

АНАЛІЗ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ОТВОРІВ ПЕРФОРОВАНИХ ПРОСІЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ СЕПАРУВАЛЬНИХ МАШИН

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

Котляревський Ігор Вікторович

студент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0009-0009-0027-0231
iamigorkot@gmail.com

Панкова Оксана Володимирівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-2866-1858
pankova_oksana@ukr.net

Продуктивність та якість роботи сепарувальних решетних машин при поділі компонентів сипких матеріалів залежить від ефективності роботи системи очищення отворів. Блокування отворів відбувається за рахунок подібності їх розмірів з розмірами компонентів сипких матеріалів. При цьому у разі наявності заблокованих отворів відбувається зменшення площі просіювання перфорованих поверхонь та зниження продуктивності сепарувальних машин. Сучасні вимоги виробництва та поява нових науково-технічних розробок, таких як решета з отворами складної геометрії, утворили необхідність підвищення ефективності систем очищення. Розробка нових та удосконалення систем очищення не можлива без проведення аналізу існуючого стану та визначення перспективних напрямків удосконалення. Для цього проведено системний аналіз конструкцій та способів підвищення ефективності систем очищення з визначенням рівня перспективності. Визначені умови та критерії ефективності систем очищення, параметри їх робочих елементів. Проведеним аналізом досліджень, з урахуванням сучасних потреб виробників, встановлені вимоги щодо систем очищення решетних вібросепараторів: безперервне в часі та інтенсивне очищення отворів решет від компонентів сипких матеріалів, що забезпечує мінімальне відхилення ефективної площі просіювання від базового; надійність очисних робочих елементів систем очищення повинна базуватися на максимальній довговічності та мінімальному зношенні; мінімізація впливу зовнішніх умов на технологічну ефективність систем очищення; мінімізація негативного впливу на процеси сепарування та надійність елементів сепарувальних машин; мінімізація рівня травмування компонентів сипких матеріалів та засмічення кінцевих продуктів сепарування. Основними ознаками поділу систем очищення є: за характером впливу на компоненти сипких матеріалів з використанням робочих елементів, самоочищення отворів просіювальних поверхонь, з використанням спеціальних пристроїв; за типом робочих елементів фрикційної та ударної дії; за типом приводу з кривошипно-шатунним, ланцюговим, безприводним та з гнучким зв'язком. Перспективними за комплексом показників, для подальшого дослідження обрані системи очищення з робочими елементами ударної дії та вільним рухом – кулькового типу. Результатом роботи стала узагальнена класифікація систем очищення отворів перфорованих просіювальних поверхонь сепарувальних машин, яка дозволить визначити шляхи для подальших удосконалень та розробляти нові робочі очисні елементи.

Ключові слова: *очистка отворів, просіювальна поверхня, робочий елемент, компонент, сипкий матеріал, класифікація, ефективність.*

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.7>

Вступ. Виробництво та експорт зерна утворюють продовольчу безпеку, потребує розробки відповідних науково-технічних заходів щодо підвищення ефективності операцій післязбиральної обробки зерна. Складні умови збирання, очищення, сушіння та обробітку зерна

супроводжуються стислими агростроками та недостатніми показниками продуктивності та якості, надійності обладнання, високими енергоємностями та травмуванням зерна.

Використання поширених решетних сепарувальних машин передбачає наявність вібрації, що забезпечує

високі питомі продуктивності сепарування частинок сипких матеріалів (СМ), зниження енерговитрат у 1,5-2 рази, отримання необхідної якості продовольчого зерна або насіннєвого матеріалу (Liu KeShun, 2009; Pruteanu A., 2023; Zavhorodnii O., 2001).

Проте, поява нових технічних рішень щодо перфорованих просіювальних поверхонь (ППП) з отворами складної геометрії та інтенсифікаторами (Kharchenko S., 2017; Tishchenko L., 2016; Kharchenko S., 2019), удосконаленню попередньої обробки матеріалу (Borshch Yu., 2016; Bakum M., 2022; Priporov I., 2021), кінцевого поділу компонентів зернового матеріалу на пневмостолах (Bredykhin V., 2023; Bredykhin V., 2024) свідчить про наявний потенціал решетних сепарувальних машин. Крім того, зношена матеріально-технічна база господарств та складні умови виробництва зерна вимагають підвищення продуктивності та якості решетних сепараторів.

Аналіз досліджень з підвищення ефективності роботи сепарувальних решетних машин для поділу СМ за розмірами довів, що подібне обладнання не завжди відповідає сучасним вимогам виробництва відносно продуктивності та якості процесу сепарування, має невисоку надійність вузлів та деталей, обумовлену в тому числі вібрацією, має неефективну систему очищення отворів (Zavhorodnii O., 1998; Diundyk S., 2000). Неякісне та несвоєчасне очищення отворів, поряд з інтенсивним зношенням очисників зменшують продуктивність та збільшують експлуатаційні витрати сепарувального обладнання (Datsyshyn O. V., 2008).

Мета роботи: на підставі аналізу відомих досліджень, конструкцій та способів очистки отворів перфорованих просіювальних поверхонь сепарувальних машин розробити класифікацію систем очищення з визначенням рівня перспективності.

Завдання дослідження: виконати системний аналіз досліджень, конструкцій систем очищення та їх робочих елементів, способів підвищення ефективності роботи з встановленням переваг та недоліків, розробити загальну класифікацію систем очищення отворів.

Виклад основного матеріалу. Для поділу компонентів сипких матеріалів (СМ) за розмірами використовують перфоровані просіювальні поверхні (ППП). Процес сепарування СМ на ППП супроводжується заклинюванням компонентів в отворах, що викликає блокування остатніх та виключає просіювання (Akhmadiev F., 2013; K. Liu, 2019). Це явище призводить до зменшення "живого" або технологічного перерізу ППП і зниження просіюваності (Olshanskyi V., 2017). За відсутності спеціальних пристроїв відбувається інтенсивне блокування отворів, що призводить до зниження якості сепарування СМ. Крім того, процес очищення отворів ППП від компонентів матеріалу повинен відбуватися безперервно в процесі роботи сепарувальної машини. Тому можливість тривалого й безперебійного функціонування робочих органів сепарувальних машин знаходиться у прямій залежності від очистки отворів решіт.

На процес блокування отворів ППП впливає форма просіяних компонентів та співвідношення

розмірів: просіяного компоненту та розміру отворів (Zavhorodnii O., 2001).

СМ складається з компонентів крупних за розміром (сходова фракція) та компонентів з менших за розміром (проходова фракція). Наявність вібрації (сили інерції) та дія сили тяжіння на компоненти СМ призводить до заклинювання переважно компонентів сходової фракції, які крупніші за розміром (Olshanskyi V., 2017). Умова рівноваги компоненту, який контактує з отвором решета складається з рівності моментів сил інерції та ваги частинки відносно кромки отвору.

Параметри вібрації позитивно впливають не тільки на процес сегрегації (Piven M., 2015; Piven M., 2017) та просіювання (Kharchenko S., 2017), але й можуть забезпечити самоочищення за певних умов (Bondarenko L., 2010). Проте, неможливо забезпечити повне очищення отворів за рахунок виключно вібраційного режиму, що передує з оптимізації значень амплітуди та частоти коливань відносно сегрегації та сепаруванні компонентів (Zavhorodnii O., 2001; Bondarenko L., 2010).

Напрямок коливань (прямолінійний, за колом або еліпсом) також впливає на траєкторії руху компонентів при їх просіюванні. Роботу решета зі зворотньо-поступальними коливаннями та при відсутності очищення досліджено в (Faibushevych H., 1967), де доведено інтенсивне підвищення блокування отворів та падіння якості поділу компонентів.

Розблокування отворів решета, яке здійснює колові коливання в горизонтальній площині, може відбуватися при відповідних значеннях сил та прискорень робочого органу (Olshanskyi V., 2017).

Вібрація змушує компоненти СМ рухатися по ППП з періодичним відривом. Крім того, умовами його блокування стануть співвідношення величин сили тяжіння, силою зчеплення з кромками отвору решета та сили від очищувача.

Просторові коливання ППП досліджено в (Zaika P., 1969), де доведено позитивний вплив напрямку та параметрів коливань на інтенсивність розблокування отворів. Низька якість сепарування компонентів спостерігалася при малих значеннях кінематичних параметрів решіт. Також встановлена невідповідність кінематичних параметрів відносно ефективності сепарування матеріалів та очищення заблокованих отворів.

Для сепарування СМ використовують різні типи ППП в залежності від (Datsyshyn O., 2008; Zaika P., 2006): форми (плоскі, циліндричні, параболоїдні, конічні та ін.), типу приводу (ротаційні, вібровідцентрові, планетарні та ін.), типу ППП (пробивне, струнне, пруткове, спіральне та ін.), типу отворів (круглі, прямокутні, трикутні, епіциклоїдні та ін.).

Поява заблокованих отворів на решеті викликає зменшення робочої просіювальної площі, що потребує відповідного позначення. Для опису зміни відсотку робочої площі решета використовують термін «живого» перетину (Zaika P., 2006). Вплив параметрів системи очищення на зміну «живого перетину» ППП в часі досліджено в (Zaika P., 1969; Denysova N., 2022), де встановлено раціональний режим очищення.

Умови блокування отворів передбачають вплив двох тіл, які контактують між собою: кромка отвору решета та компонент СМ. Очевидно, що параметри отворів також є значущими. Збільшення товщини ППП ускладнює умови розблокування отворів. Проте слід відмітити, що товщина решета також визначає показники надійності у вигляді внутрішніх напружень (Kharchenko S., 2022) та власні частоти коливання (Kharchenko S., 2023).

При контактуванні компонентів СМ з кромками отворів відбувається їх деформація (Prusiazhniuk M., 2013; Derevianko D., 2012), яка викликана динамічними та статичними силами.

Особливості технологічного процесу, наприклад, калібрування насінневого матеріалу, передбачають багаторазовий пропуск його через решетні сепаратори. В подібному випадку відбувається утруднення умов та збільшення вірогідності блокування отворів (Zaika P., 2006).

Забезпечення ефективного розблокування отворів повинно відбуватися безперервно, що вимагає відповідної надійності елементів системи очищення (Zavhorodnii O., 2001). Зношення робочих елементів (РЕ) систем очищення (наприклад, еластичних або щіткових очисників) відбувається в наслідок контакту з кромками отворів та постійних навантажень. Зміна властивостей очисників (зменшення маси, розмірів і т.п.), яка відбувається внаслідок зношування, впливає на ефективність розблокування отворів та зміну «живого» перетину ППП. Довговічність очисників системи очищення відображається не тільки витратах заміни РЕ, але й на збільшенні часу на сервіс та обслуговування сепарувального обладнання, та, відповідно, зменшення часу експлуатації (коефіцієнт використання часу зміни).

Проведений аналіз доводить значущість: параметрів вібрації (амплітуда та частота коливань, напрям руху) та типу решіт решета, параметрів отворів та властивостей СМ. Також, очевидним та необхідним явищем ефективною роботи сепарувального обладнання є безперервне очищення заблокованих отворів решета при достатній надійності РЕ системи очищення.

Проведеним аналізом досліджень, з урахуванням сучасних потреб виробників, встановлені вимоги щодо систем очищення решетних вібросепараторів:

1) безперервне в часі та інтенсивне очищення отворів ППП від компонентів СМ, що забезпечує мінімальне відхилення ефективної площі просіювання від базового;

2) Надійність очисних РЕ систем очищення повинна базуватися на максимальній довговічності та мінімальному зношенні;

3) Мінімізація впливу зовнішніх умов (температура, вологість повітря і т.п.) на технологічну ефективність систем очищення;

3) Мінімізація негативного впливу на процеси сепарування СМ та надійність елементів сепарувальних машин (наприклад, перфорованих поверхонь);

4) мінімізація рівня травмування компонентів СМ та засмічення кінцевих продуктів сепарування.

Принцип дії розблокування отворів заснований на встановленні фрикційних та ударних контактів очисників з ППП та передачі кінетичної енергії до компоненту СМ, який заклинив.

Наявність великої різноманітності способів та засобів очищення ППП зерноочисних машин можна пояснити такими причинами: великою відмінністю фізико-механічних властивостей частинок СМ, що піддаються розподілу; слабкою вивченістю процесу вилучення застряглих компонентів СМ з отворів ППП; недостатньою вивченістю механіки різних засобів очищення; що найчастіше, не дозволяє дати певних рекомендацій до їх вибору, розрахунку та проектування.

Основні ознаки, за якими можна згрупувати системи очищення отворів ПП та їх РЕ в особні класи, становлять (Zavhorodnii O., 2001; Datsyshyn O., 2008; K. Liu, 2019; Bondarenko L., 2010): характер впливу РЕ системи очищення на компоненти СМ; тип РЕ системи очищення; тип кінематичного приводу РЕ системи очищення.

Вибір способу очищення заблокованих отворів залежить від параметрів сепарувальної машини, конструктивно-кінематичних його ППП, властивостей СМ, вимог щодо якості кінцевих продуктів сепарування.

За характером впливу РЕ на компоненти СМ, які заклинили в отворах ППП, необхідно виділити наступні способи розблокування:

1. Використанням очисних РЕ: а) фрикційної дії, які постійно контактують з ППП; б) ударної дії з примусовим та інерційним (вільним) рухом;

2. Використанням самоочищення отворів: а) з оптимізацією кінематичного режиму ППП; б) з використанням ППП з отворами складної геометрії з полегшеними умовами розблокування; в) за рахунок оптимізації пружних властивостей опор та підвісів ППП.

3. Використання спеціальних пристроїв.

Значна кількість сепарувальних машин обладнана системами очищення з РЕ фрикційної дії (рис. 1): щіткові, роликіві, пластинчасті, комбіновані.

Попри якісне очищення отворів до недоліків щіткових систем очищення можна віднести необхідність контролю та регулювання, низьку довговічність, необхідність механізму приводу їх руху. Необхідність приводу викликає витрати енергії, ускладнює їх конструкцію та кількість сервісних операцій.

Принцип роботи систем очищення з примусовим рухом РЕ полягає у активних періодичних ударах по ППП. При цьому кінетична енергія удару витрачається на роботу пружної деформації ППП, яка викликає його коливання у вертикальній площині і сприяє розклинню компонентів СМ.

До недоліків систем ударної дії з примусовим переміщенням РЕ відносяться: недостатня ефективність очищення отворів, негативний вплив на процеси сегрегації та сепарування, механічні пошкодження та швидке зношування ППП, складність конструкції.

Інша система очищення ударної дії базується на використанні РЕ очисників, які вільно переміщуються у спеціальних комірках відбивних пристроїв (рис. 2).

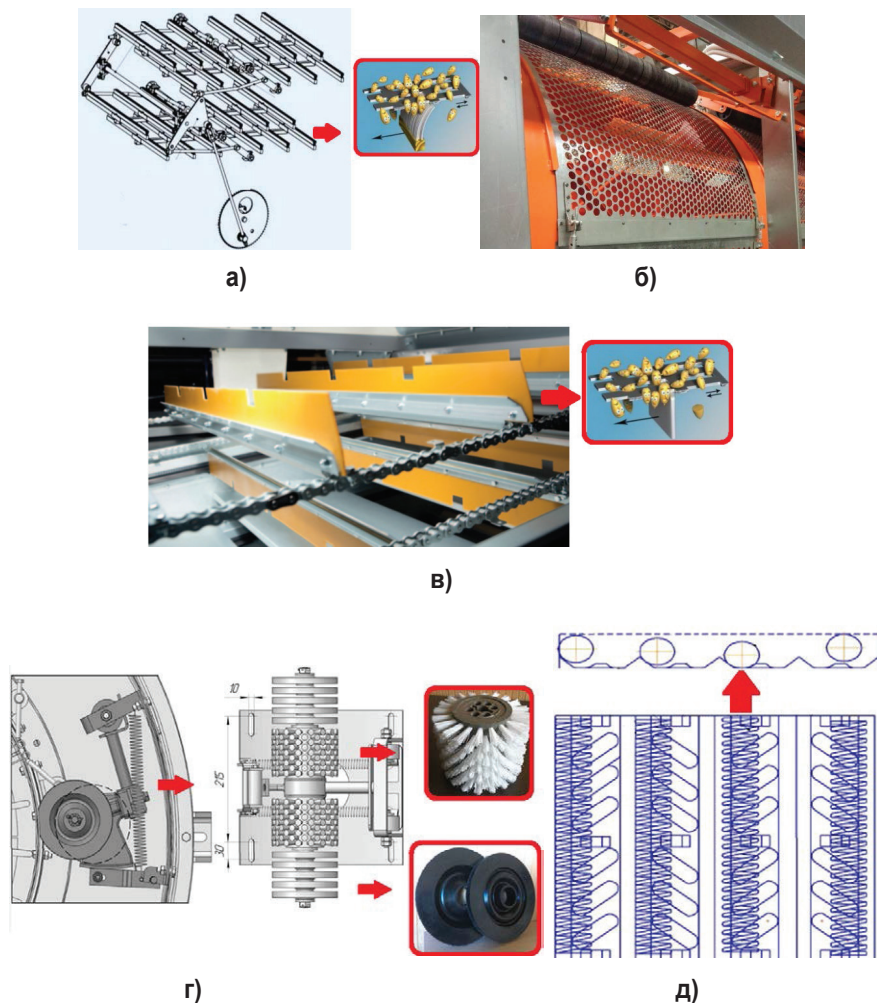


Рис. 1. Системи очищення отворів фрикційної дії: а – з щітковими РЕ; б – з роликowymi РЕ; в – з РЕ у вигляді пластин; г – комбінованого типу; д – з пружинними РЕ

Інерційні РЕ в переважній більшості виготовлені з еластичного матеріалу (гуми, каучук, полімеру, тканини і т.п.) і поділяються в залежності від геометричних форм на: тканинні, ромбові та прямокутні, кулькові, плоскі з напівсферою, трикутні та зіркоподібні. Окрім того, для збільшення ефективності очищення на їх поверхні може бути встановлена щетина (рис. 2, і, л).

Подібні системи з кульками-очисниками використовують у сепарувальних машинах виробництва ПАТ «Хорольський механічний завод» (Україна), Оліс (Україна), «Rotex» (США), Кімбрія (Данія), Buller (Швейцарія).

Пружні РЕ розміщуються під ППП в відбивному пристрої. Ефективність очищення визначається ударами по робочій ППП які залежать від параметрів і кількості пружних очисників, параметрів відбивального пристрою. Пружні РЕ здійснюють періодичний коливальний рух в підрешетному просторі між ППП і піддоном. Пружні РЕ б'ють знизу по компоненту, який застряг в отворі, і виштовхують його вгору. Кінематична енергія ударного пружного РЕ витрачається на роботу подолання сил зчеплення компоненту з кромками отвору ППП.

Динаміка РЕ очисників з вільним рухом носить хаотичний характер, внаслідок впливу багатьох факторів. На відміну від РЕ з визначеною кінематикою визначення

динамічних параметрів даних елементів потребує оцінки лише мірою об'єктивної можливості (ймовірності).

Недоліком даного способу очищення отворів слід вважати наявність неочищених («мертвих») зон, внаслідок наявності перегородок які формують комірки відбивного пристрою (Paolotti D., 2002; Pascoe R., 2015). Це зменшує площу просіювання ППП та знижує продуктивність сепарувальних машин.

Однак очисники ударної дії з інерційним пересуванням мають низку істотних переваг: відсутність приводного механізму; простота конструкції; зменшення габаритів сепарувальної машини; висока довговічність та надійність; полегшений та низьковитратний сервіс під час експлуатації.

РЕ (щіткові, роликіві і пластинчасті) очищують отвори ППП лише за умови безпосереднього контакту з застряглим компонентом. Кулькові РЕ здійснюють комбіноване очищення (контактне та безконтактне).

Таким чином, проведений аналіз доводить: значний вплив систем очищення на процес сепарування СМ; перспективність використання пружних очисників ударного типу з інерційним переміщенням.

Способи самоочищення ППП можна поділити (Zavhorodnii O., 2001; Bondarenko L., 2010; Bondarenko L.,

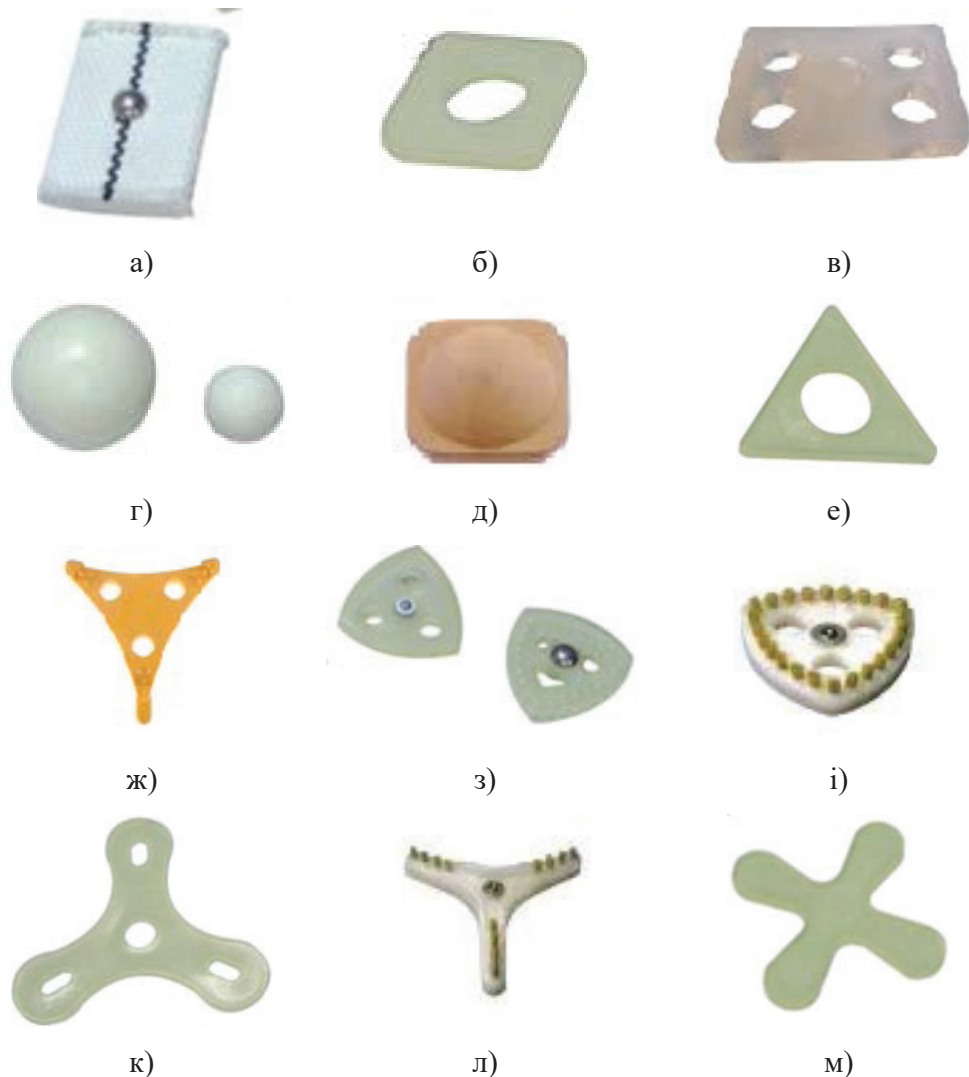


Рис. 2. Очисники з інерційним переміщенням ударних РЕ: а – тканинні (бавовні); б – ромбові; в – прямокутні; г – кулькові; д – плоскі з напівсферою; е, ж, з, і – трикутні звичайні, вгнуті, випуклі, випуклі з щетиною відповідно; к, л, м – зіркоподібні з трьома променями, зі щетиною, чотирипроменеві відповідно

2008; Ławińska K., 2011; Salo V., 2013): за рахунок оптимізації кінематичних параметрів; за конструктивними особливостями.

Відсутність спеціальних очисних пристроїв є гідністю цих сепараторів. Тому при розробці робочих органів зерноочисних машин робилися спроби створення ППП, що самоочищаються.

Серед конструктивних рішень створення просіювальних поверхонь з можливістю самоочищення можна виділити (Zavhorodnii O., 2001; Bondarenko L., 2010; Bondarenko L., 2008; Ławińska K., 2011; Salo V., 2013): колосникові та струнні конструкцій; модульні гребінчасті або роликові, перфоровані з клиноподібними отворами та зі зкошеними кромками, ступінчасті.

Використання спеціальних пристроїв здатне створювати умови для очищення отворів, серед яких можна відмітити пневмофорсунки, генератори електромагнітні або ультразвукові (Ławińska K., 2016) і т.п.

Подібні системи, як правило, застосовують для просіювання дрібнодисперсних СМ, де використання інших типів очисників перешкоджає процесу сепарування компонентів. Принцип дії полягає у передачі імпульсу (коливань, потоку повітря або ультразвукових хвиль) на ППП з заблокованими отворами. Попри зменшення механічного навантаження на раму сепарувальних машин, недоліком даного способу є недостатня продуктивність та якість очищення, необхідність складного обладнання та сервісу.

Таким чином, проведений огляд дозволив розробити класифікацію систем очищення отворів перфорованих просіювальних поверхонь (рис. 3).

Основними напрямками є: за характером впливу на компоненти СМ (використанням РЕ, самоочищення отворів ППП, з використанням спеціальних пристроїв); за типом РЕ (фрикційної та ударної дії); за типом приводу (кривошипно-штановий, ланцюговий, безприводний, з гнучким зв'язком).

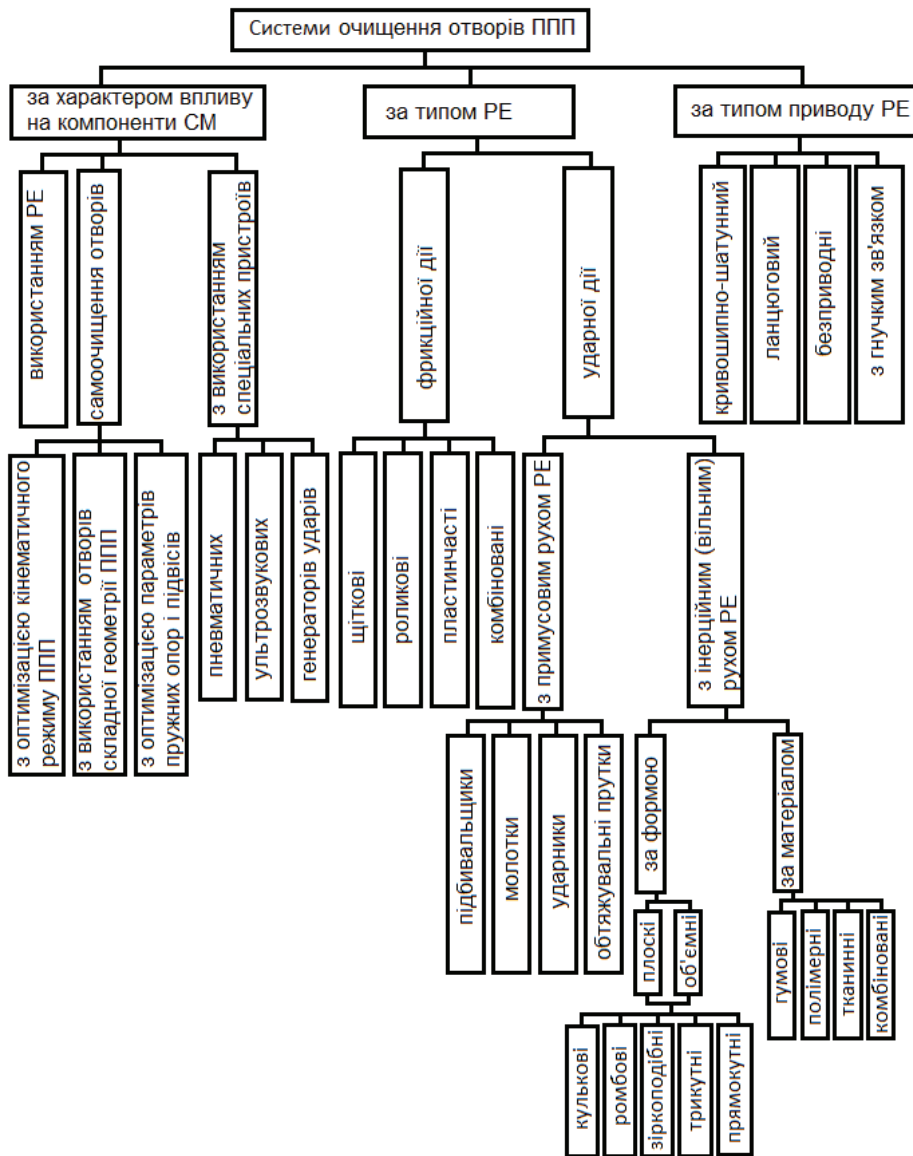


Рис. 3. Класифікація систем очищення ППП

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. Перспективними за комплексом показників, для подальшого дослідження обрані системи очищення з робочими елементами ударної дії та вільним рухом – кулькового типу. Пропри значний потенціал, технологічна ефективність та надійність даного типу очисників потребує подальшого удосконалення.

Бібліографічні посилання:

1. Akhmadiev, F.G., Gizzajatov, R.F. (2013). Separation Processes of Granular Materials by Sizes at the Sieve Classifier. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. № 7. 56-63.
2. Bakum, M., Kharchenko, S., Krekot, M., Kharchenko, F., Shvets, O., Kielbasa, P., Miernik, A. (2022). Identification of parameters of the separation process of safflower seed material on sieves. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2408, 012013.10.1088/1742-6596/2408/1/012013.
3. Bondarenko, L.Iu. (2010). Obgruntuvannia parametriv i rezhyviv roboty ustanovky dlia kalibrivannia nasinnia plodovykh kistochkovykh kultur [Substantiation of parameters and modes of operation of the installation for calibration of seeds of stone fruit crops]. *Dysertatsiia k.t.n. 05.05.11 – mashyny i zasoby mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva, Melitopol*. 210. (in Ukrainian).

4. Bondarenko, L.I., Antonova, H.V. (2008). Analiz prystroiv dlia ochyshchennia ploskykh reshit sortovalnykh i kalibruvalnykh mashyn [Analysis of devices for cleaning flat sieves of sorting and calibration machines]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnohouniversytetu. Vyp. 8, tom 3. Melitopol: TDATU. 159-164. (in Ukrainian).
5. Borshch, Yu.P. (2016). Teoriia pnevmoseparatsii zernovykh sumishei z yoho poperednim rozsharuvanniam [The theory of pneumatic separation of grain mixtures with its preliminary stratification.]. Rozumna ahrotekhnika dlia efektyvnoho zemlerobstva: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konferentsii-forumu. Kharkiv: KhNTUSH. 52 – 55. (in Ukrainian).
6. Bredykhin, V., Bogomolov, A., Slipchenko, V., Kis-Korkishchenko, L., Ivashchenko, S. & Tikunov, T. (2023). Scientific basis of thrifty preparation of seeds with improved biological potential: monograph. Kharkiv: State Biotechnological University. 401.
7. Bredykhin, V., Shchur, T., et al. (2024). Determination of ways of improving the process of separation of seed materials on the working surface of the pneumatic sorting table. Agricultural Engineering. Vol. 28, №1. 51-71.
8. Datsyshyn, O.V. ta in. (2008). Tekhnolohichne obladnannia zernopererobnykh ta oliinykh vyrobnytstv [Technological equipment for grain processing and oilseed production]. Vinnytsia: Nova Knyha. 488. (in Ukrainian).
9. Denysova N.M., Buialska N.P. (2022). Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv [Processes and devices of food production]. Chernihiv: NU "Chernihivska politekhnika". 96. (in Ukrainian).
10. Derevianko, D., Tarasenko, O., Orobinskiy, V. (2012). Vplyv travmuvannia na yakist nasinnia zernovykh kultur [Effect of injury on the quality of grain seeds]: monohrafiia. Zhytomyr: Vyd. TOV Nilak – LTD. 439. (in Ukrainian).
11. Diundyk, S.M., Zavhorodnii, A.I. (2000). Do pytannia optymizatsii parametriv ochysnyka resheta z kombinovanymy robochymy orhanami. Pidvyshchennia nadiinosti vidnovliuemykh detalei mashyn [Optimization of the parameters of a sieve cleaner with combined working bodies. Improving the reliability of remanufactured machine parts]. Visnyk Kharkivskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva. Vyp.4. Kharkiv. 220-223. (in Ukrainian).
12. Faibushevych, H.Z. (1967). Ochystka reshet humovymy kulkamy [Cleaning sieves with rubber balls]. Traktory i silhospmashyny. № 3. 20-21. (in Ukrainian).
13. K. Liu. (2019). Some factors affecting sieving performance and efficiency. Powder Technology. 193. 208– 213.
14. 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.
15. Kharchenko, S., Kharchenko, F., Samborski, S., Paśnik, J., Kovalyshyn, S., Sirovitskiy, K. (2022). Influence of physical and constructive parameters on durability of sieves of grain cleaning machines. Adv. Sci. Technol. Res. J. 16. 156-165.
16. Kharchenko, S., Kovalyshin, S., Zavgorodniy, A. (2019). Effective sifting of flat seeds through sieve. INMATEH Agricultural Engineering. 58. 17-26.
17. Kharchenko, S.; Samborski, S.; Kharchenko, F.; Mitura, A.; Paśnik, J.; Korzec, I. (2023). Identification of the Natural Frequencies of Oscillations of Perforated Vibrosurfaces with Holes of Complex Geometry. Material. № 16. 5735. <https://doi.org/10.3390/ma16175735>.
18. Ławińska, K., Wodziński, P. (2011). Oczyszczanie sit przesiewaczy. Surowce i maszyny budowlane. № 2. 46-50.
19. Ławińska, K., Modrzewski, R. (2016). Metody oczyszczania sit przesiewaczy przemysłowych. [Methods of cleaning industrial screens] Technologia i Jakość Wytrobów. 61. 80-85. [in Polish]
20. Liu, KeShun. (2019). Some factors affecting sieving performance and efficiency. Powder Technology. 193. 208–213. 10.1016/j.powtec.2009.03.027.
21. Olshanskiy V.P. ta in. (2017). Teoriia separuvannia zerna [Grain separation theory]: monohrafiia. Kharkiv: KhNTUSH. 802 c. (in Ukrainian).
22. Piven, M.V. (2015). Efektyvnist separuvannia zernovykh sumishei ploskymy vibroreshetamy z rozrykhliuvachamy [Efficiency of separation of grain mixtures by flat vibrating sieves with rippers]. Inzheneriia pryrodokorystuvannia. Kharkiv. № 2(8). 38–44. (in Ukrainian).
23. Piven, M.V. (2015). Obhrnutvannia protsesu separuvannia zernovykh sumishei ploskymy vibratsiinymy reshetamy [Substantiation of the process of separation of grain mixtures by flat vibrating sieves]. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin. Vol. 17, no. 7. 163–169. (in Ukrainian).
24. Priporov, I.E., Samurganov, E.E., Shepelev, A.B. (2021). Modeling the sunflower seeds separation process in air-sieve grain-cleaning machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1111.
25. 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.
26. Prysiashniuk, M.V. ta in. (2013). Teoriia vibratsiinnykh mashyn silskohospodarskoho vyrobnytstva [Theory of vibration machines of agricultural production]. K: Ahrar.nauka. 439. (in Ukrainian).
27. Salo, V., Luzan, P., Bohatyrov D. (2013). Tekhnichne zabezpechennia pidhotovky zerna do zberihannia [Technical support for grain preparation for storage]: monohrafiia. Kirovohrad: SPD FO Lysenko V.F. 148. (in Ukrainian).
28. Taran, A.I. (1959). Pro vplyv yakosti vyhotovlennia reshet zernochysnykh mashyn na yikh produktyvnist [The influence of the quality of grain cleaning machine sieves manufacturing on their productivity]. Pratsi Estonskoi s.h. akademii, Turtu. 21-25. (in Ukrainian).
29. Tishchenko, L., Kharchenko, S., Kharchenko, F., Bredykhin, V., Tsurkan, O. (2016). Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2(80). 63–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65920>.
30. Zaika, P.M. (1969). Vplyv chastoty kolyvan ta zabyvannia vibratsiinnykh reshit na yakist sortuvannia nasinnia [Influence of the frequency of vibrations and clogging of vibrating sieves on the quality of seed sorting]. Visnyk silskohospodarskoi nauky. Kyiv. 24-31. (in Ukrainian).
31. Zaika, P.M. (2006). Teoriia silskohospodarskykh mashyn. Ochystka i sortuvannia zerna [Theory of agricultural machinery. Cleaning and sorting of grain]. Kharkiv: Oko. 408. (in Ukrainian).

32. Zavhorodnii, A.I. (2001). Naukovi osnovy protsesiv ochystky otvoriv reshit zernoochysnykh mashyn [Scientific basis of the processes of cleaning the sieve openings of grain cleaning machines]: dys. ... d-ra. tekhn. nauk: 05.05.11 / KhDTUSH. Kharkiv. 304. (in Ukrainian).

33. Zavhorodnii, O.I., Zefirov, V.M., Diundik, S.M. (1998). Vplyv deformatsii shchitok ochysnyka na yakist ochyshchennia reshit zernooobrobnykh mashyn [Influence of cleaner brush deformation on the quality of cleaning sieves of grain processing machines]. Mekhanizatsiia silskoho hospodarstva. Zb.naukovykh prats NAU. T4. Kyiv: NAU. T4. 216- 220. (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

Kotliarevskiy I. V., Student, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Pankova O. V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Analysis of cleaning systems for perforated sifting surfaces of separation machines

The productivity and quality of sieve separation machines when separating bulk material components depends on the efficiency of the hole cleaning system. The blocking of the holes is due to the similarity of their dimensions to the dimensions of the bulk material components. At the same time, in the presence of blocked holes, the screening area of perforated surfaces decreases and the productivity of separating machines decreases. Modern production requirements and the emergence of new scientific and technical developments, such as sieves with holes of complex geometry, have created the need to improve the efficiency of cleaning systems. The development of new and improved cleaning systems is not possible without analyzing the existing state and identifying promising areas for improvement. For this purpose, a systematic analysis of structures and methods of increasing the efficiency of cleaning systems was carried out with the determination of the level of prospects. The conditions and criteria for the efficiency of cleaning systems and the parameters of their working elements are determined. Based on the analysis of the research, taking into account the current needs of manufacturers, the requirements for cleaning systems for sieve vibrating separators were established: continuous in time and intensive cleaning of sieve openings from components of bulk materials, which ensures minimal deviation of the effective screening area from the basic one; reliability of cleaning working elements of cleaning systems should be based on maximum durability and minimal wear; minimization of the influence of external conditions on the technological efficiency of cleaning systems; minimizing the impact of external conditions on the technological efficiency of cleaning systems; minimizing the negative impact on separation processes and the reliability of separation machine components; minimizing the level of injury to bulk material components and clogging of final separation products. The main features of the division of cleaning systems are: by the nature of the impact on the components of bulk materials using working elements, self-cleaning of the holes of sieving surfaces, using special devices; by the type of working elements of frictional and impact action; by the type of drive with crank, chain, non-drive and flexible connection. The most promising in terms of a set of indicators, for further research, were selected cleaning systems with working elements of impact action and free movement – ball type. The result of the work was a generalized classification of cleaning systems for the holes of perforated sieving surfaces of separating machines, which will allow us to identify ways for further improvements and develop new working cleaning elements.

Key words: hole cleaning, sifting surface, working element, component, bulk material, classification, efficiency.