

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРФОРОВАНИХ ПРОСІЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ СЕПАРУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ, ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

Харченко Сергій Олександрович

доктор технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-4883-2565
kharchenko_mtf@ukr.net

Харченко Фаріда Магомедівна

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-0815-4691
faridakharchenko@gmail.com

Стельмах Андрій Миколайович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8364-3575
stelmah0880@gmail.com

Погуляй Володимир Михайлович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-1095-9306
vladimir.poguliai@jupiter9.com.ua

Майоров Олександр Вікторович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0003-7212-8409
saniok11223355@gmail.com

Гузь Олег Іванович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0004-5023-0530
guzo17977@gmail.com

Одними з основних робочих органів сепарувального обладнання є перфоровані просіювальні поверхні, які працюють з вібрацією та поділяють компоненти сипких зернових матеріалів за розмірами. Значний вплив параметрів просіювальних поверхонь на ефективність процесу сепарування сипкого матеріалу, робить їх визначальними по відношенню до технологічної продуктивності та якості сепарувального обладнання. Заміна перфорованих просіювальних поверхонь не потребує суттєвих змін в конструкції сепарувального обладнання. Попри значний вплив на сьогодні існують низка класифікацій за конструктивними ознаками, які утруднюють розуміння перспектив та інновацій по відношенню до інтенсифікації процесу сепарування сипких зернових матеріалів. Крім того, маємо постійний розвиток та появу нових конструкцій, способів виготовлення та удосконалення перфорованих просіювальних поверхонь. Метою роботи стало узагальнення та розробка класифікації перфорованих просіювальних поверхонь сепарувального обладнання, яка дозволить визначити перспективи в інтенсифікації процесу сепарування сипких зернових матеріалів. В результаті аналізу існуючих досліджень встановлено наступні відмінні ознаки в перфорованих просіювальних поверхнях: за способом виготовлення, за розташуванням робочої поверхні, за рухомістю робочої поверхні, за використанням додаткових елементів, за формою отворів, за формою робочої поверхні, за розташуванням отворів, за технологічною операцією, за розміром отворів, за матеріалом з якого їх виготовлено. Запропоновано класифікацію перфорованих просіювальних поверхонь за вказаними ознаками з детальним поділом на підкласи. Запропоновано технічну реалізацію перспективного способу з інтенсивного розпушення шару сипкого зернового матеріалу за рахунок використання перфорованої просіювальної поверхні з об'ємною рифленою структурою. Встановлені фактори, які впливають на ефективність процесу сепарування сипких зернових матеріалів. Отримані результати дозволяють відшукувати можливі удосконалення конструкцій

просіювальних поверхонь та інтенсифікувати процеси сепарування сипких зернових матеріалів на сепарувальному обладнанні.

Ключові слова: перфорована просіювальна поверхня, сепарування, сипкий матеріал, класифікація, перспективні способи, об'ємна структура, рифлі.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.8>

Вступ. Сепарування сипких зернових матеріалів (СЗМ) є одною з розповсюджених операцій в технологіях аграрних, харчових, хімічних, будівельних, гірсько-рудних та інших виробництв (Akhtadiev F., 2013; Pruteanu A., 2023). Процеси решетного сепарування СЗМ передбачають поділ їх компонентів за розмірами, що забезпечує якість подальшої обробки та переробки, можливість тривалого зберігання кінцевих продуктів. Виробництво, обробка, переробка та зберігання зерна, яке за властивостями відноситься до СЗМ, передбачає використання решетних сепарувальних машин, які визначають якісні показники насінневого матеріалу, продовольчого зерна.

Сучасні умови та вимоги виробництва потребують від сепарувальних машин підвищення технологічного ефективности (продуктивності та якості), надійності, енергозбереження. Створення ефективних робочих органів – перфорованих просіювальних поверхонь (ППП) здані задовільнити зростаючі та складні умови.

Серед ознак сепарування СЗМ поширеною є поділ компонентів за розмірами, який виконується за допомогою ППП. Технологічний процес передбачає просіювання частини СЗМ через отвори ППП (проходова фракція) та вихід іншої частини, яка залишилася (сходова фракція). Інтенсивність сепарування СЗМ забезпечує вібрація у вигляді частоти та амплітуди коливань ППП. Параметри вібрації позитивно впливають не тільки на процес сегрегації виробництв (Akhtadiev F., 2013), а й на просіювання СЗМ виробництв (Pruteanu A., 2023).

Процес решетного сепарування СЗМ містить наступні підпроцеси: переміщення матеріалу по робочій поверхні; сегрегація компонентів у шарі СЗМ; просіювання компонентів проходової фракції через отвори ППП і сходження з неї компонентів сходової фракції; очищення отворів ППП. Від інтенсивності протікання цих операцій залежить продуктивність і якість роботи, надійність сепарувального обладнання.

Одним з головних технологічних завдань, яке ставиться до сепарувального обладнання, є реалізація поділу компонентів під час руху по ППП заданої довжини. Якщо компонент, який повинен був, але не встиг просіятися крізь отвори, то відбувається зниження якості поділу у вигляді показника – повноти поділу. Це вимагає наступні кроки: 1) зменшення питомого завантаження (товщини шару), що одночасно знижує продуктивність сепарувальної машини; 2) повторні пропуски СЗМ, що негативно відображається на надійності (довговічності) обладнання, перевитратах енергії та травмуванні компонентів.

Мета роботи: на підставі аналізу відомих досліджень процесів сепарування СЗМ, конструкцій ППП сепарувального обладнання розробити відповідну

класифікацію та визначити перспективність напрямків подальшого удосконалення.

Завдання дослідження: виконати системний аналіз досліджень, конструкцій ППП, способів підвищення ефективності їх роботи з встановленням переваг та недоліків, розробити загальну класифікацію ППП, встановити можливі перспективні технічні заходи.

Основна частина. Дослідження процесів сепарування компонентів сипких матеріалів проведені науковцями (Zaika P., 2006; Tishchenko L., 2004; Adamchuk V., 2018; Kotov B., 2004; Kharchenko S., 2017; Sheichenko V., 2024; Stepanenko S., 2019; Olshanski V., 2017; Aliev E.B., 2019; Kurchev S., 2019; Curkan O., 2020; Mykhailov Ye., 2020; Vasylykovskiy, O., 2019; Bredykhin V., 2024; Piven M., 2017 та ін.).

Конструкції ППП вельми різноманітні, проте їх можна згрупувати за певними ознаками. За кінематичним приводом ППП можна поділити на: вібраційні, відцентрові та вібровідцентрові. Визначення впливу кінематичних параметрів на ефективність процесів сепарування, оптимізація режимів (Tishchenko L., 2004; Kharchenko S., 2017; Aliev E.B., 2019; Piven M., 2017).

Попередня обробка або підготовка СЗМ сприяє інтенсифікації процесу сепарування за рахунок: видалення частини компонентів; розпушенню шару, розшаруванню та збільшенню сегрегації тощо.

Відділення крупних компонентів з СЗМ технічно забезпечується за рахунок використання розвантажувальних решет, які є першим ступенем в сепарувальних машинах (Kotov B., 2004; Olshanski V., 2017; Mykhailov Ye., 2012). Призначення подібної ППП полягає в розвантаженні наступного в технологічному процесі підсвітного решета, яке відділяє дрібні домішки з СЗМ. Відділення крупних компонентів та спрямування їх одразу на колосове решето, дозволяє забезпечити кращі умови для просіювання дрібних компонентів та підвищити продуктивність сепарувальних машин. Попереднє розшарування може виконуватися: за допомогою підготовчих неперфорованих (McGlinchey D., 2005), повітропроникних (Bredykhin V., 2003) або ступінчастих (Kotov B., 2012) поверхонь, з використанням спеціальних пристроїв (Kobec A., 2013).

Швидкість руху компоненту СЗМ частинки залежить від форми і розмірів пор, інтенсивності пошарового руху суміші, що характеризується градієнтом швидкості елементарних шарів за глибиною (Kharchenko S., 2017; Olshanski V., 2017). Тому очевидно, що кінематичні параметри ППП не тільки забезпечують рух СЗМ, а й впливають на показники сегрегації.

Вплив властивостей СЗМ (крупність та питома вага компонентів) на сегрегацію досліджено в (Piven M., 2017). Так, під час вібрації крупні компоненти опиняються над

дрібними, а легкі над важкими. Занурення компоненту в СЗМ обумовлюють три фактори: відмінність її щільності від густини середовища; несиметрія сил опору та несиметрія закону коливання середовища. Таким чином, застосування попередньої обробки з видаленням або частковим поділом компонентів, інтенсивною сегрегацією дає змогу підвищити ефективність процесів просіювання СЗМ.

Дослідження просіювання СЗМ довело значущість наступних факторів (Kharchenko S., 2017; Olshanski V., 2017; Piven M., 2017): кінематичного режиму; кута нахилу та габаритів ППП; форми та розташування отворів; питомого навантаження; властивостей СЗМ матеріалу.

Використання циліндричних ППП та додаткової відцентрової сили, що діє на компоненти, здатне інтенсифікувати сегрегацію та просіювання (Tishchenko L., 2010; Kharchenko S., 2017; Kotov B., 2017). Для вертикальних циліндричних вібровідцентрових решіт, що здійснюють осьові коливання (у своїй площині), збільшення розпушеності досягається підвищенням частоти коливань решета.

Сепарування СЗМ на ППП супроводжується забиванням отворів компонентами і потребує постійного їх очищення. Поліпшення якості очищення отворів ППП від застряглих компонентів підвищує ефективність процесу сепарування (Zavgorodnii O., 1992; Kharchenko S., 2024).

Також значущими факторами процесу просіювання компонентів СЗМ через отвори ППП є (Kharchenko S., 2017; Aliev E.V., 2019): характер та швидкість руху матеріалу, напрям та величина коливань. Ці фактори визначаються: кутом нахилу ППП до горизонту, коефіцієнтом тертя матеріалу по ППП, частотою та амплітудою коливань.

Інтенсифікація етапу просіювання компонентів СЗМ шляхом оптимізації кінематичних параметрів призводить до підвищення ефективності процесу сепарування на ППП.

Для підвищення просіюваності ППП низка дослідників вдалися до зміни її форми поверхні. Використання криволінійних ППП для сортування СЗМ соняшнику дозволило збільшити кількість прохідної фракції, встановлені оптимальні кінематичні параметри та радіус кривизни (Вакум М., 2019).

Серед факторів, які впливають на процеси сепарування СЗМ слід відмітити (Kharchenko S., 2017; Piven M., 2017; Tikunov S., 2022): сепарувальну величину та форму отвору; характер коливання решіт (поздовжнє, поперечне, кругле); величина нахилу ППП.

Використання рифлів, розрихлювачів та сегрегаторів їх позитивний вплив на збільшення пористості шару СЗМ та інтенсивність пошарового руху компонентів відмічено авторами (Tishchenko L., 2010).

Таким чином, зміна форми поверхні решета, параметрів отворів та їх кромок веде до інтенсифікації сепарації СЗМ і підвищення ефективності використання ППП.

Процес сепарування СЗМ залежить від інтенсивності пошарового руху компонентів, яка пов'язана з пористістю середовища. Це створює необхідність у використанні відповідних деталей та пристроїв: розпушувачів, сегрегаторів і т.п.

Для утворення радіально-осьових дій в шару СЗМ з робочої сторони ППП на перемичках наварені ободи – ребра (Piven M., 2017) (рис.1, а). Це дозволяє збільшити пористість та інтенсивність просіювання компонентів через отвори. В [66] представлено аналітичні дослідження сегрегації СЗМ на ППП з ребрами у вигляді привареної металевої проволочки або проштамповані рифлі (рис.1, а, б). Встановлені закономірності пористості і швидкості пошарового руху СЗМ.

Одним зі способів інтенсифікації сепарування СЗМ є профілювання ППП. Для підвищення ефективності просіювання СЗМ в роботах (Zaika P., 2010; Olshanski V., 2017) автори відзначають позитивний вплив використання ППП гофрованого типу та з лункоподібними отворами (рис.1, в, г). При коливанні, гофри або виступи лунок взаємодіють з компонентом СЗМ та направляють, орієнтують його в отвори за сепаруючим розміром (товщиною або шириною). Подібні конструктивні рішення не потребують змін в сепараторі та орієнтують компоненти СЗМ в отвори, що суттєво активізує просіюваність ППП.

Більш досконалою та технологічною, з точки зору промислового виготовлення, є використання ППП з об'ємними активаторами (рис.1, д) (Abdueva F., 2010). Шахове розташування об'ємних активаторів на ППП дозволяє багатократно взаємодіяти з компонентами СЗМ. Параметри об'ємних елементів обрано відповідно до розмірів компоненту, за умови компромісу між орієнтуванням до отвору та опору повздовжнього руху шару СЗМ. Підвищення просіювання компонентів СЗМ кукурудзи на даних ППП склало до 30%.

Для інтенсифікації просіювання в (Kharchenko S., 2017) досліджено ППП з отворами складної геометрії у вигляді епіциклоїди (рис.1, е). Подібна форма отворів дозволяє нівелювати природньо-технологічні відхилення форм та розмірів компонентів, збільшити кількість прохідної фракції по відношенню до типових форм отворів (круглих, трикутних).

Моделювання динаміки СЗМ проведено за гідроаналогією, отримане підвищення ефективності сепарування на 30-100%.

Використання решетчастих сегрегаторів (рис.1, з), які виконані у вигляді решіток та встановлені перпендикулярно до ППП (Tishchenko L., 2012). За рахунок стискання і розширення шару СЗМ в сегрегаторі відбувається інтенсивна поява пор та поліпшується просіюваність ППП.

Самоочищення отворів ППП реалізується в роботі (Kharchenko S., 2017), де задні крайки отворів виконані подовженими і відігнутими донизу на величину, яка дорівнює ширині прямокутного отвору (рис.1, і). Компоненти СЗМ, товщина яких більша ширини отворів, тільки частково занурюються в них і переміщуються по бокових до задніх крайок. Відігнуті крайки виштовхують подібні компоненти СЗМ з отворів, виключаючи можливість їх заклинювання. Це забезпечує самоочищення отворів та підвищення продуктивності ППП.

Для орієнтування компонентів СЗМ до отворів ППП в (Kharchenko S., 2017) запропоновано використовувати пазові активатори (рис.1, к). Для цього на крайках

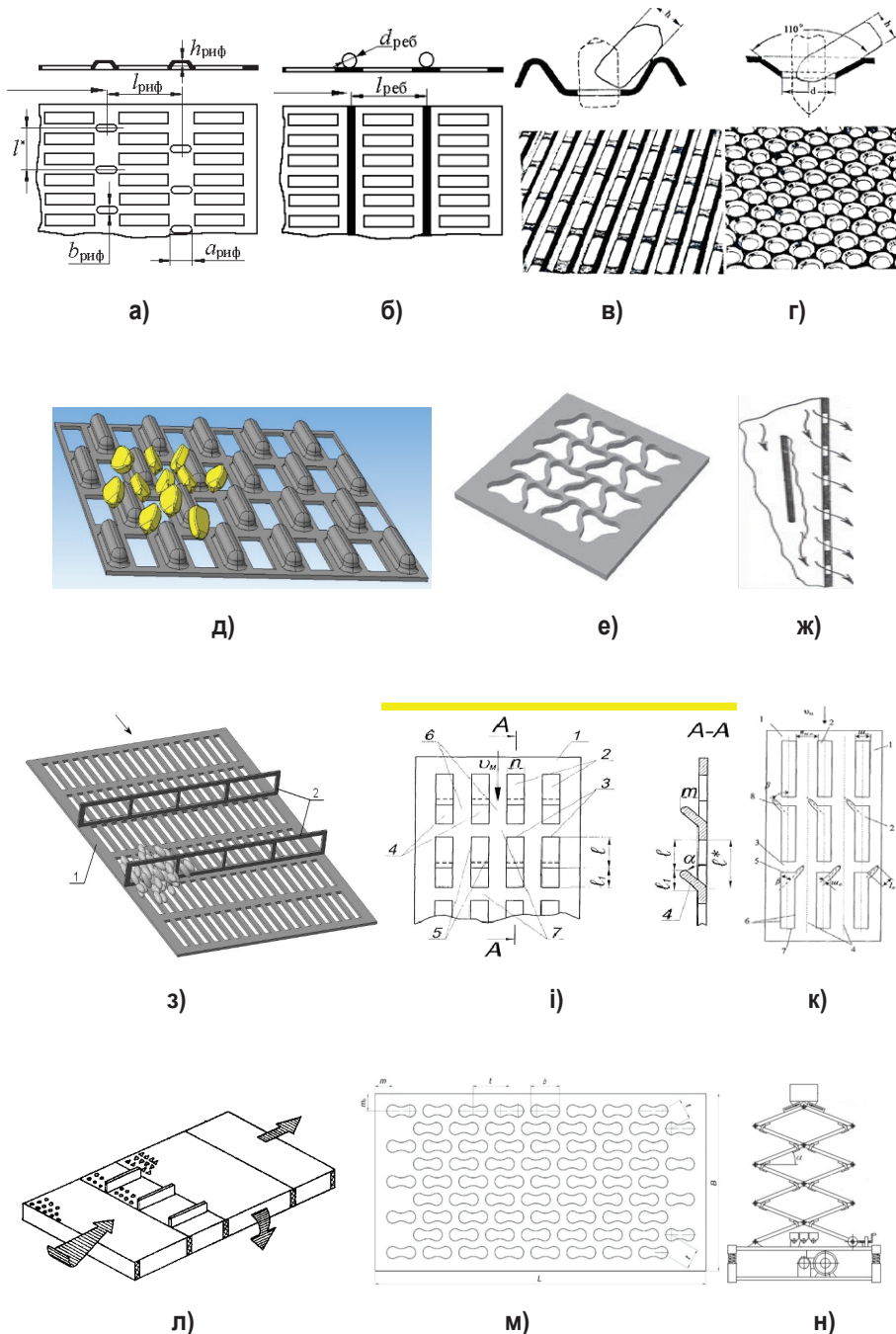


Рис. 1. Конструкції ППП: а – з рифлями; б – з привареними ребрами; в – гофровані поверхні; г – з лункоподібними круглими отворами; д – з направляючим конусом на циліндричній ППП; е – з епіциклоїдними отворами; ж – з об'ємними активаторами; з – з решетчастими сегрегаторами; і – з інтегрованими крайками отворів; к – з пазовими активаторами; л – з планками; м – з отворами у вигляді овалу Кассіні; н – з ножичним розташуванням

отворів виконуються профільні надрізи, які направляють компоненти (що рухаються по перемичках) в отвори.

Для стабілізації шару СЗМ, усунення перемішування компонентів (Melnikov E., 1984) запропонована ППП зі встановленими паралельними планками (рис.1, л). Планки мають довжину, що дорівнює довжині ділянки стабілізації, а висоту, що в 2,0-2,5 рази перевищує розмір отворів ППП.

Для підвищення ефективності просіювання СЗМ кукурудзи (Тікунов S., 2022) запропоновано використовувати

ППП з отворами у вигляді овалу Кассіні (рис.1, м). Авторами запропоновано комбінування форми отвору та об'ємну структуру ППП: плоскі, рифлені та увігнуті. При цьому також варіювалося розташування отворів на ППП: шахове, рядне, ялинкове та здвоєне ялинкове.

Підвищення продуктивності сепараційного обладнання також можна отримати шляхом компактного ножичного розміщення ППП секціях-важелях (рис.1, н) (Olhovskii V., 2021). Авторами отримані раціональні параметри і режими роботи механізму приводу

сепаратора, для забезпечення коливань ППП та кулькових очисників.

Одним із напрямів удосконалення конструкцій решіт є заміна перемичок між отворами на струни (Vasylkovski O., 2022). Це веде до значного збільшення "живого перерізу" та в деяких випадках призводить до підвищення продуктивності поділу компонентів СЗМ. Переважно дослідниками використовується кругла поперечна форма перерізу струн, що також позитивно відображається на орієнтуванні компонентів до утворених сепарувальних щілин. Мінімальний контакт округлих струн з компонентами утворює менші сили тертя та поліпшує динаміку СЗМ.

Струнні ППП порівняно з штапованими мають більший робочий (живий) перетин але значно поступається в якості поділу компонентів, складній конструкції, необхідності постійного налаштування (натягування).

Таким чином, використання додаткових елементів у вигляді розпушувачів, сегрегорів, активаторів та ін. на ППП веде до інтенсифікації внутрішньощарових процесів, збільшенню пористості, орієнтуванню компонентів до отворів, що в кінцевому результаті поліпшує ефективність сепарування СЗМ. Однак більшість наявних конструкцій мають складну конструкцію, вузьке призначення, недостатню ефективність на засмічених та вологих СЗМ, потребують додаткового сервісу та налаштування.

Таким чином, проведений аналіз дозволив систематизувати та класифікувати конструкції ППП з урахуванням інноваційних способів підвищення ефективності процесів сепарування СЗМ (рис. 2).

Основними відмінними ознаками стали: за способом виготовлення, за розташуванням робочої поверхні, за рухомістю робочої поверхні, за використанням додаткових елементів, за формою отворів, за формою робочої поверхні, за розташуванням отворів, за технологічною операцією, за розміром отворів, за матеріалом з якого їх виготовлено.

Підвищення ефективності сепарації СЗМ на ППП реалізується за рахунок інтенсифікації проходження компонентів проходової фракції з верхніх шарів до сепарувальної поверхні. Запропонований спосіб включає: рівномірну подачу вихідного СЗМ по ширині ППП, переміщення його вздовж ППП з просіюванням компонентів проходової фракції через його отвори та надходження у приймачі продуктів розділення. Під час переміщення по ППП СЗМ примусово розшаровують в залежності від розміру компонентів з одночасним перерозподілом крупних компонентів до верхнього шару, середніх за розміром компонентів у проміжні шари, а дрібних компонентів у нижній над сепарувальною поверхнею шар за рахунок об'ємних елементів-рифлів, які розташовані на перемичках між отворами решета і виконані різної висоти.

На перемичках ППП між отворами розташовують об'ємні рифлі (виступи) які мають дві різні висоти, що дозволяє виконувати поділ СЗМ на три фракції за розмірними групами компонентів вихідного матеріалу. Крупні компоненти відокремлюються і переміщуються по високим рифлях у верхньому шарі СЗМ, а меншого розміру компоненти – перерозподіляються і переміщуються безпосередньо по сепарувальній поверхні. В кожному рядковій отворі ППП, чергування висоти рифлів однакове,

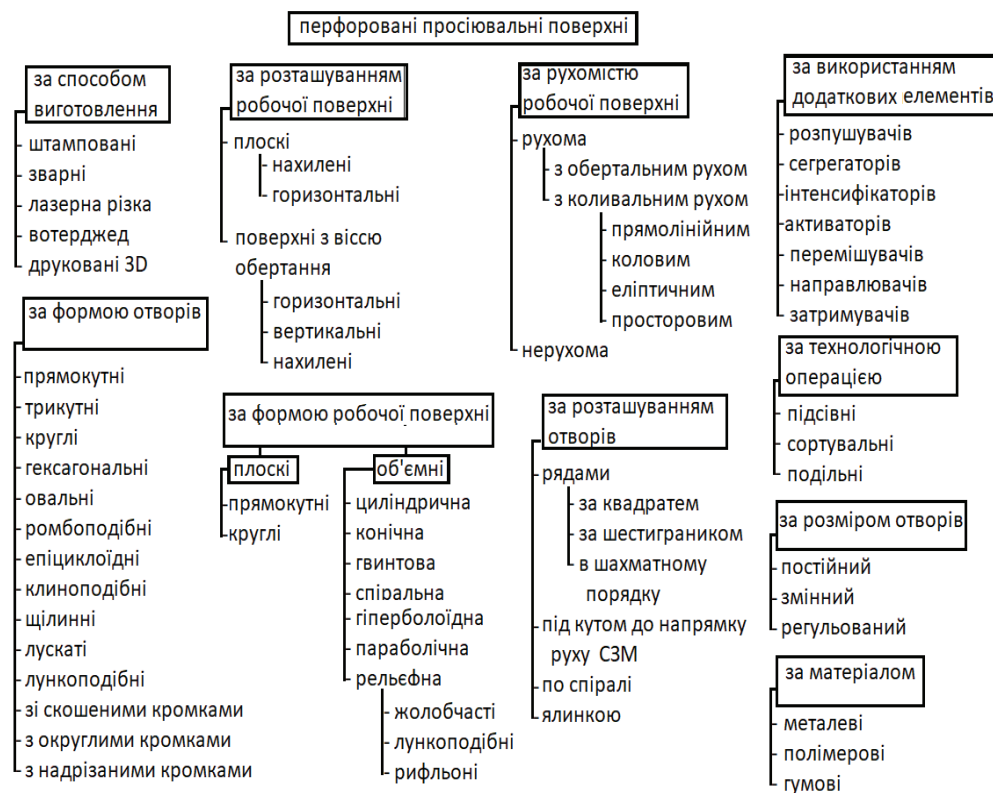


Рис. 2. Класифікація конструкцій ППП

а між рядами отворів воно зміщене, що забезпечує як постійний процес розшарування компонентів СЗМ, так і переміщення відсортованих фракцій окремими шарами.

Запропонована ППП з об'ємною структурою встановлюється в решітний стан і не потребує змін в конструкції сепараторів. Утворений перерозподіл сприяє відведенню з зони сепарування (простір біля ППП) крупні компоненти СЗМ, тим самим, звільняючи дрібним компонентам шлях до отворів, через які вони просіваються. Крупні компоненти СЗМ рухаються по верхніх рифлях до сходової фракції.

Аналіз досліджень показав відсутність теоретичного визначення динамічних показників СЗМ при русі по ППП з об'ємною рифленою структурою. Таким чином є необхідність проведення відповідного моделювання, експериментальних досліджень та визначення раціональних параметрів за критеріями технологічної ефективності (продуктивність та якість сепарування СЗМ) та надійність ППП.

Висновки

1. Проведений системний аналіз досліджень, конструкцій та способів підвищення ефективності систем очищення отворів перфорованих просіювальних поверхонь від компонентів сипких матеріалів дозволив визначити значущі фактори та умови розблокування отворів.

2. Результатом аналізу стала класифікація систем очищення отворів та робочих елементів для їх реалізації, що дозволить розробляти та удосконалювати очисники для різних типів перфорованих просіювальних поверхонь сепарувальних машин.

3. Аналізом досліджень процесу решітного сепарування СЗМ встановлено, що перспективним напрямом підвищення його ефективності є відділення крупних компонентів сипких матеріалів з робочої зони за рахунок застосування ППП з об'ємною структурою.

Бібліографічні посилання:

1. Abdueva, F.M. (2010). Obhruntuvannia parametriv protsesu i rozrobka reshit dla vibroidtsentrovoho separuvannia nasinnia kukurudzy [Substantiation of process parameters and development of sieves for vibrating centrifugal separation of corn seeds]: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / Khark. nats. tekhn. un-t sil. hosp-va im. P.Vasylenka. Kharkiv. 20 p. (in Ukrainian).
2. Adamchuk, V.V., Prilutsky, A.N. (2018). Theoretical studies of the effect of vibrational motion of gratings on the efficiency of separation of seed mixtures. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. (51). 28-34.
3. Akhmadiev, F.G., Gizzajator R.F. (2013). Separation Processes of Granular Materials by Sizes at the Sieve Classifiers. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. 7. 56-63.
4. Aliiev, E.B. (2019). Fyzyko-matematychni modeli protsesiv pretsyziinoi separatsii nasinnievoho materialu soniashnyku [Physical and mathematical models of processes of precision separation of sunflower seed material]: monohrafiia. Zaporizhzhia: STATUS. 196 p. (in Ukrainian).
5. Bakum, M.V., Krekot, M.M. (2019). Vplyv kryvyzny resheta na efektyvnist sortuvannia nasinnia soniashnyka [Effect of sieve curvature on the efficiency of sunflower seed sorting]. *Visnyk KhNTUSH*. 198 (3). 6-11. (in Ukrainian).
6. Bredykhin, V., Shchur, T., Kis-Korkishchenko, L., Denisenko, S., Ivashchenko, S., Marczuk, A., Dzhidzhora, O., Kubon, M. (2024). Determination of Ways of Improving the Process of Separation of Seed Materials on the Working Surface of the Pneumatic Sorting Table. *Agricultural Engineering*. 28(1). 51-70.
7. Bredykhin, V.V. (2003). Obhruntuvannia parametriv protsesu vibropnevmo-vidtsentrovoho podilu nasinnievoykh sumishei za hustynoiu nasinnia [Adjustment of the parameters of the process of vibro-pneumatic centrifugal separation of seed mixtures by seed density]: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11/ Kharkiv: KhHTUSKh. 248. (in Ukrainian).
8. Kharchenko, S. (2017). Intensification of grain sifting on flat sieves of vibration grain separators: monograph. Kharkiv: Dissa Plus. 217 p. ISBN 978-617-7384-81.
9. Kharchenko, S., Samborski, S., Kharchenko, F., Kotliarevskiy, I. (2024). Determination of Hole Blocking Conditions for Perforated Sifting Surfaces. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 18(5). 342-360. 10.12913/22998624/190483.52.
10. Kiurchev, S.V. (2019). Mekhaniko-tekhnolohichne obhruntuvannia pisliazbyralnoi obrobky ta zberihannia nasinnia zernovykh i oliinykh kultur [Mechanical and technological substantiation of post-harvest processing and storage of seeds of cereals and oilseeds]: dys.... doktora tekhn. nauk: 05.05.11/ Nats. naukovyi tsentr «IMESH» NAAN Ukraine. Hlevakha. 372. (in Ukrainian).
11. Kobets, A.S., Chursinov, Yu.O., Chernykh, S.A., Sabadash, M.P., Hrekova, N.V., Kanunnikov, V.P. (2013). Mashyny i obladnannia dlia zberihannia ta kompleksnoi obrobky zerna [Machinery and equipment for grain storage and processing]. Dnipropetrovsk: DDAU. 766 p. (in Ukrainian).
12. Kotov, B. I., Stepanenko, S. P., Pastushenko, M. H. (2004). Doslidzhennia shliakhiv pidvyshchennia efektyvnosti vibroreshitnykh separatoriv zerna i nasinnia [Investigation of ways to improve the efficiency of vibrating sieve separators for grain and seeds]. *Vybratsyy v tekhnike y tekhnolohiyakh*. №3 (35). 61–63. (in Ukrainian).
13. Kotov, B.I., Kalinichenko, R.A., Stepanenko, S.P., Shvydia, V.O., Lisetskyi V.O. (2017). Modeliuvannia tekhnolohichnykh protsesiv v typovykh ob'ektyakh pisliazbyralnoi obrobky i zberihannia zerna (separatsiia, sushinnia, aktyvne ventyliuvannia, okholodzhennia) [Modelling of technological processes in typical facilities for post-harvest handling and storage of grain (separation, drying, active ventilation, cooling)]: monohrafiia. Nizhyn. 552.
14. Kotov, B.I., Pastushenko, M.H., Stepanenko, S.P. (2012). Doslidzhennia efektyvnosti vibroidtsentrovoy separatsii zerna na stupinchasto-konichnomu resheti metodom planuvannia eksperymentiv [Investigation of the efficiency of vibration centrifugal grain separation on a step-conical sieve by the method of experimental design]. *Konstruiuvannia, ekspluatatsiia ta vyrobnytstvo silskohospodarskykh mashyn*. 42 (2). 70-75. (in Ukrainian).

15. McGlinchey, D. (2005). *Characterisation of Bulk Solids*. (1st ed.) Blackwell Publishing Ltd. 10.1002/9781444305456.
16. Melnykov, E.M., Sokol, E.N., Brossalyn S.N. (1984). Patent 1121057 USSR, MKI B07B 1/30. Syto dlia ochyshchennia zerna vid domishok [Sieve for cleaning grain from impurities]/ 3609681/29-03; zaiavl. 11.05.83; opubl. 30.10.84, Biul. №40.
17. Mykhailov, Ye., Golebiewski, J., Kiurchev, S., Hutsol, T., Kolodii, O., Nurek, T., Glowacki, Sz., Zadosna, N., Verkholantseva, V., Palianychka, N., Kucher, O. (2020). Economic and technical efficiency of sunflower seed processing. Monograph. Warszawa. 158.
18. Mykhailov, Ye.V. (2012). Pisliazbyralna obrobka zerna u hospodarstvakh pivdnia Ukrainy [Post-harvest grain handling in southern Ukraine]: monohrafiia. Melitopol: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Liuks", 2012. 260. (in Ukrainian).
19. Olkhovskiy, V.O., Dudarev, I.M. (2021). Modeliuvannia rukhu konstruktyvnykh elementiv zernovoho separatora nozhychnogo typu [Modelling the movement of structural elements of a scissor-type grain separator]. *Agricultural machines*. 46. 70-84. 10.36910/acm.vi46.494.
20. Olshanskyi, V.P., Bredykhin, V.V., Luk'ianenko, V.M., Piven, M.V., Slipchenko, M.V., Kharchenko, S.O. (2017). Teoriia separuvannia zerna [Grain separation theory]. Kharkiv. 802 p. (in Ukrainian).
21. Piven, M.V. (2017). Efficiency of separation of grain mixtures by flat vibrating sieves with openers. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*. 2(8). 38-44.
22. Pruteanu, A., Nicoleta, U., Valentin, V., Mihai, M., Nitu, M. (2023). Contributions to the Optimization of the Medicinal Plant Sorting Process into Size Classes. *Agriculture*. 13. 645. 10.3390/agriculture13030645.
23. Sheichenko, V., Petrachenko, D., Koropchenko, S., Rogovskii, I., Gorbenco, O., Volianskyi, M., Sheichenko, D. (2024). Substantiating the rational parameters and operation modes for the hemp seed centrifugal dehuller. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 128.Issue 1. 34. 10.15587/1729-4061.2024.300174.
24. Stepanenko, S.P., Kotov, B.I. (2019). Theoretical research of separation process grain mixtures. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Vol. 10, no 4, 137-143.
25. Tikunov, S.R., Bredykhin, V.V., Smetankina, N.V. (2022). Klasyfikatsiia reshit z otvoramy u formi ovalu kassini [Classification of sieves with cassini oval holes]. *REICST*. 110–113.
26. Tishchenko L.M., Olshanskyi S. V. (2010). Hidrodynamika separuvannia zerna [Hydrodynamics of grain separation]. Kharkiv: Miskdruk. 174. (in Ukrainian).
27. Tishchenko L.M., Olshanskyi V.P., Karnadut R. (2012). Do razrakhunku propusknoi zdatnosti reshichastykh sehrehatoriv reshet. [Towards the calculation of the throughput capacity of lattice segregators of grids]. *Tekhniko-tehnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnologii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy: Zbirnyk nauk. pr. / DNU «Ukrainskyi nauk.-dosl. in-t prohnozuvannia ta vyprobuvannia tekhniki i tekhnologii dlia s.-h. vyrobnytstva im. Leonida Pohoriloho». Doslidnytske*. 16 (30). 427 – 437.
28. Tishchenko, L.N. (2004). Intensyfikatsiia separuvannia zerna [Intensification of grain separation]. Kharkiv: Osnova, 2004. 224 p. (in Ukrainian).
29. Tsurkan, O.V. (2020). Vibromekhanichna intensyfikatsiia sushinnia nasinnia bashtannykh kultur u protsesi pisliazbyralnoi obrobky [Vibromechanical intensification of drying of melon seeds in the process of post-harvest processing]: dys. ... doktora tekhn. nauk: 05.05.11/ Hlevakha. 499. (in Ukrainian).
30. Tyschenko, L.N., Mazorenko, D.Y., Pyven, M.V., Kharchenko S.O. (2010). Modelyrovanye protsessov zernovykh separatorov [Modelling of grain separator processes]: monohrafiia. Kharkov: Miskdruk. 360. (in Ukrainian).
31. Vasylovskiy O.M., Leshchenko S.M., Petrenko D.I., Moroz S.M., Nesterenko O.V. (2022). Poperedni doslidzhennia pasyvnogo strunnoho resheta [Preliminary studies of the passive string sieve]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*. 52. 73-80. 10.32515/2414-3820.2022.52.73-80.
32. Vasylovskiy, O., Vasylovskaya, K., Moroz, S., Sviren, M., Storozhyk, L. (2019). The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 57(1). 63-70.
33. Zaika, P.M. (2006). Teoriia silskohospodarskykh mashyn. Ochystka i sortuvannia nasinnia [Theory of agricultural machinery. Seed cleaning and sorting]. Kharkiv: Oko. Tom.3, rozdil 7. 407 p. (in Ukrainian).
34. Zavhorodnii, O.I. (1992). Ochystka reshet v zernoochysnykh mashynakh [Cleaning sieves in grain cleaning machines]: monohrafiia. K.: Yzd-vo USKhA. 180. ISBN 5-7987-0291-Kh. (in Ukrainian).

Kharchenko S. O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Kharchenko F. M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Stelmakh A. M., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pogulyai V. M., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Mayorov O. V., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Guz O. I., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Analysis of perforated sifting surfaces of separation equipment and prospects for their development

One of the main working bodies of separation equipment is perforated sifting surfaces, which operate with vibration and separate the components of loose grain materials by size. The significant influence of the parameters of the sifting surfaces on the efficiency of the loose material separation process makes them crucial in relation to the technological performance and quality of the separation equipment. Replacing perforated sifting surfaces does not require significant changes in the design of separation equipment. Despite the significant impact, today there are a number of classifications based on design features that make it difficult to understand the prospects and innovations in relation to the intensification of the process of

separating loose grain materials. In addition, there is a constant development and emergence of new designs, manufacturing methods and improvements of perforated sifting surfaces.

The aim of the work was to generalise and develop a classification of perforated sifting surfaces of separation equipment, which will allow determining the prospects for intensifying the process of separation of loose grain materials. As a result of the analysis of existing studies, the following distinctive features of perforated sifting surfaces have been identified: by the method of manufacture, by the location of the working surface, by the mobility of the working surface, by the use of additional elements, by the shape of the holes, by the shape of the working surface, by the location of the holes, by the technological operation, by the size of the holes, by the material from which they are made. A classification of perforated sifting surfaces according to these features with a detailed division into subclasses is proposed. The technical implementation of a promising method for intensive loosening of a layer of loose grain material by using a perforated sifting surface with a volumetric corrugated structure is proposed. The factors that influence the efficiency of the process of separation of bulk grain materials have been determined. The obtained results make it possible to find possible improvements in the design of sifting surfaces and intensify the processes of separation of loose grain materials on separation equipment.

Key words: *perforated sifting surface, separation, loose material, classification, promising methods, volumetric structure, riffles.*