Ermolev, Yu.I. (1984). Primenenie gofirovannyh podsevykh reshet dlya ochistki zernovykh kultur [The use of corrugated under-sowing sieves for cleaning grain crops]. *Traktory i selskohozyajstvennyye mashiny, 6*, 17-18. [in Russian].
3. Komarystov, V.Iu. & Petrenko, M.M. (1990). Dovidnyk z mekhanizatsii pisliazbyralnoi obrobky zerna [Handbook of mechanization of post-harvest processing of grain]. Kyiv: Urozhai. [in Ukrainian].
4. Vasylovskiy, M.I. (1987). Povyishenie effektivnosti separatsii zerna na bystrovraschayuschemsya tsilindricheskom reshete [Improving the efficiency of grain separation on a rapidly rotating cylindrical sieve]. *Extended abstract of Doctor's theses. Voronezh* [in Russian].
5. Zavorodnyi, A.Y. & Montaser, Kh. (2015). Opredelenye ratsyonalnoi yntensyvnyosti kolebanyi rabochykh orhanov vybroseparatora zernovykh smesei [Determination of rational intensity of oscillations of working organs of vibroseparator of grain mixtures]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia, Vol. 1(3)*, 34-39 [in Russian].
6. Piven, M.V. (2015). Obosnovanye protsessa sepyaryrovaniya zernovykh smesei ploskymy vybratsyonnyimi reshetamy [Justification of the process of separation of grain mixtures with flat vibrating sieves]. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin, Vol.17 (7)*, 163-169 [in Russian].

7. Tyshchenko, L. N. et al. (2016). Ydentyfikatsiya skorosty prokhozhdennya chastyts zernovoi smesy cherez otverstyia reshet vybratsyonnykh zernovykh separatorov [Identification of the rate of passage of particles of the grain mixture through the openings of sieves of vibration grain separators]. *Vostochnoevropейskiy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*, Vol. 2 (7), 63-69 [in Russian].
8. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P. & Pastushenko, M. H. (2003). Tendentsii rozvytku konstruksii mashyn ta obladnannia dlia ochyshchennia i sortuvannia zerno materialiv [Trends in the design of machinery and equipment for cleaning and sorting grain materials]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s-h mashyn*. Kirovohrad, Vol. 33, 53-59 [in Ukrainian].
9. Resheto Fadieieva [Fadeev sieve]: pat. 37527 Ukraina: MPK B07B 1/46 № u200809604; zaiavl. 22.07.2008; opubl. 25.11.2008, Biul. № 22 [in Ukrainian].
10. Minaev, V.N. & Regge, H. (1990). Puti povysheniya proizvoditelnosti zernoochistitelnykh mashin [Ways to increase the productivity of grain cleaning machines]. *Tehnika v selskom hozyajstve*, №1, 16-17 [in Russian].
11. Moroz, S.M., Vasytkovskyi, M.I. & Vasytkovskyi, O.M. (2004). Obgruntuvannia diametriv sterzhniv prutkovoho resheta [Determination of the diameters of the rods of the bar sieve]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohrads'koho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia*, Vol. 14, 72–78 [in Ukrainian].
12. Moroz, S.M. & Vasytkovskyi, O.M. (2013). Eksperymentalni doslidzhennia vplyvu parametriv transporter- separatora zerna na pokaznyky yoho roboty [Experimental studies of the influence of the parameters of the grain separator on its performance]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstva ta ekspluatatsii silskohospodarskoi tekhniki*, Vol. 43, 2, 213-219 [in Ukrainian].
13. Moroz, S.M., Vasytkovskyi, O.M., Machok, Yu.V. & Anisimov, O.V. (2018). Vplyv osnovnykh parametriv roboty transporter- separatora na chitkist ochyshchennia zerna [Influence of the main parameters of the conveyor-separator on the clarity of grain cleaning]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia «Tekhnika ta enerhetyka APK»*, Vol. 282., 292-303 [in Ukrainian].
14. Vasytkovskyi, O., Vasytkovska, K., Moroz, S., Sviren, M. & Storozhyk L. (2019). The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. *INMATEH - Agricultural Engineering – Romania*, Bucharest: INMA, Vol. 57, No.1, 63-70 [in English].
15. Ivanov, N.M. (1988). Separaciya zerna na konicheskikh reshetah s profilirovannoj poverhnostyu [Separation of grain on conical sieves with a profiled surface]: *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].

Olexiy Vasytkovskyi, Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Leshchenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Moroz**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Olexandr Nesterenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ludmyla Molokost**, lecturer *Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

Before Creating the Concept of the «Ideal» Grain Separator Sieve

The article presents considerations for creating conditions for the intensification of the process of grain separation by geometric features.

The review of constructions and the analysis of work of known sieve surfaces from a position of possibility of maintenance of high indicators of technological efficiency at the expense of acceleration of orientation of particles concerning sieve apertures is carried out. It is established that the most favorable orientation conditions are provided by the surfaces formed by longitudinal elements of small cross-section of streamlined shape, which minimize the possibility of placing particles on them in positions of stable equilibrium.

Theoretical possibilities of increasing the living cross-sectional areas and live cross-sectional coefficients of sieve canvases without cross-sections are revealed. The dependences of the total width of the longitudinal sections and the coefficient of the living cross section of the sieves on the width of the longitudinal sections for different sieves are given. This makes it possible to visually assess the need to increase the living cross section of the sieves by reducing the width of the longitudinal sections that form them. A significant reduction in the width of the partitions is possible due to the use of new materials - braided cords made of ultra-high molecular weight polyethylene type Spectra / Dyneema, which provide high mechanical strength and wear resistance with «absolute» inextensibility.

grain, grain mixture, particle, grain cleaning machine, sieve, working holes, longitudinal membranes, sifting capacity, sieving probability, cleaning quality, separation efficiency, productivity, live cross section, live cross section coefficient

Одержано (Received) 04.12.2020

Прорецензовано (Reviewed) 05.11.2020

Прийнято до друку (Approved) 21.12.2020