
Дослідження умов та принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації у коренебульбозбиральних машинах

Сергій Грушецький

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-0487-6152

Олег Фльонц

Кафедра машиновикористання і технологій в сільському господарстві, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут», м. Бережани Тернопільська область, Україна
ORCID 0009-0004-5885-3708

Для цитування цієї статті:

Грушецький Сергій, Фльонц Олег. Дослідження умов та принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації у коренебульбозбиральних машинах. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 4, No. 2, 2025, pp. 62-83.

doi: 10.46299/j.isjea.20250402.05

Надійшла до редакції: 27 лютого 2025 р.; **Схвалено:** 26 березня 2025 р.;

Опубліковано: 01 квітня 2025 р.

Анотація: Дослідження умов та принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації у коренебульбозбиральних машинах є важливим етапом удосконалення технологічного процесу збору коренеплодів. Ці машини, що використовуються для збирання картоплі, моркви, буряків та інших коренеплодів, мають на меті максимальну ефективність сепарації ґрунту, коренеплодів та інших домішок з мінімальними втратами основної продукції. Однією з основних проблем у роботі таких машин є правильний розподіл компонентів між різними органами вторинної сепарації, такими як сита, барабани та іншими механізмами, що забезпечують очищення від бруду і часток рослин. При цьому необхідно враховувати фізико-механічні властивості коренеплодів, а також умови роботи машини, які залежать від типу ґрунту, вологості та інших факторів. Основними принципами розподілу компонентів є оптимізація роботи органів сепарації для забезпечення максимальної ефективності очищення при мінімальних витратах енергії та зниженні механічних пошкоджень коренеплодів. Для цього важливо правильно налаштувати параметри руху матеріалу, такі як швидкість обертання барабанів, кут нахилу сит, а також розміри та форма сепараційних елементів. Крім того, слід враховувати фактори, що впливають на рухливність коренеплодів і ґрунту, зокрема їхню форму, розмір та ступінь злежаності. Завдяки дослідженню і оптимізації процесів вторинної сепарації можна значно підвищити ефективність роботи коренебульбозбиральних машин, зменшити втрати продукції та знизити її механічне пошкодження. Це сприяє зниженню витрат на обробку та збереження якості врожаю, що є критичним для аграрного виробництва.

Ключові слова: коренебульбозбиральні машини, вторинна сепарація, розподіл компонентів, органи сепарації, ефективність очищення, фізико-механічні властивості, сепараційні елементи, втрати продукції, механічні пошкодження, технологічний процес, оптимізація процесу.

1. Вступ

Коренебульбозбиральні машини є важливими елементами сучасного сільськогосподарського виробництва, що забезпечують ефективне збирання врожаю коренеплодів. Однією з ключових задач цих машин є максимально точно та ефективно очищення зібраних продуктів від ґрунту, каміння та інших домішок. Це досягається завдяки роботі органів сепарації, зокрема, первинної та вторинної, що є невід'ємною частиною технологічного процесу [1, 3].

У процесі вторинної сепарації коренеплоди проходять додаткову обробку для видалення залишків ґрунту, дрібних часток рослин та інших забруднень, що можуть залишатися після первинної обробки. Однак для забезпечення високої ефективності цього процесу необхідно правильно розподіляти компоненти між різними органами сепарації, такими як барабани, сита, решета та інші механізми, що відповідають за очищення.

Важливим аспектом цього процесу є врахування фізико-механічних характеристик коренеплодів, зокрема їх форми, розміру, маси та здатності до переміщення в умовах роботи машини. Також слід враховувати змінні умови, такі як вологість ґрунту, наявність каміння або інших домішок, що значною мірою впливають на ефективність сепарації.

Метою дослідження є вивчення умов та принципів розподілу компонентів між органами вторинної сепарації в коренебульбозбиральних машинах. Це дозволить оптимізувати роботу цих машин, знизити втрати продукції, зменшити механічні пошкодження коренеплодів та покращити якість зібраного врожаю. Вивчення факторів, що впливають на процес сепарації, є важливим кроком до розвитку більш ефективних та економічно вигідних технологій у сільському господарстві.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження: коренебульбозбиральні машини, зокрема їхні органи вторинної сепарації, що відповідають за очищення коренеплодів від ґрунту, каміння та інших домішок після первинної обробки.

Предмет дослідження: умови та принципи розподілу компонентів (коренеплодів, ґрунту, каміння та інших домішок) між різними органами вторинної сепарації в коренебульбозбиральних машинах, а також фактори, що впливають на ефективність цього процесу, зокрема фізико-механічні властивості коренеплодів, характеристики ґрунту та параметри роботи сепараційних елементів.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є вивчення умов та принципів розподілу компонентів (коренеплодів, ґрунту, каміння та інших домішок) між органами вторинної сепарації в коренебульбозбиральних машинах з метою оптимізації процесу очищення та підвищення ефективності роботи цих машин.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **основні задачі**:

- проаналізувати фізико-механічні властивості коренеплодів та їх вплив на процес сепарації;
- вивчити умови, що визначають ефективність розподілу компонентів між органами вторинної сепарації (сита, барабани, решета тощо);
- оцінити вплив змінних факторів, таких як вологість ґрунту, розмір і форма коренеплодів, на роботу сепараційних елементів;
- дослідити параметри руху матеріалу (швидкість обертання, кут нахилу сит тощо) для оптимізації процесу очищення;
- визначити способи зменшення механічних пошкоджень коренеплодів при сепарації.

- розробити рекомендації для покращення конструкцій органів вторинної сепарації з урахуванням результатів дослідження;

Дослідження має на меті підвищити ефективність роботи коренебульбозбиральних машин, зменшити втрати продукції, мінімізувати пошкодження коренеплодів та забезпечити високу якість очищеного врожаю;

4. Аналіз літератури

Проблемі вирощування та збирання картоплі присвячено чимало друкованих праць. Проблемами картопляної галузі займалися і займаються такі вчені, як Грушецький С.М., Гуцол Т.Д, Булгаков В.М., Смолінський С.В. та ін. [1-16].

Явищем та моделювання процесу сепарації картопляного вороху займався у своїх працях Фірман Ю.П. [10].

Питаннями розробки та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача займався Бончик В.С. [12].

Останніми дослідженнями слід вважати науковий пошук і обґрунтування конструкції і параметрів спірального сепаратора картопляного вороху та обґрунтування параметрів поздовжніх транспортерів-сепараторів коренезбиральних машин присвячено дослідження Булгакова В.М. Смолінського С.В., Фльонц І.В. та ін. [13, 14].

Стратегічні питання з вирощування картоплі в Україні з використанням найсучасніших технологій і техніки, які б мали конкурентоспроможні якісні показники, дослідники у своїх працях, на жаль, оминають аналіз сучасного стану картоплярства в Україні є завжди актуальною проблемою.

5. Методи досліджень

1. Експериментальні методи.

Для дослідження умов та принципів розподілу компонентів у коренебульбозбиральних машинах застосовуватимуться експериментальні методи, які включають:

- польові експерименти з використанням коренебульбозбиральних машин у реальних умовах збирання врожаю. це дозволить вивчити роботу органів вторинної сепарації в умовах різної вологості ґрунту, типів ґрунтів та розмірів коренеплодів;

- лабораторні випробування для моделювання процесу сепарації та оцінки ефективності роботи сепараційних елементів при різних налаштуваннях машин.

2. Математичне моделювання та комп'ютерне моделювання.

Моделювання процесів руху коренеплодів та домішок у сепараційних органах за допомогою спеціалізованих програм дозволить більш точно оцінити розподіл компонентів та оптимізувати параметри роботи машин, такі як швидкість обертання барабанів, кути нахилу сит, розміри отворів у сепараційних елементах.

3. Аналіз фізико-механічних властивостей матеріалів.

Для дослідження фізико-механічних властивостей коренеплодів та їхнього впливу на процес сепарації будуть використовуватися методи механічного випробування (наприклад, визначення коефіцієнта тертя, твердості, міцності на стиснення та розтягнення) для кожного виду коренеплодів. Це дозволить визначити, як ці властивості впливають на ефективність очищення та розподіл компонентів.

4. Статистичний аналіз.

Для оцінки ефективності різних параметрів роботи коренебульбозбиральних машин буде використано статистичне моделювання результатів експериментів. Це допоможе виявити оптимальні режими роботи та знизити рівень втрат продукції.

5. Метод техніко-економічного аналізу.

Застосування техніко-економічних розрахунків дозволить оцінити ефективність запропонованих змін у конструкціях та режимах роботи машин. Цей метод допоможе порівняти витрати на матеріали, енергетичні ресурси та час, а також визначити економічну доцільність впровадження нових технологій.

Ці методи в сукупності дозволяють провести комплексне дослідження та оптимізувати процеси сепарації в коренебульбозбиральних машинах для підвищення їхньої ефективності та зниження втрат при збиранні коренеплодів.

6. Результати досліджень

Успішне збирання коренеплодів та їх очищення від ґрунту та інших домішок залежить від ефективності роботи коренебульбозбиральних машин, зокрема від вторинної сепарації. Вторинна сепарація є важливою стадією, що забезпечує подальшу очистку коренеплодів після первинного етапу збирання. Цей процес здійснюється через органи сепарації, які розподіляють коренеплоди, ґрунт і домішки, що дозволяє досягти максимальної ефективності очищення та мінімізації втрат продукції.

Основним завданням вторинної сепарації є правильний розподіл компонентів між різними органами сепарації, такими як сита, барабани, решета та інші механізми, що допомагають очистити коренеплоди від забруднень. Параметри, що визначають ефективність сепарації, включають швидкість руху матеріалу, форму та розміри сепараційних елементів, а також технічні характеристики ґрунту, розмір коренеплодів і їх фізико-механічні властивості.

Умови та принципи розподілу компонентів:

- **фізико-механічні властивості коренеплодів.** Розподіл компонентів між органами сепарації в значній мірі залежить від фізико-механічних властивостей коренеплодів, таких як маса, форма, розмір, злежаність та схильність до механічних пошкоджень. Кожен тип коренеплоду (наприклад, картопля, морква, буряк) має свої особливості, що визначають характер його взаємодії з сепараційними елементами;

- **вплив умов ґрунту.** Вологість ґрунту, наявність каміння, засміченість рослинними залишками – всі ці фактори впливають на процес сепарації. Вологі ґрунти можуть злежуватися, що ускладнює розподіл коренеплодів і підвищує ризик їхнього пошкодження. Відповідно, для кожного типу ґрунту необхідно налаштовувати параметри роботи органів сепарації для досягнення оптимальної ефективності;

- **налаштування органів сепарації.** Різні органи сепарації (сита, барабани, решета) мають різний вплив на процес очищення. Наприклад, барабани ефективно відокремлюють більші домішки, але можуть мати обмеження щодо відокремлення дрібних часток. Сита допомагають видалити дрібні частки ґрунту та рослин, але для цього необхідно точно налаштувати їхні отвори відповідно до розміру та форми коренеплодів.

- **оптимізація параметрів роботи машин.** Для максимального ефекту сепарації важливо правильно налаштувати параметри роботи машин: швидкість обертання барабанів, кут нахилу сит та решет, а також розмір і форму сепараційних елементів. Це дозволяє створити умови для максимального розподілу компонентів, зменшити втрати продукції та підвищити її якість;

- **інноваційні технології.** Впровадження інтелектуальних систем управління та автоматизації в процеси вторинної сепарації допомагає адаптувати роботу органів сепарації до змінних умов експлуатації. Використання датчиків та сенсорних систем дозволяє здійснювати моніторинг процесу очищення в реальному часі та автоматично коригувати параметри роботи в залежності від характеристик коренеплодів і ґрунту.

Фізико-механічні властивості коренеплодів значно впливають на ефективність процесу сепарації в коренебульбозбиральних машинах. Процес сепарації передбачає відділення

коренеплодів від ґрунту та інших домішок, тому важливо враховувати ряд фізичних характеристик самих коренеплодів, які визначають їх поведінку в процесі очищення.

Форма та розмір коренеплодів

Форма та розмір коренеплодів визначають їх взаємодію з органами сепарації, зокрема з ситами, барабанами та решетами:

– **форма.** Коренеплоди з нерівною, неправильними або сильно вигнутими формами (наприклад, морква або буряк) можуть важче проходити через сита або решета, що ускладнює сепарацію і збільшує ймовірність їх пошкодження. Однак, більш прямі або округлі коренеплоди (наприклад, картопля) легше проходять через механізми сепарації;

– **розмір.** Великі коренеплоди, як правило, зменшують ефективність процесу сепарації, оскільки вони можуть блокувати проходження більш дрібних часток через сепараційні елементи. У той час як дрібні коренеплоди можуть випадати через отвори у сітках, призводячи до втрат продукції.

Тому для досягнення оптимального процесу сепарації важливо налаштувати параметри сит або барабанів залежно від розміру та форми коренеплодів.

Маса коренеплодів

Маса коренеплодів прямо впливає на їхню здатність до руху в сепараційних елементах. Більш масивні коренеплоди мають більшу інерцію, що може ускладнювати їх переміщення через сепараційні елементи, зокрема сито. Це може призвести до зменшення ефективності очищення та збільшення ймовірності механічних пошкоджень. Легші коренеплоди можуть швидше проходити через сито, але з більшою ймовірністю залишатимуть ґрунт чи каміння, що потребує додаткового очищення.

Твердість та міцність коренеплодів

Твердість та міцність коренеплодів визначають їх здатність до механічного пошкодження під час сепарації. Коренеплоди з низькою міцністю (наприклад, картопля, яка може бути легко пошкоджена) можуть зазнати значних втрат через тріщини або розриви, що можуть виникати під час обробки через грубі механізми сепарації. Тому важливо застосовувати більш м'які режими роботи для таких культур, щоб мінімізувати втрати. З іншого боку, твердіші коренеплоди (наприклад, морква або буряк) можуть бути більш стійкими до механічних пошкоджень, але також можуть спричинити більший знос механізмів сепарації.

Вологість коренеплодів

Вологість коренеплодів може значно вплинути на їх взаємодію з ґрунтом і механізмами сепарації. Вологі коренеплоди можуть мати тенденцію до злипання між собою, що ускладнює їх розподіл на органах сепарації. Водночас сухі коренеплоди можуть бути крихкими та схильними до механічних пошкоджень. Зміна вологості також змінює тертя між коренеплодами та поверхнею сепараційних елементів, що може знижувати ефективність очищення.

Стійкість до злежування

У випадку злежаних коренеплодів, що часто трапляється у вологих або важких ґрунтах, процес сепарації стає значно складнішим. Коренеплоди злипається між собою або з ґрунтом, що ускладнює їх відокремлення. В таких випадках необхідно використовувати більш інтенсивні механічні впливи або змінювати параметри сепараційних елементів для полегшення розриву злежаних грудок і ефективнішого очищення коренеплодів.

Гладкість поверхні коренеплодів

Поверхня коренеплодів також має велике значення для ефективності сепарації. Гладка поверхня коренеплодів забезпечує зменшене тертя при переміщенні через сепараційні елементи, що дозволяє зменшити механічне пошкодження і сприяє кращому проходженню

через сита. Водночас коренеплоди з грубою, шорсткою поверхнею можуть застрягати в механізмах сепарації, що збільшує втрати та знос обладнання.

Фізико-механічні властивості коренеплодів, такі як форма, розмір, маса, твердість, вологість і стійкість до злежування, мають вирішальний вплив на ефективність процесу сепарації. Розуміння цих властивостей дозволяє оптимізувати параметри роботи органів сепарації, вибираючи найбільш ефективні методи для кожного виду коренеплодів. Для забезпечення мінімальних втрат та максимального очищення необхідно налаштовувати коренебульбозбиральні машини відповідно до цих характеристик і типів ґрунтів.

Умови ґрунту мають значний вплив на ефективність сепарації при збиранні коренеплодів. Ґрунт є важливим компонентом процесу, оскільки він впливає на взаємодію між коренеплодами, машинами та механізмами сепарації (сита, барабани, решета тощо). Розглянемо основні аспекти, як різні умови ґрунту можуть впливати на процес сепарації.

Тип ґрунту:

– **пісочні ґрунти.** Пісочні ґрунти мають меншу схильність до злежування і, як правило, легше відокремлюються від коренеплодів. Вони мають велику пористість, що дозволяє воді і повітрю швидко проникати через них, зменшуючи липкість і збільшуючи ефективність сепарації. Коренеплоди, як правило, легше відокремлюються, оскільки не злипаються з ґрунтом, і сепараційні механізми не зазнають великого навантаження;

– **глинисті ґрунти.** Глинисті ґрунти мають високу водоутримувальну здатність і схильні до злежування, особливо при високій вологості. Це значно ускладнює процес сепарації, оскільки коренеплоди можуть прилипати до ґрунту, а механізми сепарації не здатні ефективно їх відокремити. Злежання ґрунту може спричинити утворення грудок, які важко відокремити від коренеплодів, що збільшує навантаження на машину і знижує ефективність роботи органів сепарації;

– **суглинисті ґрунти.** Суглинисті ґрунти поєднують властивості пісаних і глинистих ґрунтів. Вони можуть бути досить щільними, що ускладнює сепарацію, однак менш схильні до злежування, ніж глинисті ґрунти. Це дозволяє досягти деякої ефективності в процесі сепарації, але необхідно враховувати вологість і консистенцію ґрунту, що може змінюватися в залежності від погодних умов.

Вологість ґрунту

Вологість ґрунту є однією з основних умов, яка визначає ефективність сепарації. Вона може значно змінювати поведінку ґрунту і коренеплодів під час роботи машини:

– **висока вологість.** При високій вологості ґрунт має схильність до злежування, що може призводити до утворення грудок ґрунту, які складно відокремити від коренеплодів. У таких умовах коренеплоди можуть прилипати до мокрого ґрунту, що ускладнює їх транспортування і очищення. Це створює додаткове навантаження на органи сепарації (сита, барабани, решета), що може призвести до зниження ефективності очищення і збільшення втрат коренеплодів;

– **низька вологість.** При низькій вологості ґрунт стає більш сипким, що полегшує його відокремлення від коренеплодів. Однак занадто сухий ґрунт може призвести до підвищеного зносу механізмів сепарації, а також до утворення пилу, що може забруднювати продукцію і знижувати її якість. Крім того, сухі коренеплоди можуть бути більш крихкими і підданими механічному пошкодженню під час сепарації.

Щільність ґрунту

Щільність ґрунту має великий вплив на процес сепарації, оскільки вона визначає, як коренеплоди взаємодіють з ґрунтом:

– **тверді ґрунти.** Тверді ґрунти (наприклад, при важких суглинках або в сильно ущільнених ділянках) можуть призводити до збільшеного опору при проходженні через сепараційні механізми. Тверді частки ґрунту, такі як каміння або грудки, можуть пошкоджувати коренеплоди або забивати органи сепарації. У таких умовах необхідно застосовувати більш агресивні режими сепарації, що збільшують знос обладнання;

– **м'які ґрунти.** М'які ґрунти, навпаки, легше відокремлюються від коренеплодів і мають менший опір при проходженні через сепараційні елементи. Однак такі ґрунти можуть бути більш вологими і схильними до злипання, що також може ускладнювати сепарацію.

Наявність каміння та інших домішок

Наявність каміння, рослинних решток, коренів або інших забруднень у ґрунті значно ускладнює процес сепарації. Каміння та тверді домішки можуть забивати сита або барабани, знижуючи ефективність роботи системи і підвищуючи ймовірність пошкодження як самого обладнання, так і коренеплодів. В таких випадках необхідно налаштовувати системи так, щоб камені і інші забруднення відокремлювалися до початку основного процесу сепарації коренеплодів.

Рельєф та структура ґрунту

Рельєф полягає у впливі на характер збирання урожаю. Нерівні ділянки можуть призводити до нерівномірного потоку матеріалу через сепараційні механізми, що негативно впливає на їх ефективність. Ґрунт, що містить нерівні шари або включає сильно ущільнені ділянки, може бути важким для механічного очищення.

Кліматичні умови

Погодні умови, такі як дощі, температура повітря і вологість, безпосередньо впливають на стан ґрунту. Наприклад, після дощів ґрунт може стати липким і важким для обробки, тоді як при високих температурах він може ставати дуже сухим і тріскатися, що також ускладнює сепарацію.

Вплив умов ґрунту на процес сепарації в коренебульбозбиральних машинах має важливе значення для ефективного очищення коренеплодів. Різні типи ґрунтів, їх вологість, щільність, наявність каміння і домішок, а також кліматичні умови значно впливають на налаштування механізмів сепарації. Знання цих умов дозволяє оптимізувати роботу машин і підвищити ефективність очищення коренеплодів, зменшити втрати продукції і поліпшити якість врожаю.

Налаштування органів сепарації є критично важливим етапом для забезпечення ефективності роботи коренебульбозбиральних машин. Це дозволяє досягти оптимальних результатів у процесі відокремлення коренеплодів від ґрунту, каміння та інших домішок. Неправильне налаштування може призвести до втрат продукції, пошкодження коренеплодів або надмірного зносу обладнання. Ось основні аспекти налаштування органів сепарації:

Налаштування сит і решет

Сита та решета використовуються для відокремлення коренеплодів від дрібних часток ґрунту, каменю та інших забруднень. Важливими параметрами для налаштування цих органів є:

– **розмір отворів у ситах і решетах.** Розмір отворів в ситах і решетах повинен відповідати розміру коренеплодів і типу забруднень. Для дрібних коренеплодів (наприклад, морква) використовують сита з меншими отворами, щоб уникнути проходження їх через систему разом з ґрунтом. Для великих коренеплодів (наприклад, картопля) використовують сита з більшими отворами, щоб дозволити коренеплодам проходити через систему, одночасно відокремлюючи більші частки ґрунту;

– **кут нахилу сит і решет.** Кут нахилу сит або решет впливає на ефективність руху матеріалу. Якщо кут занадто крутий, коренеплоди можуть просто ковзати без ефективного очищення. Якщо кут надто малий, процес сепарації може бути повільним і неефективним. Оптимальний кут залежить від типу ґрунту, вологості і форми коренеплодів;

– **швидкість руху органів сепарації.** Важливо налаштувати швидкість руху сит або решет, щоб коренеплоди мали достатньо часу для очищення, але при цьому не затримувалися в системі і не піддавалися пошкодженню. При високій швидкості руху частки ґрунту можуть не встигати проходити через отвори, що знижує ефективність сепарації.

Налаштування барабанів сепарації

Барабани є основними елементами, що відповідають за первинну сепарацію і відокремлення більш крупних часток, таких як ґрунт, каміння і великі домішки:

– **швидкість обертання барабанів.** Швидкість обертання барабанів безпосередньо впливає на ефективність сепарації. Якщо швидкість занадто висока, коренеплоди можуть отримати механічні пошкодження або занадто швидко проходити через систему без належного очищення. Якщо швидкість занадто низька, сепарація буде менш ефективною, і частки ґрунту можуть не відокремлюватися від коренеплодів;

– **покриття барабанів.** Вибір матеріалу та конструкції барабанів впливає на тертя та взаємодію з коренеплодами. Наприклад, для зменшення механічних пошкоджень використовується більш м'які матеріали або спеціальні покриття. Це дозволяє знижувати ризик пошкодження коренеплодів і одночасно підвищувати ефективність роботи барабана;

– **розмір отворів у барабанах.** Розмір отворів у барабанах має відповідати розміру домішок і забруднень, що підлягають відокремленню. Наприклад, для очищення від великих грудок ґрунту використовуються барабани з більшими отворами, в той час як для більш дрібних часток застосовуються барабани з меншими отворами.

Налаштування вібраційних систем

Вібраційні системи допомагають у додатковому розподілі матеріалу і забезпечують ефективніше проходження коренеплодів через сепараційні елементи:

– **частота вібрацій.** Частота вібрацій може варіюватися в залежності від типу матеріалу, що обробляється. Вищі частоти можуть бути корисні для відокремлення більш легких домішок, таких як пил або дрібний ґрунт, а нижчі частоти підходять для важчих часток або великих домішок;

– **амплітуда вібрацій.** Амплітуда вібрацій повинна бути налаштована таким чином, щоб коренеплоди рухалися плавно через органи сепарації, не піддаючись механічним пошкодженням. Водночас, достатня амплітуда дозволяє ефективно відокремлювати ґрунт і забруднення.

Налаштування потоку повітря (для механізмів пневмосепарації)

У деяких сучасних коренебульбозбиральних машинах використовуються системи пневмосепарації, які використовують потік повітря для відокремлення легких часток від коренеплодів:

– **швидкість і напрямок потоку повітря.** Потік повітря має бути налаштований таким чином, щоб він ефективно відокремлював легкі частки ґрунту та інших забруднень від коренеплодів, не підриваючи самі коренеплоди. Напрямок повітряного потоку також має бути оптимальним для запобігання їх випадання з машини разом із забрудненнями.

Автоматизація та контроль

Сучасні коренебульбозбиральні машини оснащені сенсорами і автоматичними системами, які дозволяють в реальному часі відстежувати та коригувати налаштування органів сепарації:

– **автоматичне регулювання.** В залежності від змінних умов (вологість ґрунту, тип забруднень, розмір і форма коренеплодів), автоматичні системи можуть змінювати налаштування швидкості обертання барабанів, кути нахилу сит, інтенсивність вібрацій та інші параметри, щоб забезпечити максимально ефективну сепарацію.

Перевірка та обслуговування

Регулярне обслуговування та перевірка налаштувань органів сепарації є важливими для підтримки ефективності роботи машини. Зношені або забиті сита, барабани та решета можуть значно знизити ефективність сепарації, тому важливо перевіряти стан цих елементів і замінювати їх при необхідності.

Налаштування органів сепарації в коренебульбозбиральних машинах є складним і важливим процесом, який залежить від численних факторів, таких як розмір, форма і властивості коренеплодів, тип ґрунту, а також конструктивні особливості сепараційних елементів. Правильне налаштування сит, барабанів, решет та інших органів сепарації дозволяє значно покращити ефективність роботи машини, зменшити втрати продукції та підвищити її якість.

Оптимізація параметрів роботи коренебульбозбиральних машин є важливим аспектом для підвищення ефективності процесу збирання та очищення коренеплодів. Для забезпечення

високої продуктивності, зменшення втрат продукції та зниження механічних пошкоджень коренеплодів необхідно правильно налаштувати основні параметри роботи машини. Ці параметри можуть включати швидкість руху, налаштування органів сепарації, рівень вібрацій, а також обслуговування та контроль різних систем.

Оптимізація швидкості роботи машини:

– **швидкість руху машини (швидкість транспортування матеріалу).** Швидкість збирання має великий вплив на ефективність роботи коренебульбозбиральної машини. Надто висока швидкість може призвести до недосконалого очищення коренеплодів, оскільки вони не матимуть достатньо часу для проходження через сепараційні органи. З іншого боку, занадто низька швидкість може зменшити загальну продуктивність, що також знижує ефективність роботи машини. Оптимальна швидкість залежить від таких факторів, як тип ґрунту, вологість, розмір і форма коренеплодів;

– **швидкість обертання барабанів та сит.** Швидкість обертання барабанів і сит має безпосередній вплив на процес відокремлення коренеплодів від ґрунту і забруднень. Занадто висока швидкість може призвести до пошкодження коренеплодів, в той час як низька швидкість може знизити ефективність сепарації. Ідеальна швидкість обертання визначається типом сепараційного елемента і фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу.

Налаштування органів сепарації

– **оптимізація розміру отворів сит і решет.** Вибір правильного розміру отворів сит та решет є критично важливим для досягнення оптимальної сепарації. Якщо отвори занадто великі, через них можуть пройти не тільки забруднення, але й коренеплоди. Якщо вони занадто малі, забруднення не будуть ефективно відокремлюватися, що збільшить навантаження на інші елементи сепарації. Оптимальний розмір отворів залежить від розміру коренеплодів та типу забруднень (пісок, глини, каміння);

– **кут нахилу органів сепарації (сит, решет, барабанів).** Кут нахилу визначає швидкість руху матеріалу через сепараційні органи. Надмірно крутий кут може спричинити швидке ковзання коренеплодів, що не дасть їм достатньо часу для очищення. Низький кут нахилу може призвести до затримки матеріалу і зниженої ефективності сепарації. Оптимальний кут варіюється залежно від типу ґрунту, вологості та фізико-механічних властивостей коренеплодів;

– **швидкість вібрацій.** Вібраційні системи мають важливу роль у процесі сепарації. Налаштування частоти і амплітуди вібрацій дозволяє регулювати ефективність розподілу матеріалу через сепараційні елементи. Вищі частоти вібрацій зазвичай використовуються для відокремлення легких часток (наприклад, пилу або дрібного ґрунту), в той час як нижчі частоти застосовуються для відокремлення більш великих часток.

Оптимізація рівня вологості:

– **регулювання вологості ґрунту та коренеплодів.** Волога є важливим фактором у процесі сепарації. Якщо ґрунт занадто вологий, він може злипатися і утворювати грудки, що ускладнює процес очищення. Надмірна вологість також може призвести до пошкодження коренеплодів і збільшити втрати продукції. З іншого боку, занадто сухий ґрунт може бути занадто сипким, що призводить до утворення пилу і забруднення коренеплодів. Оптимальний рівень вологості ґрунту і коренеплодів повинен бути визначений з урахуванням конкретних умов роботи машини.

Автоматизація та сенсорні системи:

– **автоматичне регулювання параметрів.** Сучасні коренебульбозбиральні машини можуть бути оснащені сенсорами і автоматичними системами, які дозволяють регулювати основні параметри роботи машини в реальному часі. Наприклад, автоматичне налаштування швидкості обертання барабанів, кута нахилу сит і решет або рівня вібрацій залежно від зміни умов (вологості ґрунту, типу забруднень, розміру коренеплодів) допомагає досягти оптимальної ефективності сепарації без необхідності ручного втручання;

– **моніторинг і прогнозування параметрів.** Використання сенсорів для постійного моніторингу стану машини дозволяє відстежувати зміну параметрів в реальному часі. Це дає змогу оперативно коригувати налаштування і забезпечити стабільну роботу машини протягом всього процесу збирання. Системи прогнозування можуть також допомогти визначити найбільш ефективні налаштування для конкретних умов роботи.

Оптимізація роботи системи пневмосепарації (якщо є)

У деяких коренебульбозбиральних машинах використовуються системи пневмосепарації для відокремлення легких забруднень (наприклад, пилу або дрібного ґрунту) від коренеплодів. Оптимізація роботи цих систем включає:

– налаштування потоку повітря. Швидкість і напрямок потоку повітря мають бути правильно налаштовані, щоб ефективно відокремлювати легкі частки від коренеплодів, не впливаючи на самі коренеплоди. Якщо потік повітря занадто сильний, він може піднімати навіть більші частки ґрунту або навіть пошкоджувати коренеплоди;

– фільтрація та очищення повітря. Для запобігання забрудненню повітряними частками важливо регулярно очищати фільтри системи пневмосепарації, щоб підтримувати стабільну ефективність роботи.

Перевірка та технічне обслуговування машини:

– **регулярний контроль стану машини.** Регулярне технічне обслуговування та перевірка стану органів сепарації та інших механізмів допомагають виявляти і усувати несправності на ранніх етапах. Зношені або забиті сита, барабани та решета можуть значно знизити ефективність роботи машини, тому важливо підтримувати оптимальні налаштування і своєчасно здійснювати обслуговування.

Оптимізація параметрів роботи коренебульбозбиральних машин включає налаштування швидкості роботи, органів сепарації, рівня вологи, автоматичних систем і систем пневмосепарації. Технології автоматизації і сенсорні системи дозволяють оперативно коригувати налаштування в залежності від умов експлуатації, що підвищує ефективність сепарації, знижує втрати продукції і зменшує ризик пошкодження коренеплодів.

В останні десятиліття аграрна промисловість активно впроваджує інноваційні технології, що дозволяють значно підвищити ефективність роботи коренебульбозбиральних машин. Це стосується як покращення механічних властивостей самих машин, так і застосування новітніх технологічних рішень для підвищення продуктивності, зниження витрат на енергію та зменшення втрат продукції. Ось кілька інноваційних технологій, які використовуються або мають потенціал до впровадження в коренебульбозбиральних машинах.

Сенсорні системи та автоматизація

Використання сенсорних технологій дозволяє постійно моніторити стан ґрунту, коренеплодів та машини в цілому. Завдяки цьому можна автоматично коригувати параметри роботи машини, знижуючи вплив людського фактора і підвищуючи ефективність роботи:

– **інтелектуальні сенсори.** Сенсори, що вимірюють вологість ґрунту, температуру, рівень забруднень, швидкість руху і стан механізмів, дозволяють здійснювати точне налаштування роботи машини. Вони допомагають уникнути перевантаження обладнання, оптимізуючи використання потужності;

– **автоматичне регулювання органів сепарації.** Системи автоматичного регулювання, такі як активне управління швидкістю обертання барабанів, кута нахилу сит та решет, можуть змінювати параметри роботи машини в залежності від змін у характеристиках ґрунту і коренеплодів, що зменшує час на налаштування і покращує якість збирання.

Роботизовані системи та дрони

Роботизовані технології вже активно використовуються в аграрній техніці для автоматизації процесів збирання. Вони можуть істотно зменшити залежність від людської праці, зменшуючи витрати і покращуючи точність операцій:

– **роботизовані збирання.** Застосування роботизованих систем дозволяє здійснювати збирання з високою точністю, без необхідності постійного втручання оператора. Роботи

можуть працювати на полях різних розмірів і при будь-яких погодних умовах, виконуючи сепарацію коренеплодів із забруднень та ґрунту;

– **дрони для моніторингу стану поля.** Використання дронів для моніторингу стану поля дозволяє точно оцінити вологість ґрунту, розподіл забруднень, визначити ділянки, де потрібне більше зусиль для очищення коренеплодів. Це забезпечує більш ефективне планування роботи збирання.

Інноваційні системи пневмосепарації

Пневмосепарація – це технологія, що використовує потік повітря для відокремлення легких часток ґрунту, пилу та інших дрібних домішок від коренеплодів. Застосування цієї технології дозволяє покращити якість очищення, знизивши механічне пошкодження коренеплодів:

– адаптивні системи пневмосепарації. Інноваційні пневмосепараційні системи, що використовують адаптивні потоки повітря, дозволяють з максимальною ефективністю відокремлювати дрібні домішки, не впливаючи на самі коренеплоди. Це можливо завдяки точному регулюванню швидкості та напрямку повітряного потоку залежно від розміру часток і типу забруднень.

Технології збору і обробки даних (Big Data)

Використання технологій збору і обробки даних є важливою частиною інновацій у сільському господарстві, зокрема для коренебульбозбиральних машин. Ці технології дозволяють отримувати великий обсяг даних, що може бути використано для оптимізації роботи машин:

– **аналіз великих даних (Big Data).** Збір та аналіз даних з машин у реальному часі дозволяють оптимізувати роботу техніки, надаючи важливу інформацію про швидкість роботи, ефективність сепарації, рівень втрат і пошкоджень. Завдяки цьому, аграрії можуть проводити точне налаштування техніки для досягнення найкращих результатів;

– **моделювання та прогнозування.** Технології прогнозування дозволяють передбачити зміни в умовах роботи (зміна вологості ґрунту, типу забруднень, зміни в погодних умовах) і своєчасно коригувати параметри роботи машини, щоб уникнути зниження ефективності.

Електричні та гібридні технології

Перехід до використання електричних і гібридних технологій у сільськогосподарській техніці дозволяє знижувати витрати пального, зменшувати викиди в атмосферу і забезпечувати більш ефективне використання енергії:

– **електричні коренебульбозбиральні машини.** Повний перехід на електричні системи дозволяє знизити викиди CO₂, зменшити залежність від традиційних видів пального та забезпечити більш економічну експлуатацію техніки;

– **гібридні технології.** Гібридні машини, які комбінують використання електричної енергії і традиційного пального, можуть працювати на більшому діапазоні робочих умов, дозволяючи знижувати витрати енергії та збільшувати час автономної роботи.

Системи контролю та коригування параметрів в реальному часі

Сучасні коренебульбозбиральні машини оснащуються високоточними системами контролю, які дають можливість відслідковувати роботу сепараційних органів і коригувати їх налаштування в реальному часі. Це включає:

– **автономне управління параметрами сепарації.** Системи, що контролюють швидкість обертання барабанів, величину нахилу решет і сит, можуть автоматично коригувати ці параметри на основі зібраних даних. Це дозволяє зменшити витрати часу на налаштування і підвищити ефективність роботи техніки;

– **інтерфейси для оператора.** Сучасні інтерфейси дозволяють операторам корегувати налаштування машини через зручні дисплеї з інтегрованими системами, які надають відомості про ефективність роботи в реальному часі, дозволяючи оперативно реагувати на зміни в умовах роботи.

Інноваційні технології у коренебульбозбиральних машинах значно покращують ефективність процесів збирання, очищення та обробки коренеплодів. Використання автоматизації, сенсорних систем, роботизованих технологій, а також інтеграція з великими даними та пневмосепарацією дозволяють оптимізувати роботу техніки, знизити витрати енергії та зменшити екологічний вплив. Впровадження цих інновацій підвищує продуктивність, знижує витрати на обслуговування та забезпечує більш сталий розвиток аграрної галузі.

Для вибору раціональних параметрів робочого органу [2] проведемо аналіз умов і принципів розподілу компонентів бульбоносного вороху на сепаруючих гірках при роботі в найбільш несприятливих умовах (підвищена або знижена вологість, велика кількість бадилля або рослинних домішок і так далі).

Процес сепарації картопляного вороху, тобто процес відділення бульб від ґрунтових грудок і домішок на робочій гілці пальчатого полотна при падінні бульб і грудок ґрунту на похилу поверхню гірки відбувається завдяки різним чинникам. Виділимо серед них основні, що впливають на ефективність процесу сепарації:

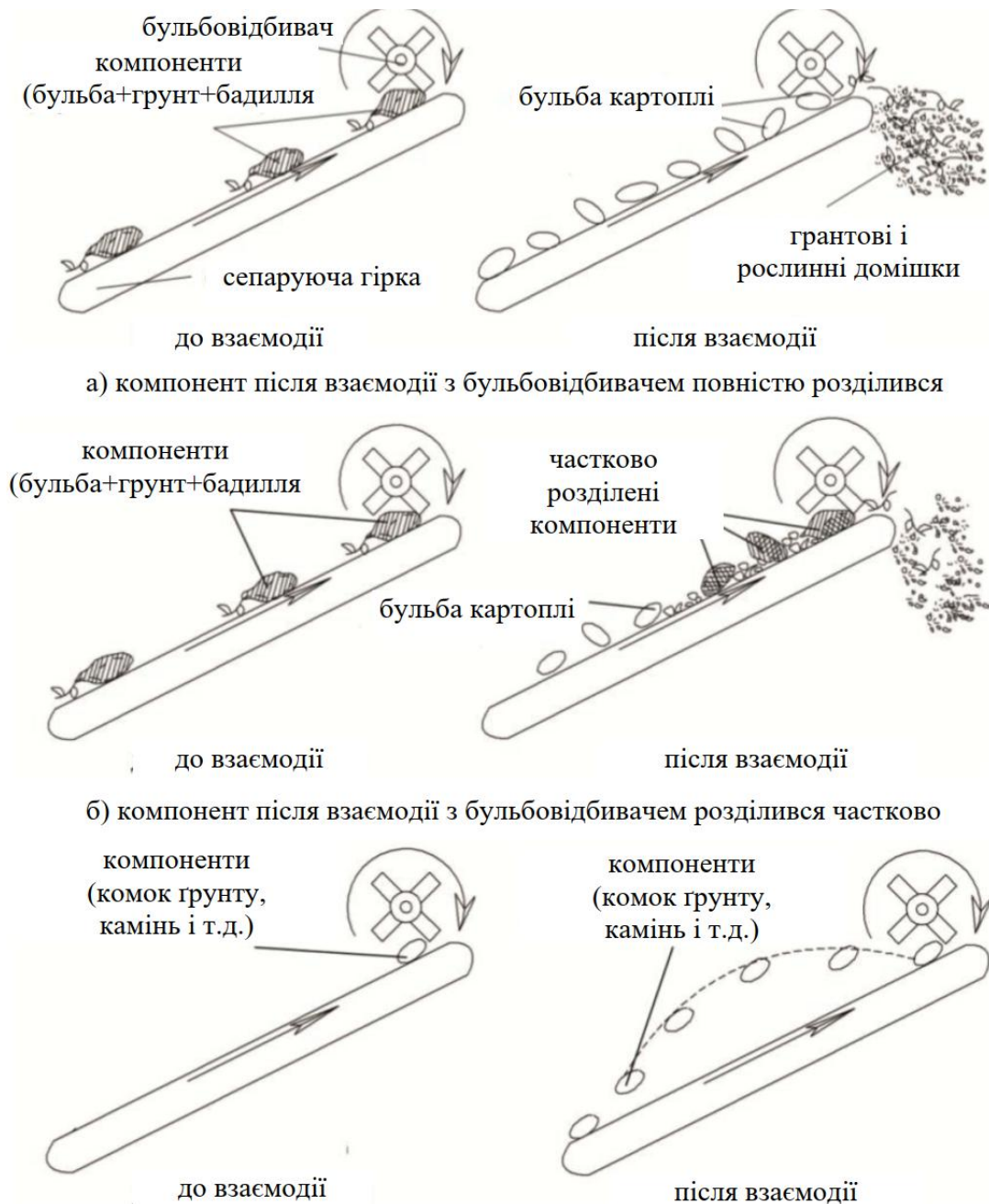
1. Коефіцієнт тертя у ґрунту і бадилля про гумову пальчастої поверхню вище, ніж у чистих бульб картоплі [4]).
2. Міцність зв'язку компонентів вороху: міцність зв'язку бульб картоплі з бадиллям, бульби з ґрунтом [4].
3. Геометричні параметри компонентів, що потрапляють на поверхню гірки, а саме їх розміри і форма.

Всі перераховані вище фактори в великій мірі пов'язані з вологістю ґрунту, так як в важких умовах роботи, а саме при високій або низькій вологості, на сепаруючу гірку потрапляють бульби картоплі, що не відокремлені від домішок, міцно з ними пов'язані, мають неправильну форму і високий коефіцієнт тертя з пальчастим полотном.

Для подальших досліджень введемо поняття «компонент», під яким будемо розуміти неподілений компонент бульбоносного вороху, а саме тіло неправильної форми, складовими якого є бульба з налиплого на нього ґрунтом і бадиллям. Для найбільш об'єктивного вибору параметрів робочого органу вторинної сепарації найдоцільніше розглядати взаємодію бульбовідбивача саме з компонентом, як найбільш складним і несприятливим випадком.

Швидкість і якість поділу компонента на складові залежить від ступеня і кількості силових впливів на нього з боку робочих органів вторинної сепарації, таким чином, завдання бульбовідбивача – інтенсифікувати процес поділу шляхом силового впливу на компоненти. При цьому можливі наступні випадки:

1. Компонент потрапляє на поверхню сепаруючої гірки, в силу своїх фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбивача, в результаті силового впливу з боку останнього компонент поділяється на складові (бульба, ґрунт, бадилля); бульба сходить з полотна гірки, а домішки виносяться на поле (рис. 1-а).
2. Компонент потрапляє на поверхню сепаруючої гірки, в силу своїх фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбивача, в результаті силового впливу з боку останнього компонент частково розділяється (від бульби відокремилася частина ґрунту або бадилля), приймає інше положення на поверхні полотна, найбільш сприятливе для сходу, котиться, в результаті чого розділяється остаточно; бульба сходить з полотна гірки, а домішки виносяться на поле (рис. 1-б).



в) компонент (камінь, грудку ґрунту) після взаємодії з бульбовідбивачем не розділені

Рис. 1. Можливі випадки сепарації при взаємодії компонента з бульбовідбивачем.

3. Компонент потрапляє на поверхню сепаруючої гірки, в силу своїх фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбійника, в результаті силового впливу з боку останнього поділу не відбулося, компонент відкинутий бульбовідбивачем на пальчасте полотно і знову рухається до бульбовідбійника. Процес буде повторюватися до тих пір, поки компонент не покине полотно (рис. 1-в).

Таким чином, при виборі параметрів сепаруючих робочих органів в першому випадку слід орієнтуватися на те, щоб ударну дію з боку бульбовідбивача не пошкоджує бульби, у другому випадку силовий вплив має забезпечувати надання компоненту найбільш сприятливе для сходу положення на пальчасте полотно, не пошкоджуючи бульби, в третьому випадку повторна взаємодія компонента з бульбовідбивачем може привести до пошкодження еластичного покриття пластин, так як компонентом може виявитися камінь або твердий

клубок ґрунту, і необхідний запобіжний механізм з оптимальними параметрами для даного випадку, що дозволяє своєчасно видаляти такі компоненти з гірки.

З розглянутих випадків на практиці найбільш доцільно забезпечувати виконання 2 і 3 варіанти, що дозволить підвищити ефективність розділення компонентів картопляного вороху і знизити пошкодження бульб.

Процес сепарації на похилих поверхнях відбувається завдяки різним чинникам. Виділимо серед них основні, що впливають на ефективність процесу сепарації: тертя компонентів, міцність зв'язку складових вороху; геометричні параметри компонентів, що потрапляють на поверхню гірки, а саме їх розміри і форма.

Всі перераховані вище параметри в великій мірі пов'язані з вологістю елементів вороху, яка впливає на міцність зв'язку складових, що мають неправильну форму і високий коефіцієнт тертя з сепаруючою поверхнею.

Розглянемо процес взаємодії компонентів вороху різної форми з елементом інтенсифікатора сепарації, виконаним у вигляді валу з розташованими на ньому пружними пластинами.

Для поділу компонента на складові необхідно шляхом впливу сили з боку пластини перевернути його в сторону, протилежну напрямку руху пальчатого полотна. Умова перекидання компонента

$$M_{уд} < M_{опр}, \quad (1)$$

де $M_{уд}$ – момент, що утримує компонент у вихідному положенні, Нм;

$M_{опр}$ – момент, перекидаючий компонент щодо лінії АВ, Нм.

Для компонента у вигляді трикутної піраміди (рис. 2)

$$M_{опр} = G \sin \alpha_r \frac{h}{3} + P \frac{h}{3}; \quad (2)$$

$$M_{уд} = G \cos \alpha_r \frac{a}{2}, \quad (3)$$

де G – сила тяжіння, Н;

α_r – кут нахилу полотна, радий;

a, h – геометричні розміри компонента, м;

P – сила, взаємодії компонента з пластиною бульбовідбивача, Н.

З урахуванням (1) маємо

$$G \cos \alpha_r \frac{a}{2} \leq G \sin \alpha_r \frac{h}{3} + P \frac{h}{3}; \quad (4)$$

$$G \cos \alpha_r 3a \leq G \sin \alpha_r 2h + 2Ph; \quad (5)$$

З виразу (5) отримаємо мінімальну силу, необхідну для надання компоненту найбільш сприятливого для сходу з полотна положення

$$P_{min} > \frac{G \cos \alpha_r 3a - G \sin \alpha_r 2h}{2h} \quad (6)$$

Силу тяжіння визначаємо за виразом

$$G = m_k g, \quad (7)$$

де m_k – маса компонента, кг;

g – прискорення вільного падіння, м / с².

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (8)$$

де ρ_k – щільність компонента, кг / м³;
 V_k – обсяг компонента, м³.

$$V_k = \frac{h}{3} S_{\text{осн}} = \frac{ah^2}{6} \quad (9)$$

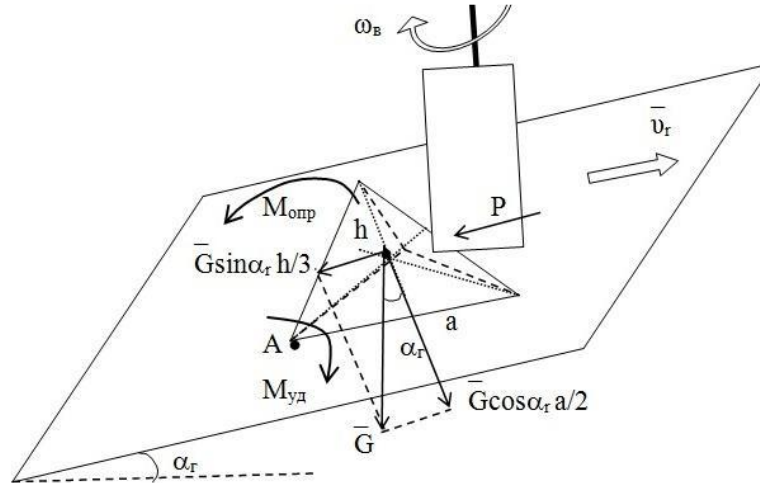


Рис. 2. Схема взаємодії компонента форми трикутної піраміди з пластиною бульбовідбивача.

З урахуванням (7)...(9) вираз (6) для сили, необхідної для перевертання компонента на полотні гірки набуває вигляду

$$P \geq \frac{ah\rho_k g}{12} (\cos \alpha_r 3a - \sin \alpha_r 2h) \quad (10)$$

Для компонента у вигляді півсфери (рис. 3)

$$M_{\text{опр}} = G \sin \alpha_r \frac{3R_2}{8} + P \frac{3R_2}{8}, \quad (11)$$

$$M_{\text{уд}} = G \cos \alpha_r \frac{R_1}{2}, \quad (12)$$

де G – сила тяжіння, Н;
 α_r – кут нахилу полотна, рад.;
 R_1 – радіус півсфери, м;
 R – радіус основи, м;
 P – сила, взаємодії компонента з пластиною бульбовідбивача, Н.

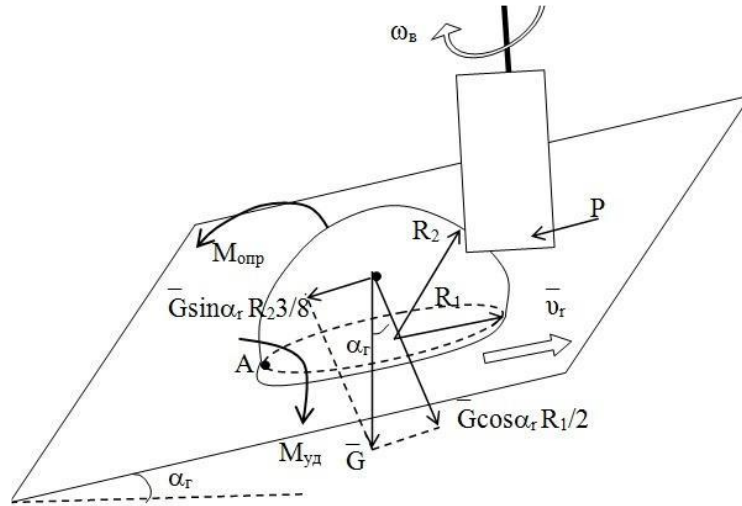


Рис. 3. Схема взаємодії компонента в формі півсфери з пластиною бульбовідбивача.

З урахуванням (1) маємо

$$G \cos \alpha_r \frac{R_1}{2} \leq G \sin \alpha_r \frac{3R_2}{8} + P \frac{3R_2}{8}; \tag{13}$$

$$G \cos \alpha_r 4R_1 \leq G \sin \alpha_r 3R_2 + 3PR_2; \tag{14}$$

З виразу (14) отримаємо мінімальну силу, необхідну для передачі компоненту найбільш сприятливого для сходу з полотна положення

$$P \geq \frac{G \cos \alpha_r 4R_1 - G \sin \alpha_r 3R_2}{3R_2} \tag{15}$$

Силу тяжіння визначаємо за виразом

$$G = m_k g, \tag{16}$$

де m_k – маса компонента, кг;
 g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$m_k = V_k \rho_k, \tag{17}$$

де ρ_k – щільність компонента, кг/м³;
 V_k – обсяг компонента, м³.

$$V_k = 2/3 \pi R^3, \tag{18}$$

З урахуванням (16)...(18) вираз (15) для сили, необхідної для перевороту компонента на полотні гірки набуде вигляду

$$P \geq \frac{2\pi R_2^2 \rho_k g}{9} (\cos \alpha_r 4R_1 - \sin \alpha_r 3R_2) \tag{19}$$

Для усіченої піраміди з основою у вигляді прямокутника (рис. 4)

$$M_{\text{опр}} = G \sin \alpha_r Y_c + P \cdot Y_c; \tag{20}$$

$$M_{уд} = G \cos \alpha_r \frac{d}{2}, \quad (21)$$

де G – сила тяжіння, Н;

α_r – кут нахилу полотна, рад.;

a, b, c, d, h – геометричні розміри компонента, м;

P – сила, взаємодії компонента з пластиною бульбовідбивача, Н.

З урахуванням (1) маємо (22)

$$G \cos \alpha_r \frac{d}{2} \leq G \sin \alpha_r Y_c + P \cdot Y_c \quad (22)$$

З виразу (22) отримаємо мінімальну силу, необхідну для передачі компоненту найбільш сприятливого для сходу з полотна положення

$$P \geq \frac{G \cos \alpha_r \frac{d}{2} - G \sin \alpha_r Y_c}{Y_c} \quad (23)$$

Силу тяжіння визначаємо за виразом

$$G = m_k g, \quad (24)$$

де m_k – маса компонента, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (25)$$

де ρ_k – щільність компонента, кг/м³;

V_k – обсяг компонента, м³.

З урахуванням (24), (25) вираз (23) для сили, необхідної для перевероту компонента на полотні гірки набуде вигляду

$$P \geq \frac{V_k \rho_k g}{Y_c} \left(\cos \alpha_r \frac{d}{2} - \sin \alpha_r Y_c \right) \quad (26)$$

Обсяг компонента

$$V_k = \frac{h}{3} (S_B + S_H + \sqrt{S_B \cdot S_H}) = \frac{h}{3} (a \cdot b + c \cdot d + \sqrt{a \cdot b \cdot c \cdot d}); \quad (27)$$

$$Y_c = h - \frac{h}{3} \cdot \frac{2d+a}{a+d}; \quad (28)$$

З урахуванням (27) і (28) вираз (26) набуде вигляду

$$P \geq \frac{(a+d)(a \cdot b + c \cdot d + \sqrt{a \cdot b \cdot c \cdot d}) \rho_k g}{2a+d} \left(\cos \alpha_r \frac{d}{2} - \sin \alpha_r Y_c \right) \quad (29)$$

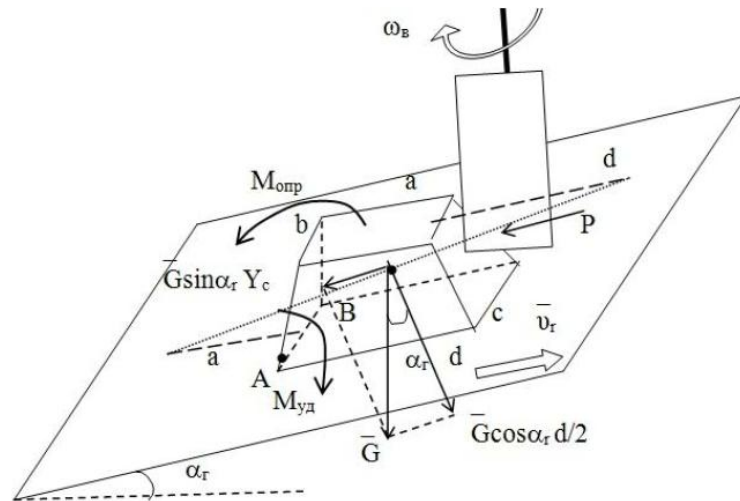


Рис. 4. Схема взаємодії компонента у формі усіченої піраміди з пластиною бульбовідбивача.

Для компонента з формою у вигляді прямокутного паралелепіпеда розрахунки сили, необхідної для перевертання компонента на полотні гірки проводилися за аналогічною методикою і представлені в наступному підрозділі.

За результатами аналізу залежності величини сили від кута нахилу полотна, складу і форми компонента, при вивченні взаємодії компонентів у формі трикутної піраміди, півсфери, усіченої піраміди і прямокутного паралелепіпеда було виявлено, що величина, необхідна для перекидання сили при схожих габаритних розмірах компонента, сильно залежить від форми компонента, а також від кута нахилу сепаруючого полотна, при збільшенні якого сила убуває. Форма прямокутного паралелепіпеда, є найбільш несприятливою для сходу компонента з полотна гірки. У зв'язку з цим, для подальших розрахунків будемо розглядати взаємодію робочого органу з компонентом маючи форму прямокутного паралелепіпеда як найбільш несприятливий випадок.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Дослідження умов та принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації у коренебульбозбиральних машинах має значний потенціал для подальшого розвитку, що може призвести до значного вдосконалення технологій збору врожаю та підвищення ефективності аграрного виробництва. Основні напрямки розвитку досліджень включають:

1. Інтеграція інноваційних технологій та автоматизації.

Подальше вдосконалення процесів вторинної сепарації можливе за рахунок інтеграції сучасних технологій, таких як автоматизація та роботизація. Використання сенсорних систем для моніторингу стану коренеплодів, ґрунтових домішок та ефективності сепарації в режимі реального часу дозволить оптимізувати налаштування органів сепарації на основі конкретних умов роботи, що значно підвищить ефективність та знизить втрати.

2. Розробка нових матеріалів та конструкцій органів сепарації.

Для зменшення механічних пошкоджень коренеплодів та підвищення ефективності сепарації важливо розробляти нові матеріали для конструкцій органів сепарації, які будуть більш стійкими до зношування та взаємодії з ґрунтом. Також важливими є удосконалення форм і розмірів сепараційних елементів для оптимального розподілу компонентів.

3. Поглиблене моделювання та аналіз процесів сепарації.

Подальший розвиток комп'ютерних моделей та симуляцій процесів сепарації з використанням методів штучного інтелекту (ШІ) відкриває нові можливості для точного прогнозування поведінки коренеплодів та домішок при різних параметрах роботи машин. Застосування алгоритмів машинного навчання дозволить розробляти інтелектуальні системи

управління, які самостійно налаштовуюватимуть роботу сепараційних елементів для максимального ефекту.

4. Дослідження впливу екологічних факторів на процес сепарації.

Оскільки умови ґрунту, зміни клімату та агротехнічні заходи можуть значно впливати на процес сепарації, перспективним напрямком є дослідження взаємодії коренеплодів з різними типами ґрунтів та вивчення впливу екологічних змін на ефективність роботи сепараційних систем. Це дозволить адаптувати техніку до змінних умов збирання врожаю.

5. Економічний і екологічний аналіз вдосконалених технологій.

Подальші дослідження мають на меті не лише підвищити ефективність роботи машин, але й оцінити економічну доцільність їх застосування в різних умовах господарювання. Оцінка витрат на технічне обслуговування, енергоефективність та екологічні наслідки від застосування нових технологій дозволить визначити доцільність їх впровадження на масовому рівні.

6. Міждисциплінарні дослідження.

Для досягнення комплексного підходу до розв'язання проблеми вторинної сепарації важливо залучати експертів із різних галузей, таких як механіка, матеріалознавство, агрономія та екологія. Міждисциплінарні дослідження дозволять створити більш адаптовані та економічно ефективні машини, які відповідатимуть вимогам сучасного сільського господарства.

Ці напрямки розвитку відкривають нові можливості для вдосконалення технології збирання коренеплодів, підвищення продуктивності та зниження витрат, що зробить аграрне виробництво більш ефективним і стійким до змін навколишнього середовища.

8. Висновки

1. Оптимізація процесу сепарації.

Дослідження умов та принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації у коренебульбозбиральних машинах підтвердило важливість оптимізації роботи сепараційних елементів для підвищення ефективності очищення коренеплодів від ґрунту та домішок. Це досягається через точне налаштування параметрів, таких як швидкість обертання барабанів, розміри та форма сит, а також правильне налаштування кута нахилу сепараційних елементів.

2. Вплив фізико-механічних властивостей коренеплодів.

Аналіз фізико-механічних властивостей коренеплодів показав, що форма, розмір, маса та здатність до переміщення коренеплодів значно впливають на ефективність процесу сепарації. Врахування цих характеристик дозволяє зменшити механічні пошкодження та покращити розподіл компонентів між органами сепарації.

3. Зміни в умовах експлуатації.

Змінні фактори, такі як вологість ґрунту, тип ґрунту та наявність каміння, також мають значний вплив на ефективність роботи сепараційних систем. Під час роботи в умовах різних ґрунтів та кліматичних умов потрібно враховувати ці фактори для налаштування роботи машин та уникнення втрат продукції.

4. Потенціал для автоматизації.

Впровадження сучасних технологій, таких як автоматизація та сенсорні системи для моніторингу процесу сепарації, відкриває нові перспективи для покращення роботи коренебульбозбиральних машин. Застосування таких систем дозволить оперативно налаштовувати органи сепарації в залежності від реальних умов експлуатації, що значно підвищить ефективність та знизить рівень втрат.

5. Міждисциплінарний підхід.

Для досягнення найкращих результатів у розвитку технології сепарації необхідно застосовувати міждисциплінарний підхід, який включає дослідження в галузях механіки, агрономії, матеріалознавства та екології. Це дозволить розробити більш ефективні, стійкі та економічно вигідні коренебульбозбиральні машини.

6. Перспективи розвитку та вдосконалення.

Подальші дослідження повинні зосередитися на вдосконаленні конструкцій органів вторинної сепарації, розвитку нових матеріалів для їх виготовлення, а також удосконаленні методів моделювання і аналізу процесу сепарації. Інтеграція інтелектуальних технологій та покращення екологічних характеристик машин допоможе значно підвищити ефективність та зменшити екологічні наслідки аграрної діяльності.

Таким чином, результати дослідження вказують на важливість системного підходу до оптимізації процесів вторинної сепарації, що дозволяє значно зменшити втрати продукції, підвищити якість очищення коренеплодів і покращити економічну ефективність роботи коренебульбозбиральних машин.

Список літератури:

1) Horbatiuk S. M. (2023). Analiz isnuichykh skhem separuiuchykh hirok [Analysis of existing schemes of separating slides]. Pershi naukovi kroky – 2023 : zbirnyk naukovykh prats Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv ta molodykh naukovtsiv, s. 19. [in Ukrainian].

2) Hrushetskiy, S. (2021). «Doslidzhennia separatora pidnimaiucho-skhodiachoi dii dlia korenebulbozbyralnykh mashyn» [Study of a lifting separator for potato machines]. Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia», (2(20), s. 49-56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7262230> [in Ukrainian].

3) Hrushetskiy, S., Korchak, M. i Zakharavech, T. (2021). «Analiz separuvalno-transportuvalnykh mekhanizmiv dlia korenebulbozbyralnykh mashyn» [Analysis of separation and transportation mechanisms for root potato harvesters]. Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia», (4(22), s. 63-72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6967501> [in Ukrainian].

4) Hrushetskiy, S. (2022). «Obgruntuvannia tekhnolohichnoi skhemy rotornoï korenebulbozbyralnoi mashyny ta osnovnykh parametriv» [Substantiation of the technological scheme of a rotary root harvest machine and main parameters]. Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia», (1(23), s. 60-67. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6819345> [in Ukrainian].

5) Hrushetskiy, S. M., Yaropud, V. M., Duganets, V. I., Duganets, V. I., Pryshliak, V. L. Kurylo, V. M. (2019). Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working organs for the potato's harvesting machines. INMATEH-Agricultural Engineering, 59, 3, pp. 101-110. <https://doi.org/10.35633/inmateh-59-11> [in English].

6) Hrushetskiy, S., Yaropud, V., Kupchuk, I., Semenyshena, R. (2021). The heap parts movement on the share-board surface of the potato. Harvesting machine bulletin of the Transilvania university of Braşov series II : forestry wood Industry agricultural food engineering. Transilvania, S. 127-140, 14(63), 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12> [in English].

7) Hrushetskiy, S. M., Rud, A. V., Semenyshyna, I. V., Medvedyev, YE. P. (2019). The technological process pattern of potato root harvester [The technological process pattern of potato root harvester]. Zhurnal «Podil's'kyi visnyk: sil's'ke hospodarstvo, tekhnika, ekonomika», 31. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2019-2-7> [in English].

8) Hrushetskiy, S. N. (2019). Model' tekhnolohycheskykh protsessov kartofeleuborochnykh mashyn [Model of technological processes of potato harvesting machines]. Tekhnicheskoe y kadrovoe obespechenye ynnovatsyonnykh tekhnolohyy v sel'skom khozyaystve: materyaly Mezhdunarodnoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy (24-25 oktyabrya 2019 hoda). V 2 ch. Mynsk : BHATU. 2019. CH. 1. S. 125-127. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/8670/1/27.pdf> [in Russian].

9) Hrushetskiy, S. M., Pidlisnyy, V. V. (2019). Analiz konstruktsiy ta rezul'taty doslidzhen' separatoriv kartoplyanoho vorokhu [Analysis of designs and research results of potato pile separators]. Suchasnyy rukh nauky: tezy dop. VI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi zhurnal «WayScience». 4-5 kvitnya 2019. Dnipro. pp. 274-282. http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/13556/1/kostuyk_3-1.pdf [in Ukrainian].

- 10) Fyrman, Y U. P., Hrushetsky, S. N. (2015). Kynematycheskyy analiz raboty dynamycheskoho lentochnoho separatora [Kinematic analysis of the operation of a dynamic belt separator]. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17. № 1. pp. 11-16. file:///C:/Users/admin/AppData/Local/Temp/11-16-1.pdf [in Russian].
- 11) Hutsol Taras, Firman Jurii, Komarnitsky Sergiy. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inzynierii Rolniczej. Vol. 21, № 4. pp. 27-35 [in English].
- 12) Bonchik, V. S., Fedirko, P. P. (2015). Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy geometricheskikh parametrov kartofel'noy gryadki pri rabote kartofeleuborochnykh mashin [The results of experimental studies of the geometric parameters of the potato beds during the work of potato harvesters]. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17. № 5. pp. 3-6 [in Russian].
- 13) Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., Z. and Olt J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. Agronomy Research. 16(1). pp. 52-63 <https://doi.org/10.15159/AR.18.037> [in English].
- 14) Bulhakov, V. M., Pylypaka, S. F., Zakharova, T. N., Kaletnik, H. M., Yaropud, V. M. (2014). Ploski vertykal'ni kryvi, yaki zabezpechuyut' postiyini tysk i shvydkist' rukhu material'noyi tochky [Flat vertical curves that provide constant pressure and velocity of material point]. Vseukrayins'kyy naukovo-tekhnichnyy zhurnal «Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh». VNAU. Vyp. 1 (73). S. 5-12 [in Ukrainian].
- 15) Aliev, E., Bandura V., Pryshliak V., Yaropud V., Trukhanska O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural [Modeling of mechanical and technological processes of agricultural]. INMATEH - Agricultural Engineering. vol. 54, no.1. pp. 95-104 [in English].
- 16) Pascuzzi, S., Bulgakov, V., Santoro, F., Sotirios, A., Anifantis, Olt J., Nikolaenko, S. (2019). Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. Agronomy Research. 17(1), P. 33-48 <https://doi.org/10.15159/AR.19.073>. [in English].

Research into the conditions and principles of component distribution by secondary separation devices in root and tuber harvesting machines

Sergii Hrushetskyi

Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering named after Mykhailo Samokysh, Institution of Higher Education "Podilskyi State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine
ORCID 0000-0002-0487-6152

Oleh Flonts

Department of Machine Use and Technologies in Agriculture, Separate Division of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine "Berezhany Agrotechnical Institute", Berezhany, Ternopil region, Ukraine
ORCID 0009-0004-5885-3708

Abstract: Research into the conditions and principles of component distribution by secondary separation organs in root and tuber harvesting machines is an important stage in improving the technological process of harvesting root crops. These machines, used for harvesting potatoes, carrots, beets and other root crops, aim to achieve maximum efficiency in separating soil, root crops and other impurities with minimal losses of the main product. One of the main problems in the operation of such machines is the correct distribution of components between various secondary separation organs, such as sieves, drums and other mechanisms that ensure cleaning from dirt and plant particles. In this case, it is necessary to take into account the physical and mechanical properties of root crops, as well

as the operating conditions of the machine, which depend on the type of soil, humidity and other factors. The main principles of component distribution are to optimize the operation of the separation organs to ensure maximum cleaning efficiency with minimal energy consumption and reduced mechanical damage to root crops. To do this, it is important to correctly adjust the parameters of the material movement, such as the speed of rotation of the drums, the angle of inclination of the sieves, as well as the size and shape of the separation elements. In addition, factors affecting the mobility of root crops and soil should be taken into account, in particular their shape, size and degree of compaction. By studying and optimizing the processes of secondary separation, it is possible to significantly increase the efficiency of root and tuber harvesting machines, reduce product losses and reduce their mechanical damage. This helps to reduce processing costs and preserve crop quality, which is critical for agricultural production.

Keywords: root and tuber harvesting machines, secondary separation, component distribution, separation elements, cleaning efficiency, physical and mechanical properties, separation elements, product losses, mechanical damage, technological process, process optimization.
