

УДК 631.53.027

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.201-213>

Б. В. Ступак, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти, **С. В. Яхін**, доц., канд. техн. наук
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна
e-mail: sergii.iakhin@pdau.edu.ua

Технічне рішення та результати випробувань мобільної лінії за щадною пофракційною технологією підготовки «Сильного насіння»

У статті представлено технічне рішення мобільної лінії підготовки насіння, створеної на основі щадної пофракційної технології «Сильного насіння». Детально описано конструктивні особливості та принципи роботи основних технологічних вузлів, наведено результати експериментальних випробувань на озимій пшениці та проведено порівняння з комерційними аналогами. Доведено, що запропонована лінія забезпечує високу якість очищення, калібрування й сепарації насіння відповідно до вимог ДСТУ та може бути ефективно використана в малих і середніх господарствах.

мобільна лінія, насіння, щадна технологія, очищення, калібрування, сепарація

Постановка проблеми. У сучасних умовах аграрного виробництва України, особливо з урахуванням викликів, спричинених воєнними діями та економічною нестабільністю, надзвичайно актуальною є проблема забезпечення сільськогосподарських підприємств, зокрема малих і середніх фермерських господарств, високоякісним насінням. Існуюча інфраструктура стаціонарних насінневих заводів є дорогавартісною, а її розміщення та логістичні обмеження створюють значні труднощі для дрібних виробників, які не можуть собі дозволити масштабні інвестиції в будівництво власних ліній або залежать від послуг великих підприємств. Це обмежує їхні можливості щодо використання якісного посівного матеріалу та знижує загальну врожайність.

Актуальність дослідження полягає у необхідності розробки та впровадження мобільних, економічно доступних технологічних рішень для підготовки насіння, які здатні функціонувати безпосередньо в полі або на території господарства. Такі рішення повинні забезпечувати високу якість очищення та калібрування, при цьому зберігаючи життєздатність насіння. Особлива увага приділяється розробці «щадної технології», яка мінімізує травмування насіннєвого матеріалу, що особливо важливо для дрібних і цінних культур.

Розробка нового технологічного підходу, який поєднує мобільність обладнання з високою якістю підготовки насіння. Це передбачає створення технології, що дозволяє проводити «пофракційне очищення» та сепарацію на основі аеродинамічних і вібраційних методів, мінімізуючи травмування насіння. Це дослідження має на меті обґрунтувати ефективність такого підходу, що доводить те що він забезпечує якість насіння, не гіршу за ту, що досягається на стаціонарних лініях.

Впровадження мобільної лінії для підготовки насіння, що зможе надати малим та середнім фермерським господарствам доступ до якісного посівного матеріалу. Це рішення дозволить господарствам відмовитися від послуг великих насінневих заводів, знизити логістичні витрати та ризики, а також гарантувати, що для сівби використовується

матеріал з оптимальними фізико-механічними властивостями. Таким чином, вирішення цієї проблеми безпосередньо впливає на підвищення врожайності та рентабельності сільськогосподарського виробництва.

У контексті сучасних викликів, мобільні технології є важливим елементом забезпечення продовольчої безпеки. Вони дозволяють децентралізувати процес підготовки насіння, що робить його менш вразливим до пошкоджень інфраструктури та інших непередбачуваних факторів, сприяючи стійкості аграрного сектору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Насінневі технології постійно вдосконалюються, що знаходить своє відображення в численних наукових публікаціях та комерційних розробках. «Щадна пофракційна технологія» [9] Фадєєва, що лягла в основу даного дослідження, спирається на принципи нетравмуючого транспортування та поетапного очищення, що дозволяє значно підвищити якість підготовки насіння [3, 5]. Цей підхід вже продемонстрував свою ефективність на стаціонарних лініях. Іншим значним досягненням є розробка мобільних насінневих станцій, як, наприклад, «Насіннева мобільна станція» ТОВ НВП «Аеромех» [10]. Ці агрегати вже вирішують проблему мобільності, забезпечуючи можливість підготовки насіння безпосередньо в господарстві. Незважаючи на значний прогрес, існуючі технологічні рішення [2] не повністю задовольняють потреби малих і середніх фермерських господарств.

Основні невирішені питання, яким присвячено дане дослідження, охоплюють кілька ключових аспектів. Передусім ідеться про поєднання щадної технології з мобільністю, адже наявні мобільні станції не завжди забезпечують повне використання щадних технологічних рішень, що призводить до травмування насіння та зниження його посівних характеристик [3]. У статті основна увага приділяється саме адаптації «щадної пофракційної технології» [5] до мобільного формату.

Ще одне важливе питання стосується забезпечення високої якості сепарації [1]. Потрібно розробити ефективний і водночас компактний модуль, здатний здійснювати якісне поділ насіння за питомою вагою, що є критично важливим для вилучення пошкодженого та травмованого матеріалу, який не має видимих відмінностей від здорового. Інноваційним рішенням у межах дослідження виступає використання пневмовібростола [8] в складі мобільної лінії [9].

Окрему увагу приділено універсальності та швидкій адаптації обладнання. На відміну від більшості мобільних ліній, що налаштовані переважно на роботу з однією культурою, у даній роботі розглядається створення мультифункціональної мобільної лінії, яку можна оперативнo переорієнтувати на обробку різних культур – соняшнику, кукурудзи, гороху, жита та інших. Це значно підвищує її практичну цінність та сферу застосування.

Таким чином, дане дослідження є логічним продовженням попередніх робіт, заповнюючи прогалини між стаціонарними високоякісними технологіями та існуючими мобільними рішеннями. Основний фокус – це розробка, випробування та обґрунтування нової мобільної лінії, яка об'єднує щадну пофракційну технологію, що забезпечує високу якість, з мобільністю, необхідною для сучасного аграрного виробництва.

Постановка завдання. Метою статті є експериментальне обґрунтування технічного рішення для мобільної лінії підготовки насіння, що базується на щадній пофракційній технології. Дослідження має на меті довести, що запропонована мобільна лінія здатна забезпечити високу якість насіння (відповідно до вимог ДСТУ) та економічну ефективність для малих і середніх фермерських господарств.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

1. Розробити та сконструювати мобільну лінію для підготовки насіння, яка поєднує щадні методи очищення, калібрування та сепарації.

2. Провести випробування мобільної лінії на реальному насіннєвому матеріалі (наприклад, озимій пшениці) та порівняти отримані показники якості (чистота, схожість, енергія проростання) з державними стандартами (ДСТУ) та результатами, досягнутими на стаціонарних лініях.

3. Дослідити ефективність використання пневмовібростолу як ключового елементу сепарації насіння для виділення біологічно повноцінного матеріалу.

4. Обґрунтувати практичну цінність розробленої технології для малого та середнього агробізнесу, продемонструвавши її переваги у зменшенні логістичних витрат та підвищенні доступності якісного посівного матеріалу.

5. Надати рекомендації щодо подальшого вдосконалення та універсалізації мобільної лінії для роботи з іншими сільськогосподарськими культурами.

Виклад основного матеріалу. Технологія «Сильне насіння» [5] базується на принципах багатоступеневої підготовки, яка включає нетравмуюче транспортування [6], поетапне очищення [7], калібрування та сепарацію [8] за питомою вагою. За цією концепцією, лише найбільш життєздатне насіння, що пройшло всі етапи відбору, має високу енергію проростання та потенційну врожайність. Процес обробки є послідовним і вимагає узгодженої роботи всіх технологічних вузлів. Пошкодження насіння на будь-якому етапі знижує його якість, що робить кінцевий результат менш ефективним, незалежно від точності подальших операцій. Таким чином, синергія всіх елементів лінії є критично важливою для досягнення поставлених цілей.

Мобільна лінія була реалізована на базі стандартного причепа довжиною 13,6 м та включає кілька ключових технологічних одиниць [9]. Проектування та загальна компоновка здійснювалися в системі автоматизованого проектування Autodesk Inventor (рис. 1). Конструктивна схема передбачала встановлення усіх вузлів і механізмів на рамі причепа з урахуванням зручності обслуговування та ергономіки.

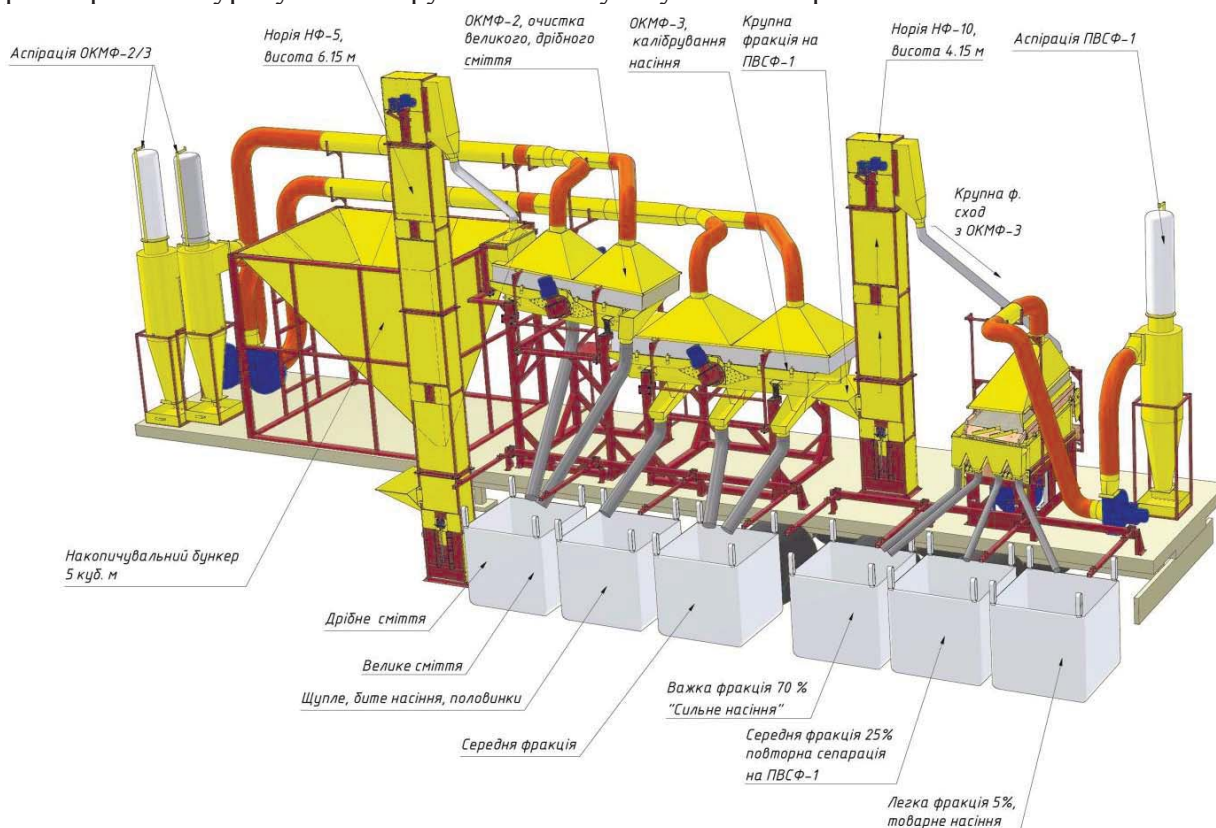


Рисунок 1 – Мобільна насіннєва лінія

Джерело: розроблено авторами

До складу комплексу [9] входять такі ключові одиниці обладнання:

- Завантажувальний бункер об'ємом 5 м³ – 1 шт.;
- Щадна норія НФ-10 [6] для вертикального транспортування зерна – 2 шт.;
- Очисно-калібруюча машина Фадєєва ОКМФ-2 [7] з системою аспірації – 1 шт.;
- Калібруюча машина Фадєєва ОКМФ-3 [7] для розділення на фракції з системою аспірації – 1 шт.;
- Пневмовібростіл Фадєєва ПВСФ-1 [8] для сепарації за питомою вагою з системою аспірації – 1 шт.

Для безперебійного постачання насіння на лінію був розроблений і сконструйований спеціальний «Завантажувальний бункер» об'ємом 5 м³, який встановлюється і кріпиться у відповідному місці на причепі.

Для вертикального транспортування насіння використовується щадна тихохідна норія НФ-10 (рис. 2). Її конструкція, на відміну від традиційних норій, мінімізує механічне травмування зерна. Це досягається завдяки:

- Повільній швидкості стрічки – 0,7 м/с, що знижує динамічні навантаження на зерно.
- Особливій системі завантаження – насіння надходить безпосередньо в ковші з поліетилену високої щільності (HDPE2), а не зачерпується з башмаку.
- Плавній системі вивантаження – зерно акуратно засипається на спинку наступного ковша, запобігаючи ударам та падінню.
- Мінімальним зазорам та напрямним роликам, що запобігають обсіпанню та застряганню насіння.

Ці конструктивні особливості забезпечують збереження оболонки зерна, що є першою та важливою умовою для підтримки високої енергії проростання.



Рисунок 2 – Завантажувальна частина комплексу

Джерело: розроблено авторами

Первинне очищення та калібрування здійснюється за допомогою двох машин, що працюють на принципі вібраційних коливань розсіву.

ОКМФ-2 – призначена для первинного очищення та оснащена шестигранними ситами Фадєєва та круглими ситами (рис. 3). Шестигранна форма отворів, як показує практика, підвищує продуктивність та якість очищення, дозволяючи зерну ефективніше «примірятися» до комірок.

Після аналізу на лабораторних ситах, а також після тестового очищення матеріалу замовника (пшениця озима) на ОКМФ-2 було підібрано оптимальний розмір комірок сит Фадеева (шестигранних) і сит з круглими отворами. На розсіві ОКМФ-2 першим встановлюється сито Фадеева 2,5 мм з шестигранними отворами, для очистки від дрібного сміття, такі сита, як показала практика, підвищують продуктивність та якість очистки за рахунок нової геометрії (шестигранної форми отвору), що можна побачити на порівняльному графіку (рис. 6), наступне сито з круглими отворами 6,0 мм для очистки від великого сміття, такі сита дозволяють якісно відділити палички, солону, полу, недомолот.

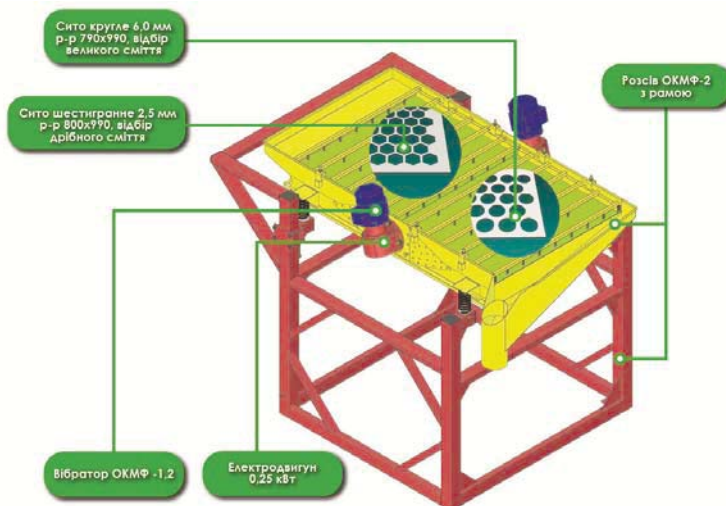


Рисунок 3 – Компонівка сит Фадеева і круглих сит на ОКМФ-2

Джерело: розроблено авторами

Рисунок 4 демонструє, що проникність сита чітко зростає зі збільшенням розміру отворів (1–15 мм). Для шестигранного сита Фадеева (чорна крива) проникність вже при 5 мм сягає приблизно 70 %, при 10 мм – близько 90 %, а при 15 мм – майже 95 %. Для круглого отвору (червона крива) відповідні значення становлять близько 40 %, 55 % та 60 %.

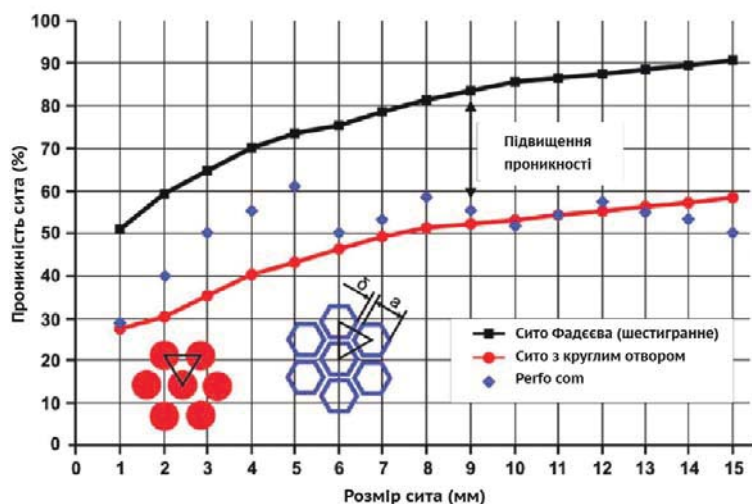


Рисунок 4 – Залежність проникності сит від форми та розміру отворів

Джерело: розроблено авторами

Типові Perfo com–сита (сині ромбики) розташовуються посередині. Таким чином, більший діаметр отворів у будь-якому типі сита суттєво підвищує його прохідність (не лінійно: особливо різкий приріст відбувається в діапазоні 5–10 мм).

Шестигранна форма отворів має суттєві переваги над круглою: вона дозволяє розмістити перфорації щільніше і збільшити сумарну площу «живих» отворів на одиницю площі сита. Традиційне кругле сито має між отворами «зірочки» неактивних ділянок, що зменшують «живий» переріз.

Внаслідок цього круглі отвори малого діаметру забезпечують набагато меншу сумарну площу перфорації, а сама форма кола не дозволяє досягти максимального можливого живого перерізу. На відміну від цього, шестигранні перфорації практично повністю усувають такі «мертві» зони, і прохідна площа виходить більшою. В результаті заміна звичайного круглого сита на шестигранне дає значний приріст продуктивності: за даними розробників, шестигранні сита підвищують продуктивність зерноочисного обладнання на 20–60 %, а незалежні порівняння показують збільшення пропускну здатності щонайменше приблизно на 55 %.

Підвищена проникність безпосередньо підвищує продуктивність та точність калібрування насіння. Більша сумарна площа отворів дозволяє одночасно пропускати більший об'єм зерна, що збільшує пропускну здатність лінії та скорочує час просіювання. Як наслідок, сепаратори з шестигранними ситами Фадєєва ефективніше відділяють дрібні фракції та домішки, зберігаючи чіткі межі калібрування за розміром. За практичними оцінками це призводить до зростання продуктивності очищення на десятки відсотків. Таким чином, збільшення «прозорості» сита без зміни його розмірів є універсальним прийомом для підвищення продуктивності зерноочисних машин.

У мобільній лінії підготовки насіння за технологією Фадєєва ці переваги враховані при виборі сит: на першому та наступних калібраторах використовуються саме сита Фадєєва з шестикутними отворами. Це забезпечує високу пропускну здатність навіть компактних пересувних комплексів, адже ситова поверхня з більшим «живим» перерізом прискорює просіювання та покращує рівномірність калібрування насіння. Отже, у мобільних лініях за технологією Фадєєва пріоритет віддається шестигранним ситам для досягнення оптимальної продуктивності й точності очищення.

ОКМФ-3 (рис. 5) – використовується для калібрування на фракції (дрібну, середню, крупну), на якій встановлені щільні решета Фадєєва з металевго дроту. Рух робочої поверхні забезпечується спеціальними вібраторами, встановленими під кутом 45°, які надають розсіву зворотно-поступальні рухи.

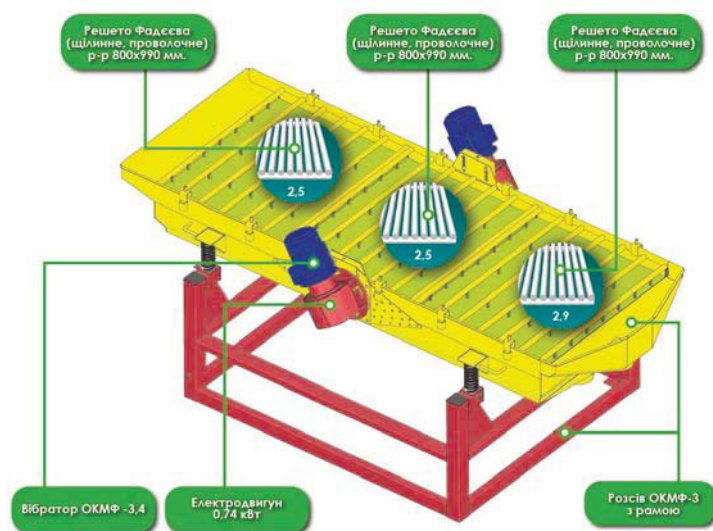


Рисунок 5 – Компонівка решет Фадєєва на ОКМФ-3

Джерело: розроблено авторами

Ключовою інновацією є рельєфна поверхня решет (рис. 5), яка примусово орієнтує зерно, змушуючи його «ставати» у щілину боком. Це забезпечує значно вищу точність сортування за розміром та формою порівняно з плоскими пробивними ситами. Така орієнтація дозволяє відсіяти щупле та неповноцінне насіння ще до етапу сепарації за питомою вагою. Дротяна конструкція також забезпечує кращу проникність, що є суттєвою перевагою над пробивними решетами.

Після аналізу на лабораторних решетах, а також після тестового калібрування матеріалу (пшениця озима) на ОКМФ-3 було підібрано оптимальний розмір решета Фадєєва (щілинне). На першому етапі дрібне насіння (щупле, недорозвинене) проходить крізь щілини 2,5 мм та зсипається у відповідний бункер. Наступне решето з щілинами 2,9 мм дозволяє розділити залишкову масу на середню і крупну фракції. Рельєф решет Фадєєва не є плоским, він спрямований так, що орієнтує зерно певним чином, змушуючи його «ставати» у щілину боком – саме це дозволяє точно класифікувати насіння за розміром. Таке рішення принципово відрізняється від пробивних решет, де напрям руху і орієнтація зерна є випадковими.

Решето 2,5 і 2,9 дозволяє відібрати від загальної маси насіння, що потрапляє на лінію (1 т/год), 600 кг середнього і крупного насіння, маса 1000 насінин якого перевищує 52 г.

Решета зроблені з металевого дроту, і в готовому вигляді складають решето з основ і поперечини, при цьому поперечний зазор є основоположним робочим розміром для калібрування зернових та інших культур. Такі решета мають декілька переваг над пробивними щілинними решетами.

1) За рахунок дротяної конструкції решето Фадєєва має значну перевагу в проникності над пробивними ситами, так як в пробивних ситах так звана основа і поперечина може мати різний розмір в залежності від щілини, в решетах Фадєєва цей розмір завжди однаковий – це діаметр металевого дроту 2 мм.

2) Краща якість калібрування і очищення насіння. За рахунок рельєфу вони примусово орієнтують зерно для «примірки» до робочого розміру отвору, на плоских решетах зернівка переміщається без будь-якої орієнтації.

На рисунку 7 показано експериментальні результати порівняння проникності дротяних (Фадєєва) і пробивних щілинних решет при ширинах щілини a від 1,0 до 5,0 мм. За визначенням, проникність решета $\mu = f / F$, де f – сума площ усіх щілин, F – загальна площа поверхні решета. Зі збільшенням ширини щілини збільшується площа отворів, тож μ зростає. Криві проникності обох типів решет монотонно зростають із збільшенням розміру a : вузькі щілини пропускають менше зерна, а при $a \approx 5$ мм обидві мають вже значну відкриту площу. Проте решета Фадєєва стабільно забезпечують вищий μ при кожному значенні a (рис. 6). Так, у практиці дротяних решет типові значення $\mu \approx 0,62 \dots 0,84$, тоді як у пробивних (штампованих) – лише $\mu \approx 0,44 \dots 0,49$.

Дротяне решето Фадєєва має суттєві геометричні переваги. Дротяна конструкція формує суцільний профіль щілини без зайвого металу між отворами, тобто вища відносна відкрита площа. Це ілюструють наведені співвідношення μ : більша μ означає вищу проникаючу здатність. Крім того, рельєфна (викривлена) геометрія щілини Фадєєва діє як лійка – зерно «примушується» розвернутись так, щоб пройти тоншою стороною (товщиною) через отвір. Плоскі пробивні решета орієнтують зерно випадково, тоді як на Фадєєвих це відбувається ефективно – зерно за рухом «повертається боком» і підлаштовується під мінімальний розмір щілини. З технічної точки зору це також дає більш рівномірне просіювання. Крім того, у дротяних решетах Фадєєва відсутні гострі кути і зазублини: на практиці це означає, що зерно не травмується при просіюванні (у решетах немає виступів чи «окисних кромок»). Загалом

ці особливості забезпечують значно вищу проникність Фадєєвих решет порівняно зі звичайними пробивними.

Вища проникність решет безпосередньо підвищує пропускну здатність (продуктивність) калібрувальної машини. При сталому розмірі решета (той самий модуль чи розмір установки) більша площа отворів дозволяє обробляти більше зерна за одиницю часу. Як зазначено виробником, «проникність наших решет більше, ніж решет штампованого виконання, це дозволяє збільшити продуктивність всього існуючого зерноочищувального обладнання». Тобто заміна пробивних на дротяні решета Фадєєва гарантує суттєве зростання продуктивності калібрування при тій же якості сортування.

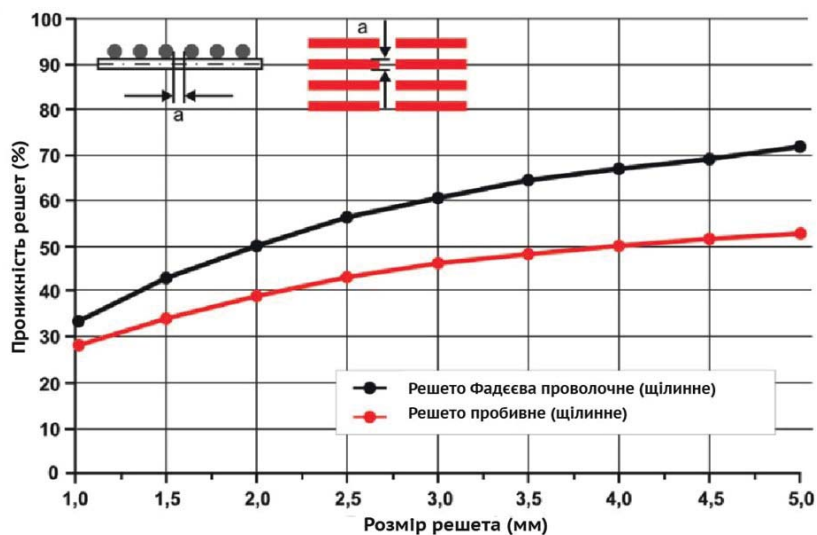


Рисунок 6 – Порівняння проникності (%) дротяних (решет Фадєєва) та пробивних щілинних решет при ширині щілини а від 1,0 до 5,0 мм.

Джерело: розроблено авторами

Саме ця властивість виправдовує використання Фадєєвих решет у мобільних насінневих комплексах. Таке рішення забезпечує задану продуктивність (наприклад, 10–25 т/год) без підвищення вібрації чи травмування насіння. На рисунку 7 видно, що саме дротяна конструкція вирізняється максимальним μ в усьому діапазоні ширин щілин. Отже, застосування дротяних щілинних решет Фадєєва в мобільних комплексах дозволяє досягти високої продуктивності калібрування при покращеній якості очищення насіння.

Система очищення сит реалізована поліуретановими кульками, що запобігають забиванню комірок (рис. 7).

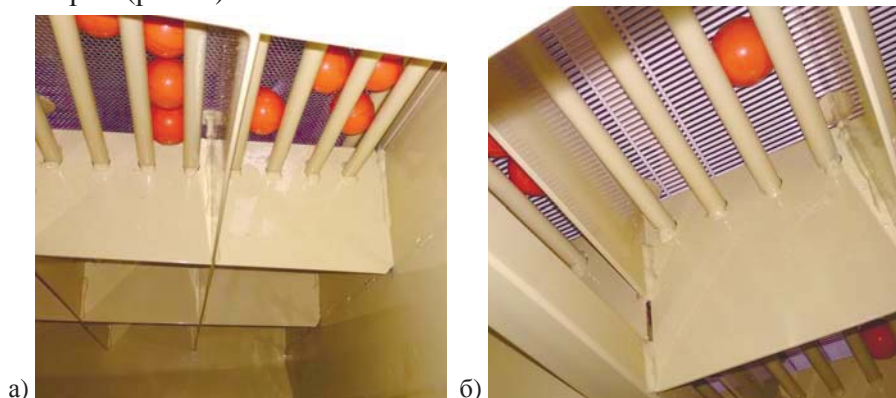


Рисунок 7 – Очищення сит (а) та решет Фадєєва (б) кульками

Джерело: розроблено авторами

Завершальний етап підготовки – сепарація за питомою вагою на пневмовібросолі ПВСФ-1 (рис. 8). Принцип його роботи ґрунтується на створенні псевдозрідженого шару насіння, або стану «кипучості», завдяки подачі повітря через перфоровану поверхню деки та її одночасної вібрації. Це дозволяє розділити насіння на фракції: важке (повноцінне) переміщується до одного борту, а легке (щупле, недомолот) – до іншого.

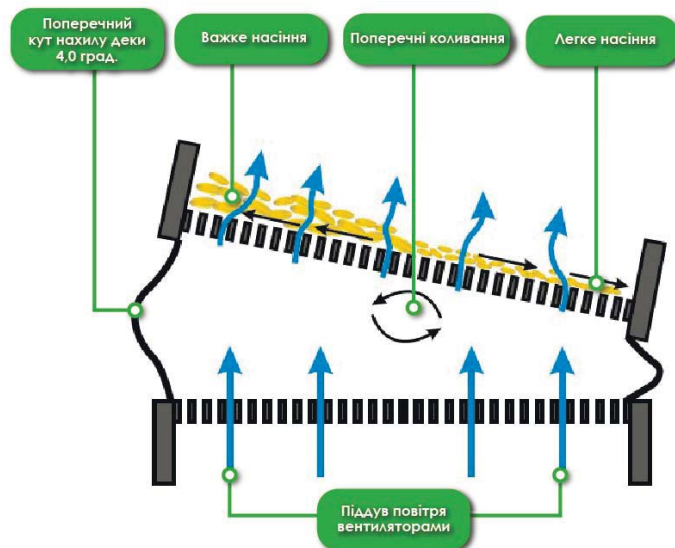


Рисунок 8 – Принцип роботи пневмовібросола ПВСФ-1

Джерело: розроблено авторами

Робочі параметри ПВСФ-1 тонко налаштовуються за допомогою частотних перетворювачів, які керують:

- Піддувами повітря – Піддув 1 (початок деки) на 42 Гц створює «кипучість», а Піддув 2 (кінець деки) на 40 Гц підтримує шар і забезпечує остаточне розділення (рис. 9, а). Відхилення від цих значень погіршує розшарування.
- Частотою коливань деки – має оптимальне значення 38 Гц, що гарантує плавний рух і якісне розділення.
- Кутами нахилу деки – поперечний нахил ($4,0^\circ$) спрямовує важке насіння вгору, а поздовжній ($3,5^\circ$) – до переднього борту.

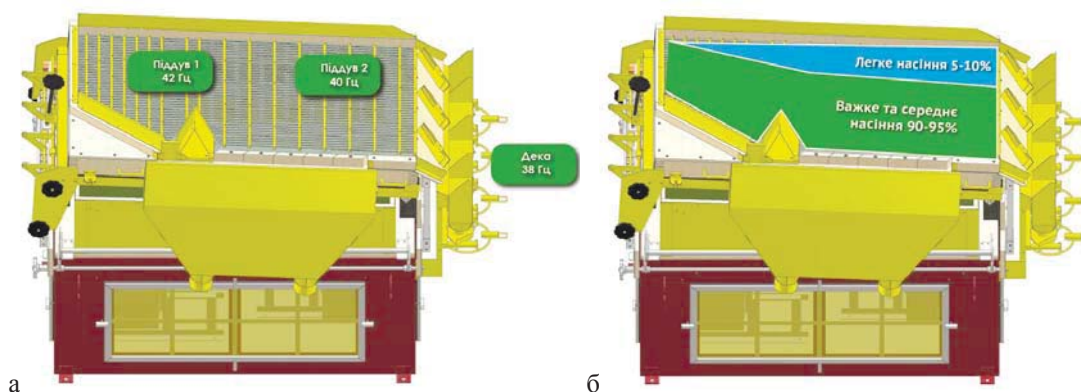


Рисунок 9 – Розділення важкого, середнього і легкого насіння на деці ПВСФ-1

Джерело: розроблено авторами

Точне налаштування цих параметрів є критичним для отримання якісного результату, оскільки дозволяє уникнути змішування фракцій та мінімізувати втрати цінного матеріалу. Випробування мобільної лінії проводилися з озимою пшеницею. Результати продемонстрували високу ефективність щадної пофракційної технології.

У результаті проведених випробувань було встановлено, що розроблена мобільна лінія забезпечує стабільну продуктивність на рівні 1 т/год на вході, з якої отримують 500 кг/год готового високоякісного насіння. Якісні показники обробленого матеріалу свідчать про високу ефективність реалізованої технології: маса 1000 насінин склала 52,3 г, вміст домішок не перевищував 0,2 %, а вологість насіння залишалась у межах 12,5...13 %, що відповідає оптимальним технологічним параметрам зберігання та сівби.

Наведені показники підтверджують ефективність роботи кожного окремого технологічного модуля лінії, зокрема правильне налаштування очисних, калібрувальних та сепарувальних вузлів, що дозволяє якісно відокремити неповноцінне або травмоване зерно й забезпечити стабільну якість кінцевого продукту.

Для об'єктивної оцінки наукової та практичної цінності розробленої технології результати випробувань були зіставлені з нормативними вимогами, визначеними чинними державними стандартами – ДСТУ 2240-93 та ДСТУ 4138-2002 – щодо якості насіння озимої пшениці високих репродукцій. Згідно з цими нормативами, насіння має відповідати ряду параметрів за чистотою, масою, схожістю та вологістю. Отримані під час випробувань значення не лише відповідають цим вимогам, але й значно їх перевищують, що свідчить про високий рівень реалізованої технології. Зокрема, встановлено, що параметри насіння за концепцією «Сильного насіння» були на рівні або вище нормативних, з підвищеною енергією проростання, що є критично важливим показником у сільськогосподарському виробництві.

У контексті порівняльного аналізу з комерційними аналогами для зіставлення було обрано мобільну станцію для підготовки насіння, виготовлену ТОВ НВП «Аеромех» [10], яка є одним з основних представників ринку у відповідному сегменті. Таке порівняння дозволяє комплексно оцінити переваги запропонованої мобільної лінії як з точки зору якості підготовки, так і з позицій універсальності, щадного режиму обробки та можливості адаптації до широкого спектра культур (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння з комерційними аналогами

Параметр / Елемент	Мобільна насіннева лінія ТОВ «Завод Фадєєв Агро»	Насіннева мобільна станція ТОВ НВП «Аеромех»
Продуктивність на вході	1000 кг/год	1000 кг/год
Вихід якісного насіння	~500 кг/год	Не вказано
Сепарація за питомою вагою	ПВСФ-1	аеросепаратор САД
Калібрування	ОКМФ-3 з решетами Фадєєва	відсутнє
Щадне транспортування	щадна норії НФ	норія тип, не вказано
Модульність	можна використовувати окремі вузли	можна використовувати окремі вузли
Інновації	сита Фадєєва для очищення і решета Фадєєва для калібрування, ПВСФ-1, багатоступеневий розподіл	сито для очищення великого сміття, аеросепаратор
Регулювання параметрів	плавне (частотні, кут нахилу, піддув)	частотні на аеросепараторі і на протруювачі
Аспірація	місцева, циклон	модуль аспірації
Автономність/мобільність	повна	повна
Наукове підґрунтя	наявне (концепція «Сильного насіння»)	не вказано
Ремонтпридатність	висока (роздільна конструкція)	не вказано
Наявність протруювача	окремо від лінії	наявне

Джерело: розроблено авторами

Перевага технології Фадєєва полягає у використанні інноваційних сит і решет, що дозволяють калібрувати насіння не лише за розміром, а й за формою та орієнтацією, а також у точному регулюванні повітряних потоків і нахилів на пневмовібростолі.

Насіннева мобільна станція ТОВ НВП «Аеромех» не має окремого блоку для калібрування та не зазначає параметрів щадного транспортування, що обмежує точність і адаптивність процесу.

За фактичними показниками якості насіння мобільна лінія Фадєєва демонструє значне перевищення нормативів та більш високий рівень очищення, калібрування й сепарації.

Результати дослідного випробування мобільної лінії за щадною пофракційною технологією «Сильного насіння» підтвердили можливість транспортування принципів високоточного насінневого виробництва у мобільний формат без втрати технологічної стабільності. Встановлено, що ефективність лінії визначається не окремими операціями, а узгодженістю всіх технологічних модулів, де щадне транспортування, попереднє калібрування та точна сепарація формують єдиний послідовний цикл.

Експериментально доведено значущість маси та питомої ваги зернівки як визначальних показників її біологічної повноцінності. Насіння, відібране за масою та щільністю, демонструвало підвищену енергію проростання та потенційну продуктивність, що підтверджує ефективність пофракційного підходу для роботи у мобільних комплексах, де критично важлива точність на всіх етапах.

Особлива роль належить пневмовібростолу: встановлені оптимальні параметри вібрацій та повітряних потоків дозволили отримати стабільний псевдозріджений шар і якісне розшарування матеріалу. Отримані дані доводять високу чутливість процесу до регулювань і вказують на необхідність прецизійного налаштування під конкретні сорти та культури.

Важливим практичним результатом стало підтвердження ефективності калібрування перед сепарацією. Решета Фадєєва забезпечили впорядкований рух зерна, підвищивши точність роботи лінії та зменшивши втрати повноцінного насіння. Щадне транспортування за допомогою тихохідних норій із поліетиленовими ковшами дозволило мінімізувати мікротравмування, що прямо позначається на життєздатності й польовій схожості.

У підсумку, дослідження підтвердило технологічну та практичну доцільність застосування мобільних ліній, створених на основі щадної пофракційної технології. Отримані результати формують наукове підґрунтя для подальшого вдосконалення конструкцій обладнання, автоматизації керування параметрами та розширення сфери застосування на інші культури.

Висновки:

1. Експериментально підтверджено ефективність мобільної лінії, створеної на основі щадної пофракційної технології «Сильного насіння», та обґрунтовано її придатність до впровадження у виробничих умовах різних типів господарств.

2. Встановлено, що технологічний результат формується комплексною дією всіх модулів, включно з нетравмуючим транспортуванням, попереднім калібруванням та сепарацією за питомою вагою, що забезпечує отримання високоякісного посівного матеріалу.

3. Отримані показники якості насіння – маса 1000 насінин, чистота, вологість, енергія проростання та вихід кондиційного матеріалу – перевищили вимоги чинних стандартів, що свідчить про технологічну ефективність запропонованої лінії.

4. Показано важливість прецизійних налаштувань пневмовібростолу, які забезпечують стабільність псевдозріженого шару та точність виділення фракцій за щільністю.

5. Доведено доцільність калібрування перед сепарацією: застосування дротяних решет Фадєєва забезпечує впорядкування потоку зерна та підвищує селективність відбору важкої фракції.

6. Підтверджено значення щадного транспортування, що мінімізує мікротравмування зерна й зберігає його життєздатність, що особливо важливо для мобільних комплексів.

7. Порівняльний аналіз із ринковими аналогами засвідчив переваги запропонованої мобільної лінії щодо точності очищення, наявності окремого модуля калібрування, гнучкості налаштувань та універсальності.

8. Окреслено перспективні напрями подальших досліджень: автоматизація керування параметрами, розширення спектра культур, впровадження комбінованих технологічних модулів, а також довготривалий моніторинг впливу підготовленого насіння на врожайність.

Список літератури

1. Алієв Е. Б., Дудін В. Ю., Гаврильченко А. С., Івлєв В. В. Моделювання процесу сепарації сипкого матеріалу залежно від його фізико-механічних властивостей. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. Миколаївський національний аграрний університет. 2019. № 4. С. 114–121. doi: 10.31521/2313-092X
2. Заїка, П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т.3; Розд. 7. Очистка і сортування насіння. Харків : Око, 2006. 407 с.
3. Механічне травмування зерна після збирання / В. В. Опалко та ін. *Agroexpert*. 2017. № 2. С. 1–8.
4. Чурсінов, Ю., Кудрявцев, І., Луценко, М. Розробка мобільної установки для сортування зернових відходів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2022. №2(12). С.93–99. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.02.14>
5. Сильне насіння. *Fadeev Agro*. URL: https://fadeevagro.com/books_articles/article/sylne_nasinnya/ (дата звернення: 27.11.2025)
6. Норія Фадєєва. *Fadeev Agro*. URL: <https://fadeevagro.com/products/norija-fadeeva/> (дата звернення: 27.11.2025)
7. Очисна калібруюча машина Фадєєва ОКМФ. *Fadeev Agro*. URL: <https://fadeevagro.com/products/ochysna-kalibruyucha-mashyna-fadyeyeva-okmf/> (дата звернення: 27.11.2025)
8. Пневмовібростіл ПВСФ-1. *Fadeev Agro*. URL: <https://fadeevagro.com/pvsf-1/> (дата звернення: 27.11.2025)
9. Мобільний насінневий завод 1т. *Fadeev Agro*. URL: <https://fadeevagro.com/plants-and-lines/mobilnyy-nasinnnyevyy-zavod-1t/> (дата звернення: 27.11.2025)
10. Насіннева мобільна станція. *ТОВ НВП «Аеромех»*. URL: <https://aeromehcad.com.ua/goods/nasinnva-mobilna-stantsiya/> (дата звернення: 27.11.2025).

References

1. Aliiev, E. B., Dudin, V. Yu., Havrylchenko, A. S., & Ivliev, V. V. (2019). Modeling of the separation process of bulk material depending on its physical and mechanical properties. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*, 4, 114–121. <https://doi.org/10.31521/2313-092X>
2. Zaika, P. M. (2006). Theory of agricultural machines. Cleaning and sorting of seeds. Kharkiv: Oko. [in Ukrainian]
3. Opalko, V. V., et al. (2017). Mechanical damage of grain after harvesting. *Agroexpert*, 2, 1–8. [in Ukrainian]
4. Chursinov, Yu., Kudriavtsev, I., & Lutsenko, M. (2022). Development of a mobile unit for sorting grain waste. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New Solutions in Modern Technologies, 2(12), 93–99. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2022.02.14>

5. Fadeev Agro. (n.d.). Strong seeds. Retrieved November 27, 2025, from https://fadeevagro.com/books_articles/article/sylne_nasinnya/
6. Fadeev Agro. (n.d.). Fadeev's bucket elevator. Retrieved November 27, 2025, from <https://fadeevagro.com/products/norija-fadeeva/>
7. Fadeev Agro. (n.d.). Fadeev's cleaning and calibrating machine OKMF. Retrieved November 27, 2025, from <https://fadeevagro.com/products/ochysna-kalibruyucha-mashyna-fadyeyeva-okmf/>
8. Fadeev Agro. (n.d.). Pneumo-vibrating table PVSF-1. Retrieved November 27, 2025, from <https://fadeevagro.com/pvsf-1/>
9. Fadeev Agro. (n.d.). Mobile seed plant 1t. Retrieved November 27, 2025, from <https://fadeevagro.com/plants-and-lines/mobilnyy-nasinnyevyy-zavod-1t/>
10. Aeromeh CAD. (n.d.). Seed mobile station. Retrieved November 27, 2025, from <https://aeromehcad.com.ua/goods/nasinnva-mobilna-stantsiya/>

Stupak Bohdan, PhD student, **Serhii Yakhin**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Technical Solution and Test Results of the Mobile Seed-processing Line Based on the Gentle Fractional Technology “Strong Seed”

The purpose of the article is to substantiate the applicability, technological effectiveness, and stability of the gentle fractional pneumatic-vibrational seed processing technology “Strong Seed” when implemented in a mobile format. The study aims to determine whether the transition from stationary high-precision seed lines to compact mobile systems can preserve the quality parameters of seed material, ensure stable fractionation performance, and provide high adaptability to field conditions. Additionally, the research seeks to identify technological patterns influencing the quality indicators of processed seeds and the operational stability of the mobile line under experimental load.

The conducted work included a full experimental assessment of the mobile seed processing line equipped with pneumatic-vibrational modules that implement fraction-based separation under reduced mechanical impact. During the trials, the authors evaluated changes in grain–grain and grain–impurity interactions, separation stability across various fractions, the influence of airflow and vibration parameters, and the sensitivity of the system to fluctuations in source material quality. A detailed analysis was performed on the behavior of biological and passive impurities, distribution of seed material across fractions, and the degree of sorting accuracy achieved under different modes. The study established a set of characteristic technological patterns governing stable operation of the mobile line, such as the consistency of fraction boundaries, the effect of air channel geometry on separation quality, and the role of synchronized air-vibration fields in maintaining gentle handling conditions. The obtained results demonstrate that even under mobile deployment constraints, the system ensures minimal seed damage, high uniformity of separation, stable throughput, improved germination potential, and superior removal of lightweight, damaged, and biologically compromised particles.

The conclusions confirm that the mobile implementation of the “Strong Seed” pneumatic-vibrational technology fully preserves the advantages previously demonstrated in stationary industrial systems. The results verify that the mobile line maintains technological precision, gentle grain handling, and consistent separation quality, meeting the requirements for high-class seed material. Identified technological regularities explain the stable performance of the system and validate the feasibility of using mobile pneumatic-vibrational equipment for decentralized high-quality seed production. The findings open prospects for further optimization of mobile seed processing systems, development of adaptive control algorithms, and expansion of the technology to a wider range of crop species.

mobile processing line, seeds, soft processing technology, seed cleaning, grading, seed separation

Одержано (Received) 02.12.2025

Прорецензовано (Reviewed) 16.12.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025