

УДК 631.362

С.Є. Голячук

Луцький національний технічний університет

СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ МАС З ВИКОРИСТАННЯМ СИЛ ГРАВІТАЦІЇ

У статті розглянуті питання сепарування зернових мас та математична модель процесу сепарації зернового матеріалу на енергозберігаючих сепараторах.

Ключові слова: *зернова суміш, сепарація, гравітаційний сепаратор, домішки.*

Постановка проблеми. Зерно та насіння після збирання і попереднього очищення містять деяку кількість насіння бур'янистих рослин, зерен інших культур, органічних і мінеральних домішок, а також пошкоджених, дефектних та дрібних зерен основної культури. Наявність у зерні або насінні цих домішок погіршує його якість, тому одна з основних умов забезпечення кількісно-якісного збереження зерна – це своєчасне його очищення. Метою очищення є: забезпечення необхідної якості зерна, а, значить, якості борошна та крупи, так як у деяких випадках через наявність у зерні насіння отруйних бур'янів воно стає непридатним для використання; покращення умов зберігання зерна; звільнення транспортних засобів від перевезення частини домішок і, отже, зниження вартості транспортування зерна; зменшення зараженості зерна шкідниками; створення більш сприятливих умов для сушки зерна; підвищення якості насінневого матеріалу.

Підвищення якості насінневого матеріалу, у свою чергу, необхідно ще й через те, що насіння бур'янистих рослин, висіяне у ґрунт, проростає і приводить до таких негативних наслідків: знижується температура ґрунту, що спричиняє зниження інтенсивності мікробіологічних процесів, які сприяють відновленню його родючості; поглинається волога і поживні речовини з ґрунту; заглушаються посіви основної культури; знижується урожайність; зарослі бур'янів створюють сприятливі умови для розмноження сільськогосподарських шкідників; бур'янисті рослини значно ускладнюють польові роботи, а в деяких випадках змушують відмовитися від застосування механізмів та машин і застосовувати тільки ручну працю. Крім того, очищення зерна поліпшує технологічні властивості зернової маси (сипкість, однорідність), підвищує продуктивність і надійність роботи очищувальної техніки, транспортного устаткування та сушарок.

Сепарування зернових мас відноситься до найважливіших технологічних процесів, які в найбільших обсягах застосовуються на різних стадіях обробки зерна. На стадії первинної (післязбиральної) обробки за допомогою сепарування проводять очищення, сортування і калібрування зерна насінневого і продовольчого призначення. На стадії глибокої обробки (переробки) за допомогою сепарування просівають і виділяють проміжні зернопродукти для отримання борошна, круп та інших готових виробів.

Очищення насіння зернових, зернобобових та інших культурних рослин у минулому і до теперішнього часу здійснюється в основному на зерноочисних машинах з повітряно-решітно-трієрними робочими органами, тобто за відмінністю розмірних і аеродинамічних властивостей насіння культурних та бур'янистих рослин і домішок. Насіння бур'янів і домішки, близькі за розмірними і аеродинамічними властивостями з насінням культурних рослин, вважаються важковідокремлюваними.

У пшениці, наприклад, важковідокремлюваними бур'янистими домішками вважають гречку витку, гречку татарську, пажитницю п'янку, кукіль звичайний; у житі – бромус житній; у ячменя та вівса – вівсюг звичайний, гречку витку, софору товстоплідну; у просі – амброзію полинолисту, мишій сизий, плоскуху звичайну, гірчицю польову. До важковідокремлюваних зернових домішок культурних рослин належать: в озимій пшениці – жито, ячмінь; у ячмені – пшениця, овес; у вівсі – ячмінь, жито, тритикале тощо.

Через різке збільшення засміченості полів, а це відбувається через зниження культури землеробства, зносу парку зерноочисних машин, а також через перенесення з поля на поле з насінням культурних рослин насіння бур'янів, які не виділилися під час очищення, у продовольчому зерні та насінні значно збільшилася кількість домішок як бур'янистих, так і культурних рослин.

Дослідженнями [1] встановлено, що з часом відбувається своєрідне пристосування насіння бур'янів до культурних рослин за ознаками подільності, якими вони раніше відрізнялися від насіння основної культури, і за якими відбувався їх поділ на зерноочисних машинах. Це явище досить добре спостерігається для насіння пажитниці лляної, яке з часом стало настільки близьким за

розмірами і аеродинамічними властивостями з насінням льону, що розділити їх на повітряно-решітно-трієрних і пневматичних очисних машинах стало практично неможливо.

У зв'язку з цим очевидно, що найближчим часом усунення причин збільшення кількості важковідокремлюваних домішок у зерні після його збирання і очистки на повітряно-решітно-трієрних робочих органах не є можливим, тому основним засобом зниження засміченості насіння зернових та інших культурних рослин є пошук і розробка нових методів і засобів очищення насіння від важковідокремлюваних бур'янів і домішок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даний час виробництво зернових матеріалів характеризується тенденцією обробки усього валового збору врожаю безпосередньо в господарствах, а постійне зростання цін на енергоносії призводить до того, що багато господарств не можуть вже зберегти зібране зерно без істотних його втрат через несвоєчасну обробку, втрати становлять 22 ... 35% [2 – 5]. Технічний прогрес в області післязбиральної обробки зерна визначається низкою факторів, вибір яких тільки у комплексі забезпечить ефективне зниження енерговитрат на стадії післязбиральної обробки, а також у всьому циклі зерновиробництва [6].

Питанням плоскорешітного сепарування присвячені праці В.П. Горячкіна [7], М.Н. Летошнєва [8], І.Є. Кожуховського [9], М.М. Ульріха [10], І.І. Блехмана [11], І.І. Биховського [12], П.М. Заїки [13], А.І. Петрусова [14], В.М. Цеціновського [15], М.Н. Богомолова [16], В.Я. Білецького [17], В.С. Бикова [18] та ін.

Теоретичним та експериментальним дослідженням процесу сепарування сипких матеріалів присвячені роботи вчених В.В. Гортинського, А.Б. Демського, М.А. Борискіна [19], Н.Є. Авдеєва, Ю.В. Чернухіна [20] та ін.

Підсумовуючи аналіз літературних джерел можна сказати, що теорія сепарування розроблена досить повно і пояснює різні процеси розділення зернових мас. Найбільш важливе практичне значення на підприємствах мають процеси ситового, повітряного (аеродинамічного) і гравітаційного сепарування, але для зниження енергозатрат необхідне вдосконалення способів сепарування та існуючих машин.

Мета дослідження – моделювання процесу гравітаційного сепарування зернових сумішей на енергозберігаючих сепараторах.

Результати дослідження. Дослідження гравітаційних сепараторів з сепаруючими гребінками, пальці яких консольно закріплені з одного боку [21], раніше були проведені О.М. Зюлінім, А.А. Стрелковим, А.В. Некрасовим, С.С. Ямпіловим, [22, 23, 24]. Аналіз названих досліджень, а також експериментальні дані інших вчених, показали працездатність таких сепараторів і те, що даний напрямок є найбільш перспективним, оскільки самопливний гравітаційний сепаратор працює без підведення електроенергії, за рахунок використання сили тяжіння під час руху частинок зернового матеріалу сепаруючими гребінками. Гребінки являють собою набір пальців (дротів) певного діаметру, відстані між пальцями утворюють однакові щілини.

Вдосконалений енергозберігаючий сепаратор для очищення зерна з використанням сил гравітації (рис.) принципово відрізняється від усіх існуючих гравітаційних сепараторів тим, що з метою усунення забивання сепаруючих гребінок і створення шару зернового матеріалу певної товщини на кожній гребінці попереду встановлені суцільні скатні дошки. При цьому зерновий матеріал, рухаючись з верхньої сепаруючої гребінки, потрапляє не на нижче розташовану сепаруючу гребінку, а на суцільну скатну дошку, встановлену під тим самим кутом, але у зворотному напрямку. Для зменшення металоємності енергозберігаючого сепаратора для очищення зерна з використанням сил гравітації, зменшення висоти сепаратора і збільшення ефективності виділення дрібних домішок, на відміну від існуючих конструкцій, просіяні зерна з дрібними домішками одразу після кожної гребінки центрального каналу направляються у бічні канали, в яких виділяються дрібні домішки. Для виведення дрібних домішок після кожної гребінки у бічних каналах встановлені дефлектори і патрубки для виведення дрібних домішок у бічну сторону. Це дозволяє очищати зерно від дрібних домішок за малих навантажень і збільшити тим самим ефективність очищення. Для збільшення ефективності очищення прутки гребінок жорстко зафіксовані з двох сторін, а в існуючих сепараторах прутки консольно закріплені з одного боку, тому в процесі експлуатації зазор між прутками порушується, зменшується ефективність очищення.

Конструктивні методи щодо інтенсифікації процесу сепарації і оптимальний режим роботи сепаратора повинні забезпечити найбільш ефективний процес сепарації, що полягає в наступному. Оскільки у вихідному зерновому матеріалі, що надходить у зигзагоподібний канал, утворений сепаруючими гребінками, усі компоненти домішок, а також зерна різної крупності основної суміші розподілені приблизно рівномірно, то доцільно вести процес обробки таким чином, щоб вже на

перших сепаруючих гребінках відбулося відділення більш дрібних домішок з випередженням усього іншого зернового матеріалу, який швидко просівається через сепаруючі гребінки і видаляється з зернового матеріалу, а великі, навпаки, максимально відставали в просіюванні через сепаруючі гребінки. Такий процес сепарації дозволяє інтенсифікувати поділ зернової суміші.

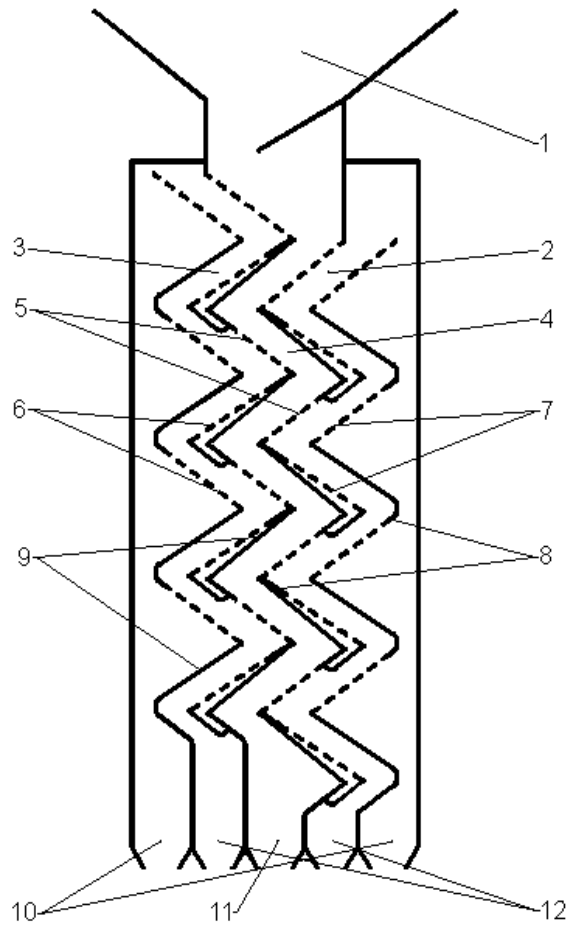


Рис. Схема енергозберігаючого сепаратора для очищення зерна: 1 – завантажувальний бункер; 2 – другий боковий канал; 3 – перший бічний канал; 4 – центральний канал; 5 – сепаруючі гребінки центрального каналу, що виділяють великі домішки; 6 – сепаруючі гребінки першого бічного каналу, що виділяють дрібні домішки; 7 – сепаруючі гребінки другого бічного каналу, що виділяють дрібні домішки; 8 – суцільні скатні дошки; 9 – дефлектор; 10 – патрубки для виведення дрібних домішок; 11 – патрубок для виведення крупних домішок; 12 – патрубки для виведення очищеного зерна.

Процес сепарації наступний. Вихідний зерновий матеріал, що подається у завантажувальний бункер 1, під дією сил гравітації рухається вниз і потрапляє на суцільну скатну дошку 8. Суцільна скатна дошка призначена для усунення забивання сепаруючої гребінки, встановленої після скатної дошки, зерновим матеріалом. Частинки зернового матеріалу скочуються суцільною дошкою 8 і потрапляють на першій сепаруючій пристрій 5 (гребінку). Суцільна скатна дошка і сепаруюча гребінка встановлені під таким кутом до горизонту, при якому матеріал стійко рухається під дією сил гравітації. За таких умов матеріал рухається суцільною скатною дошкою і сепаруючою гребінкою з прискоренням, і через певний час його швидкість руху підвищиться до рівня, що раціональний або допустимий для проходу частинок матеріалу через сепаруючі гребінки. Обмеживши довжину сепаруючої гребінки величиною, при якій швидкість руху матеріалу ще не перевищила раціональний рівень, можна спрямувати зерновий потік на іншу скатну дошку і сепаруючу гребінку, встановлені нижче і під таким же кутом до горизонту, але у зворотному напрямку. При цьому швидкість потоку знизиться і процес виділення проходових частинок продовжиться на другій сепаруючій гребінці. Далі аналогічно можуть бути встановлені послідовно ще інші скатні дошки і сепаруючі гребінки для продовження процесу і так до досягнення необхідної якості поділу. Зазор між пальцями гребінки 5 обраний достатнім, щоб великі частинки, які підлягають відділенню (ве-

ликі домішки) не пройшли між пальцями, а інші, більш дрібні (дрібні домішки і основне зерно), могли пройти. Сепаруючі гребінки 3 і перед ними встановлені скатні дошки 8 утворюють центральний зигзагоподібний канал, в якому відбувається відділення великих домішок від дрібних домішок і основного зерна. Великі домішки з центрального зигзагоподібного каналу виводяться патрубком 11.

Прохідна фракція (дрібні домішки і основне зерно), виділившись у результаті руху зернового матеріалу в центральному зигзагоподібному каналі, потрапляє у бічні зигзагоподібні канали для виділення дрібних домішок. У бічних зигзагоподібних каналах встановлені сепаруючі гребінки 7. Зазор між пальцями сепаруючої гребінки 7 обраний таким, щоб дрібні частинки (дрібні домішки) могли пройти між пальцями, а більші (основне зерно) не могли.

Процес сепарації у бічних зигзагоподібних каналах ідентичний процесу сепарації у центральному зигзагоподібному каналі, за винятком того, що у них встановлені патрубки 10 для виведення дрібних фракцій з каналів у бічну сторону. Кількість сепаруючих гребінок 7 і скатних дошок, встановлених перед ними, визначається необхідною повнотою виділення дрібних домішок, які видаляються у патрубки 3 і у патрубки для видалення їх у бічну сторону 2. У бічних каналах для збору видалених дрібних домішок, просіяних через сепаруючі гребінки 7, у патрубки 2 встановлено дефлектори 9.

Оброблюваний зерновий матеріал рухається під дією гравітаційних сил у центральному зигзагоподібному каналі і у двох бічних зигзагоподібних каналах, які розташовані паралельно до боків центрального зигзагоподібного каналу. У цих зигзагоподібних каналах зерновий матеріал рухається під дією сили тяжіння, пересипаючись сепаруючими гребінками, перед якими встановлені скатні дошки.

Швидкість руху матеріалу і ефективність просіювання проходових фракцій залежить від кута нахилу, довжини сепаруючих гребінок і їх взаємного розташування. Вибором цих факторів можна забезпечити умови для ефективного процесу просіювання зернового матеріалу.

Для визначення оптимальних параметрів енергозберігаючого сепаратора для очищення зерна з використанням сил гравітації варто представити процес просіювання математичною моделлю.

Розглянемо процес сепарації зернового матеріалу енергозберігаючим сепаратором, припускаючи, що зерновий матеріал складається з трьох компонентів: основний компонент – зерно, становить до 80% по масі вихідного зернового матеріалу, крупні та дрібні домішки до 20%.

Згідно з конструктивною схемою енергозберігаючий сепаратор для очищення зерна (рис.) має:

- центральний канал (для виділення великих домішок) – у ньому встановлені пруткові сепаруючі гребінки, у яких зазор між прутками більше товщини основного зерна, а також дрібних домішок, але зазор між прутками менший, ніж товщина частинок великих домішок;

- бічні канали для виділення дрібних домішок з прутковими сепаруючими гребінками, у яких зазор між прутками менший товщини основного зерна, але більший товщини частинок дрібних домішок.

Припускаємо, що процес просіювання здійснюється в однорідних умовах, тобто частинки основного зерна однакові і гребінки однакові. При цьому повнота просіювання проходових частинок (основного зерна) a_1 на ділянці гребінки довжиною l_1 на першій гребінці, де відстань між прутками у гребінках однакова і вибрана таким чином, що основне зерно проходить в отвори гребінок, а частинки великих домішок не проходять, при подачі зернового матеріалу шаром певної товщини визначається виразом:

$$a_1 = M \cdot (1 - e^{-bl_1}), \quad (1)$$

де b – інтенсивність просіювання проходових частинок (основного зерна), дм^{-1} ; l_1 – довжина першої гребінки центрального каналу, дм ; M – вихідна кількість основного зерна.

Інтенсивність просіювання b залежить від багатьох факторів, основні з них: розміри проходових частинок і зазор між прутками сепаруючої гребінки, характер розподілу матеріалу на гребінці, фізико-механічні властивості проходових частинок (основного зерна і дрібних домішок), стан поверхні насіння і гребінки, параметри гребінки (кут нахилу гребінок до горизонту, довжина гребінок) і конструкції гребінок.

Повнота просіювання основного зерна на другій гребінці визначається наступною формулою:

$$a_2 = (M - M \cdot e^{-bl_1})(1 - e^{-bl_2}), \quad (2)$$

де l_2 – довжина другої гребінки центрального каналу, дм.

Повнота просіювання проходових частинок (основного зерна) на третій гребінці визначається наступною формулою:

$$a_3 = \left[(M - M \cdot e^{-b l_1}) (1 - e^{-b l_2}) \right] (1 - e^{-b l_3}) \quad (3)$$

Повнота просіювання основного зерна на n -ій гребінці центрального каналу визначається наступною формулою:

$$a_3 = \left\{ \left[(M - M \cdot e^{-b l_1}) (1 - e^{-b l_2}) \right] (1 - e^{-b l_3}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-b l_n}) \quad (4)$$

Прходові частинки (основне зерно і дрібні домішки), пройшовши в отвори першої сепаруючої гребінки центрального каналу, надходять на першу гребінку з малими отворами першого бічного каналу, тобто на гребінку, де відстань між прутками підібрано таким чином, що дрібні домішки проходять в отвори (щілини) між прутками, а основне зерно не проходить.

Повноту просіювання дрібних домішок на першій гребінці з малими отворами першого бічного каналу можна визначити:

$$a_1^d = \left(M^d - M^d \cdot e^{-b_d l_1} \right) (1 - e^{-b_d^1 l_1^1}) \quad (5)$$

де M^d – вихідна кількість дрібних домішок; l_1^1 – довжина першої гребінки першого бічного каналу, дм; b_d^1 – інтенсивність просіювання частинок дрібних домішок в отвори гребінки першого бічного каналу, дм⁻¹.

Кількість дрібних домішок, не просіяних на першій гребінці з малими отворами першого бічного каналу, становить:

$$M_{n1}^d = M^d \cdot e^{-b_d l_1} \cdot e^{-b_d^1 l_1^1} \quad (6)$$

Повнота просіювання дрібних домішок на другій гребінці з малими отворами першого бічного каналу становить:

$$a_2^d = M_{n1}^d \cdot (1 - e^{-b_d^1 l_2^1}) \quad (7)$$

Повноту просіювання дрібних домішок на третій гребінці з малими отворами першого бічного каналу можна визначити:

$$a_3^d = (M_{n2}^d + M_{np3}^d) \cdot (1 - e^{-b_d^1 l_3^1}) \quad (8)$$

де M_{n2}^d – кількість дрібних домішок, не просіяних через другу гребінку першого бічного каналу; M_{np3}^d – кількість дрібних домішок, просіяних через третю гребінку центрального каналу; l_3^1 – довжина третьої гребінки першого бічного каналу, дм.

Повнота просіювання дрібних домішок на n -ій гребінці з малими отворами першого бічного каналу:

$$a_n^d = (M_{n(n-1)}^d + M_{np(n)}^d) \cdot (1 - e^{-b_d^1 l_n^1}) \quad (9)$$

де $M_{n(n-1)}^d$ – кількість дрібних домішок, не просіяних через $(n - 1)$ гребінку першого бічного каналу; $M_{np(n)}^d$ – кількість дрібних домішок, просіяних через непарну гребінку центрального каналу, яка потрапляє на n -ну гребінку першого бічного каналу; l_n^1 – довжина n -ої гребінки першого бічного каналу, дм.

Прходові частинки (основне зерно і дрібні домішки), пройшовши через отвори першої гребінки центрального каналу, надходять на першу гребінку з малими отворами першого бічного каналу, а не просіяний зерновий матеріал через отвори першої гребінки центрального каналу надходить на другу гребінку центрального каналу, через яку проходять основне зерно та дрібні домішки, і потрапляє на першу гребінку з малими отворами другого бічного каналу.

Повнота просіювання дрібних домішок на першій гребінці з малими отворами другого бічного каналу визначається:

$$a_1^{2d} = \left[(M^d \cdot e^{-b_d l_1}) (1 - e^{-b_d l_2}) \right] (1 - e^{-b_d^2 l_1^2}) \quad (10)$$

де l_1^2 – довжина першої гребінки другого бічного каналу, дм; b_d^2 – інтенсивність просіювання частинок дрібних домішок в отвори гребінки другого бічного каналу, дм⁻¹.

Повнота просіювання дрібних домішок через другу гребінку другого бічного каналу визначається аналогічно.

Повнота просіювання дрібних домішок на n -ій гребінці з малими отворами другого бічного каналу складе:

$$a_n^{nd} = (M_{n(n-1)}^{2d} + M_{np(np)}^d) \cdot (1 - e^{-b_d^2 \cdot l_n^2}), \quad (11)$$

де $M_{n(n-1)}^{2d}$ – кількість дрібних домішок, не просіяної через $(n - 1)$ гребінку другого бічного каналу; $M_{np(np)}^d$ – кількість дрібних домішок, просіяної через парну гребінку центрального каналу, яка потрапляє на n -у гребінку другого бічного каналу; l_n^2 – довжина n -ої гребінки другого бічного каналу, дм.

Повнота просіювання дрібних домішок (сумарна) через n -у гребінку першого бічного каналу енергозберігаючого сепаратора визначається за формулою:

$$\sum a_n^d = a_1^d + a_2^d + a_3^d + \dots + a_n^d \quad (12)$$

Повнота просіювання дрібних домішок (сумарна) через n -у гребінку другого бічного каналу визначається:

$$\sum a_n^{2d} = a_1^{2d} + a_2^{2d} + a_3^{2d} + \dots + a_n^{2d} \quad (13)$$

Загальна повнота просіювання дрібних домішок через n -у гребінку двох бічних каналів енергозберігаючого сепаратора складає:

$$\sum a_n^{2d} = \sum a_n^d + \sum a_n^{2d} \quad (14)$$

Повнота просіювання частинок великих домішок на n -ій гребінці центрального каналу визначається:

$$a_n^{e0} = \left\{ \left[(M^{e0} - M^{e0} \cdot e^{-b_{e0} \cdot l_1}) (1 - e^{-b_{e0} \cdot l_2}) \right] \cdot (1 - e^{-b_{e0} \cdot l_3}) \right\} \cdot \dots \cdot (1 - e^{-b_{e0} \cdot l_n}), \quad (15)$$

де M^{e0} – вихідна кількість великих домішок; b_{e0} – інтенсивність просіювання частинок великих домішок в отвори гребінок центрального каналу, дм⁻¹.

За методом Г.В. Ньютона і Н.В. Ньютона можна визначити ефективність очищення зерна від дрібних домішок енергозберігаючим сепаратором:

$$E = \sum a_n^d - \sum a_n \quad (16)$$

Таким чином, формули (14-16) описують процес сепарації зернової суміші енергозберігаючим сепаратором з використанням сил гравітації і дозволяють обчислити повноту просіювання кожного компонента зернового матеріалу в залежності від кількості сепаруючих гребінок, від довжини кожної гребінки, а також вирішити задачу оптимізації параметрів енергозберігаючого сепаратора для очищення зерна з використанням сил гравітації.

Висновки

Запропонована у статті конструкція сепаратора для очищення зерна не потребує приводу робочих органів, не вимагає енерговитрат, за винятком підйому насіння на певну висоту, а якщо його використовувати у малому господарстві для очищення невеликих партій, то електроенергії не потрібно зовсім, так як засипати зерно у живильний бункер можна і вручну, а сепарацію в цьому випадку можна проводити навіть безпосередньо на полі. До переваг гравітаційного сепаратора можна віднести і практично необмежений термін використання. Запропонована математична модель дозволяє визначити оптимальні параметри сепаратора для повної сепарації зернової суміші.

1. Всероссийское совещание работников льносемянств // Лен и конопля. – 1980. №6. – С. 36.
2. Зюлин А.Н. Влияние содержания примеси и влажности зерна на эффективность очистки каскадом однородных решет / Зюлин А.Н., Ямпиров С.С. // Развитие комплексной механизации производства зерна с учетом зональных условий: Тез. докл. Всесоюзного научно-технического совещания. – М., 1982. – 194 с.
3. Ямпиров С.С. Экологически безопасная технология очистки зерна / Ямпиров С.С., Дондоков Ю.Ж. // Биология на пороге 21-го века: Тезисы докладов Республиканской конференции молодых ученых БГСХА. – Улан-Удэ, 1998. – С. 21-22.
4. Янко В.М. Влажность и засоренность зернового материала поступающего на ХП в Ставропольском крае / Янко В.М. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – М., 1974. – № 9. – С. 32-37.

5. Stanger E.A. Graing - cleaning machinery / Stanger E.A. / Milling feed and fertiliser. – 1977. – Vol. 160. – № 8. – P. 11-15.
6. Энергосберегающие и природоохранные технологии // Материалы II международной научно-практической конференции. – Улан-Удэ: Издательство Восточно-Сибирского государственного технологического университета, 2003. – 427 с.
7. Горячкин В.П. Земледельческая механика / Горячкин В.П. // Соч. В 7 т. - М.: ВАСХНИЛ, 1937. Т.2. – 258 с.
8. Летошнев М.Н. Очистка и сортирование семенного материала и зерноочистительные машины / Летошнев М.Н. – Л.: Гос. институт опытной агрономии, 1929. – 28 с.
9. Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины / Кожуховский И.Е. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
10. Ульрих Н.Н. Научные основы очистки и сортирования семян / Ульрих Н.Н. – М.-Л.: ВАСХНИЛ, 1937. – 87 с.
11. Блехман И.И. Вибрационное перемещение / Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
12. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники / Быховский И.И. – М.: Машгиз, 1969. – 363 с.
13. Заика П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин / Заика П.М. – М.: Машиностроение, 1977. – 287 с.
14. Петрусов А.И. Зерноперерабатывающие высокочастотные вибрационные машины / Петрусов А.И. – М.: Машиностроение, 1975. – 40 с.
15. Цециновский В.М. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий / Цециновский В.М., Птушкина Г.Е. – М.: Колос, 1976. – 368 с.
16. Богомоллов М.Н. Влияние удара просеивающейся частицы о кромку отверстия / Богомоллов М.Н., Гортинский В.В. // Труды ВНИИЗ. – М., 1983. – Вып. 46. – С. 55-67.
17. Белецкий В.Я. Теория и расчет сит с прямолинейными качаниями / Белецкий В.Я. – М.: Заготиздат, 1949. – 187 с.
18. Быков В.С. Снижение энергоемкости плоскорешетных сепараторов // Тракторы и сельскохозяйственные машины / Быков В.С. – 1997. – № 7. – С. 22.
19. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. – М.: Колос, 1980. – 304 с.
20. Авдеев Н.Е. Энергосберегающие технологии переработки зерна / Авдеев Н.Е., Чернухин Ю.В. // Энергосбережение в сельском хозяйстве: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. – М., 1998. – С. 100-102.
21. А.с. 1609516 (СССР), МКИ В 07 В 1/04. Сепаратор сыпучих материалов / Зюлин А.Н., Анискин В.И. – 1990.
22. Зюлин А.Н. Зерноочиститель СЗГ-25 / Зюлин А.Н., Гозман Г.И. // Техника в сельском хозяйстве. – 1997. – № 6. – С. 30-31.
23. Некрасов. А.В. Совершенствование процесса гравитационной классификации зернистых смесей и расширение области применения гравитационных сепараторов / Некрасов. А.В.: Дисс. канд. техн. наук. – М., 2001. – 241 с.
24. Ямпиллов С.С. Технологическое и техническое обеспечение ресурсо-энергосберегающих процессов очистки и сортирования зерна и семян / Ямпиллов С.С. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. – 262 с.