

УДК 631.363.62

Грушецький С. М.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри агроінженерії і системотехніки
імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152

Рудь А. В.

доктор філософії в галузі технічних наук,
завідувач кафедри агроінженерії і системотехніки
імені Михайла Самокиша,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: anatoliyrujd@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7206-7103

Пукас В. Л.

кандидат технічних наук,
доцент кафедри тракторів, автомобілів та енергетичних засобів,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський, Україна
E-mail: pukasvital@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0083-7359

АНАЛІЗ УМОВ І ПРИНЦИПІВ РОЗПОДІЛУ КОМПОНЕНТІВ ОРГАНАМИ ВТОРИННОЇ СЕПАРАЦІЇ КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Анотація

Коренебульбозбиральні машини є важливими технічними засобами для механізованого збирання коренеплодів, як-от картопля, буряк, морква й інші культури. Одним із ключових етапів роботи цих машин є ефективне розділення компонентів, що складаються з коренеплодів, ґрунту, залишків рослин, каміння й інших домішок. Вторинна сепарація в цих машинах виконує роль очищення від різних забруднювачів і забезпечення більш якісного збирання продукції. Процес розподілу компонентів в органах вторинної сепарації коренебульбозбиральних машин потребує детального аналізу, оскільки від нього залежить не лише якість збирання, але й ефективність роботи машини загалом.

Принципи, що лежать в основі вторинної сепарації, базуються на фізико-механічних властивостях компонентів, як-от їхня густина, форма, розміри, а також їхня здатність до руху під впливом сили тяжіння або механічних рухів. Одним з основних методів розподілу компонентів є використання спеціалізованих сепараційних органів, які можуть працювати за різними принципами: відцентрового розподілу, вибіркового просювання, вібраційного й інших.

У коренебульбозбиральних машинах первинне очищення відбувається на перших етапах роботи, коли великі частки ґрунту, каміння й інші забруднення відокремлюються за допомогою сит, решіт або вібраційних механізмів. Однак на другому етапі, під час вторинної сепарації, важливим є розподіл уже більш дрібних часток, як-от залишки ґрунту, які пройшли через решета, а також залишки рослинності. Основними органами, що забезпечують цей процес, є вібраційні системи, механічні сепаратори та відцентрові системи.

Вибір відповідних органів і умов для вторинної сепарації залежить від типу коренебульбозбиральної машини, а також від характеру та властивостей суміші, що піддається обробці. Відцентрові сепаратори, наприклад, використовуються для відділення компонентів із різною густиною. Це дозволяє ефективно відокремлювати коренеплоди від більш важких забруднень, як-от каміння. Вібраційні механізми забезпечують додаткову сепарацію завдяки коливанням, які дозволяють більш рівномірно розподіляти матеріал і покращують ефективність очищення.

У процесі вторинної сепарації важливо враховувати кілька умов, як-от швидкість руху матеріалу через сепараційні органи, інтенсивність вібрації, кут нахилу робочих поверхонь, а також механічні характеристики коренеплодів і забруднювачів. Наприклад, коренеплоди, як-от картопля, мають схильність до механічних пошкоджень під час контакту із сепараційними поверхнями, тому важливо підібрати оптимальні умови для зменшення механічного впливу.

Однією з важливих проблем вторинної сепарації є мінімізація втрат коренеплодів і підвищення чистоти зібраної продукції. Знизька ефективність сепарації може призвести до того, що у продукт потраплятимуть дрібні частки ґрунту або залишки рослин, що знижує якість і товарний вигляд продукції. Тому у процесі проектування та налаштування корене-

бульбозбиральних машин велике значення має точний вибір параметрів, як-от швидкість обертання барабанів, амплітуда вібрації або кут нахилу робочих поверхонь.

Іншою важливою умовою є забезпечення стабільності роботи сепараційних органів за різних умов експлуатації. Зміни в умовах роботи, як-от коливання вологості ґрунту чи зміна складу забруднювачів, можуть негативно вплинути на ефективність розподілу компонентів. Для вирішення цієї проблеми розробляються адаптивні системи управління, що дозволяють автоматично коригувати робочі параметри залежно від умов роботи.

Отже, аналіз умов і принципів розподілу компонентів в органах вторинної сепарації коренебульбозбиральних машин є важливою складовою частиною для підвищення ефективності збирання та забезпечення високої якості зібраної продукції. Урахування фізико-механічних властивостей компонентів, оптимізація умов роботи сепараційних органів і розроблення інноваційних технологій дозволяють значно покращити продуктивність і знизити витрати на обробку матеріалу, що має велике значення для аграрного виробництва.

Ключові слова: вторинна сепарація, коренебульбозбиральні машини, розподіл компонентів, сепараційні органи, вібраційні системи, відцентрові сепаратори, очищення, коренеплоди, забруднення, механічне очищення, ефективність збирання, фізико-механічні властивості, каміння, ґрунт, залишки рослин, технології сепарації, оптимізація умов, втрата матеріалу, якість продукції, аграрне виробництво.

Вступ. Коренебульбозбиральні машини є одними з основних механізмів у сучасному аграрному виробництві, що забезпечують ефективне збирання сільськогосподарських культур, як-от картопля, буряк, морква й інші коренеплоди. Процес збору не обмежується лише вилученням коренеплодів із ґрунту, має кілька етапів очистки та сепарації, що дозволяють досягти високої якості кінцевого продукту. Одним із важливих етапів є вторинна сепарація, яка має на меті подальше очищення від дрібних забруднень, як-от залишки ґрунту, каміння, рослинні залишки й інші домішки.

Вторинна сепарація здійснюється за допомогою спеціалізованих органів, які застосовують різні принципи розподілу компонентів суміші, зокрема завдяки різниці в механічних властивостях елементів: у їхній густині, розмірах, формі та здатності до руху. Під час цього етапу важливо досягти ефективного відокремлення коренеплодів від забруднень, за збереження водночас високої якості зібраної продукції та мінімізації її втрати.

Аналіз умов і принципів розподілу компонентів в органах вторинної сепарації є важливим для вдосконалення конструкцій коренебульбозбиральних машин і підвищення їхньої ефективності. Вибір методів і налаштувань сепараційних органів, як-от відцентрові сепаратори, вібраційні механізми, ситові системи тощо, визначає не лише якість очищення, але й продуктивність роботи машини, енергозатрати й економічну доцільність.

У зв'язку із цим важливим завданням є вдосконалення процесу розподілу компонентів з урахуванням різноманітних чинників, як-от характеристики ґрунту, вологості, типу забруднень, а також механічних властивостей коренеплодів і машинних компонентів. Тому аналіз і оптимізація умов вторинної сепарації стають необхідними умовами для підвищення ефективності коренебульбозбиральних машин і зниження витрат у сільському господарстві.

У цьому контексті важливим є дослідження фізико-механічних характеристик компонентів суміші, а також розроблення нових технологій і методів, які дозволяють значно покращити процес сепарації. Це забезпечить не лише високий рівень очищення, але й зниження рівня пошкоджень коренеплодів, що підвищить якість кінцевої продукції.

Проблемі вирощування та збирання картоплі присвячено чимало друкованих праць. Проблемами картопляної галузі цікавляться такі вчені, як С.М. Грушецький, Т.Д. Гуцол, В.М. Булгаков, С.В. Смолінський та інші [1–16].

Явище та моделювання процесу сепарації картопляного вороху досліджував у своїх працях Ю.П. Фірман [15].

Питання розроблення й обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача вивчав В.С. Бончик [7].

Дослідження В.М. Булгакова, С.В. Смолінського, І.В. Фльонц та інших присвячено науковому пошуку й обґрунтуванню конструкції та параметрів спірального сепаратора картопляного вороху, параметрів поздовжніх транспортерів-сепараторів коренезбиральних машин [10,;16].

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.

Мета роботи. Мета роботи полягає у проведенні аналізу умов і принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації коренебульбозбиральних машин із метою оптимізації процесу очищення коренеплодів від забруднень. Завданням є вивчення ефективності різних методів і технологій вторинної сепарації, як-от вібраційні, відцентрові та ситові системи, а також визначення основних чинників, що впливають на якість розподілу компонентів. Окрім того, метою є дослідження взаємодії між механічними властивостями коренеплодів і забруднень, оптимізація умов роботи сепараційних органів і зменшення механічних пошкоджень продукції. Результати роботи мають сприяти вдосконаленню конструкцій коренебульбозбиральних машин, підвищенню їхньої продуктивності та якості очищення, а також зниженню витрат у сільськогосподарському виробництві.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вибору раціональних параметрів робочого органу [2] проведемо аналіз умов і принципів розподілу компонентів бульбоносного вороху на сепарувальних гірках під час

роботи в найбільш несприятливих умовах (підвищена або знижена вологість, велика кількість бадилля або рослинних домішок тощо).

Процес сепарації картопляного вороху, тобто процес відділення бульб від ґрунтових грудок і домішок на робочій гілці пальчатого полотна під час падіння 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 ґрунту та бадилля по гумовій пальчастій поверхні вищий, ніж у чистих бульб картоплі [4].

2. Міцність зв'язку компонентів вороху: міцність зв'язку бульб картоплі з бадиллям, бульби із ґрунтом [4].

3. Геометричні параметри компонентів, що потрапляють на поверхню гірки, а саме їхні розміри та форма

Усі перелічені вище чинники великою мірою пов'язані з вологістю ґрунту, бо у важких умовах роботи, а саме за високої або низької вологості, на сепарувальну гірку потрапляють бульби картоплі, що не відокремлені від домішок, міцно з ними пов'язані, мають неправильну форму та високий коефіцієнт тертя з пальчастим полотном.

Для подальших досліджень уведемо поняття «компонент», під яким будемо розуміти неподілений компонент бульбоносного вороху, а саме тіло неправильної форми, складовими частинами якого є бульба з налиплим на неї 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 частини залежить від ступеня та кількості силових впливів на нього з боку робочих органів вторинної сепарації, отже, завдання бульбовідбивача – інтенсифікувати процес поділу шляхом силового впливу на компоненти. Водночас можливі такі випадки:

1. Компонент потрапляє на поверхню сепарувальної гірки, через свої фізико-механічні властивості та геометричні параметри не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбійника, у результаті силового впливу з боку останнього компонент поділяється на складники (бульба, ґрунт, бадилля); бульба сходить з полотна гірки, а домішки виносяться на поле (рис. 1-а).

2. Компонент потрапляє на поверхню сепарувальної гірки, через свої фізико-механічні властивості та геометричні параметри не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбійника, у результаті силового впливу з боку останнього компонент частково розділяється (від бульби відокремилася частина ґрунту або бадилля), набуває іншого положення на поверхні полотна, найбільш сприятливого для сходу, котиться, у результаті чого розділяється остаточно; бульба сходить з полотна гірки, а домішки виносяться на поле (рис. 1-б).

3. Компонент потрапляє на поверхню сепарувальної гірки, через свої фізико-механічні властивості та геометричні параметри не може зійти з полотна гірки і рухається до бульбовідбійника, у результаті силового впливу з боку останнього поділу не відбулося, компонент відкинутий бульбовідбивачем на пальчасте полотно і знову рухається до бульбовідбійника. Процес буде повторюватися доти, доки компонент не покине полотно (рис. 1-в).

Отже, у виборі параметрів сепарувальних робочих органів у першому випадку варто орієнтуватися на те, щоб ударна дія з боку бульбовідбивача не пошкодила бульби, у другому випадку силовий вплив має забезпечувати надання компоненту найбільш сприятливого положення для сходу на пальчасте полотно, не пошкоджуючи бульби, у третьому випадку повторна взаємодія компонента з бульбовідбивачем може призвести до пошкодження еластичного покриття пластин, бо 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 варіантів, що дозволить підвищити ефективність розділення компонентів картопляного вороху та 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 частин вороху; геометричні параметри компонентів, що потрапляють на поверхню гірки, а саме їхні розміри та форми.

Усі перелічені вище параметри великою мірою пов'язані з вологістю елементів вороху, яка впливає на міцність зв'язку складових частин, що мають неправильну форму та високий коефіцієнт тертя із сепарувальною поверхнею.

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

Для поділу компонента на складники необхідно шляхом впливу сили з боку пластини перевернути його в бік, протилежний напрямку руху пальчатого полотна. Умова перекидання компонента:

$$M_{\text{уд}} < M_{\text{опр}}, \quad (1)$$

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

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

Для компонента у вигляді трикутної піраміди (рис. 2)

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

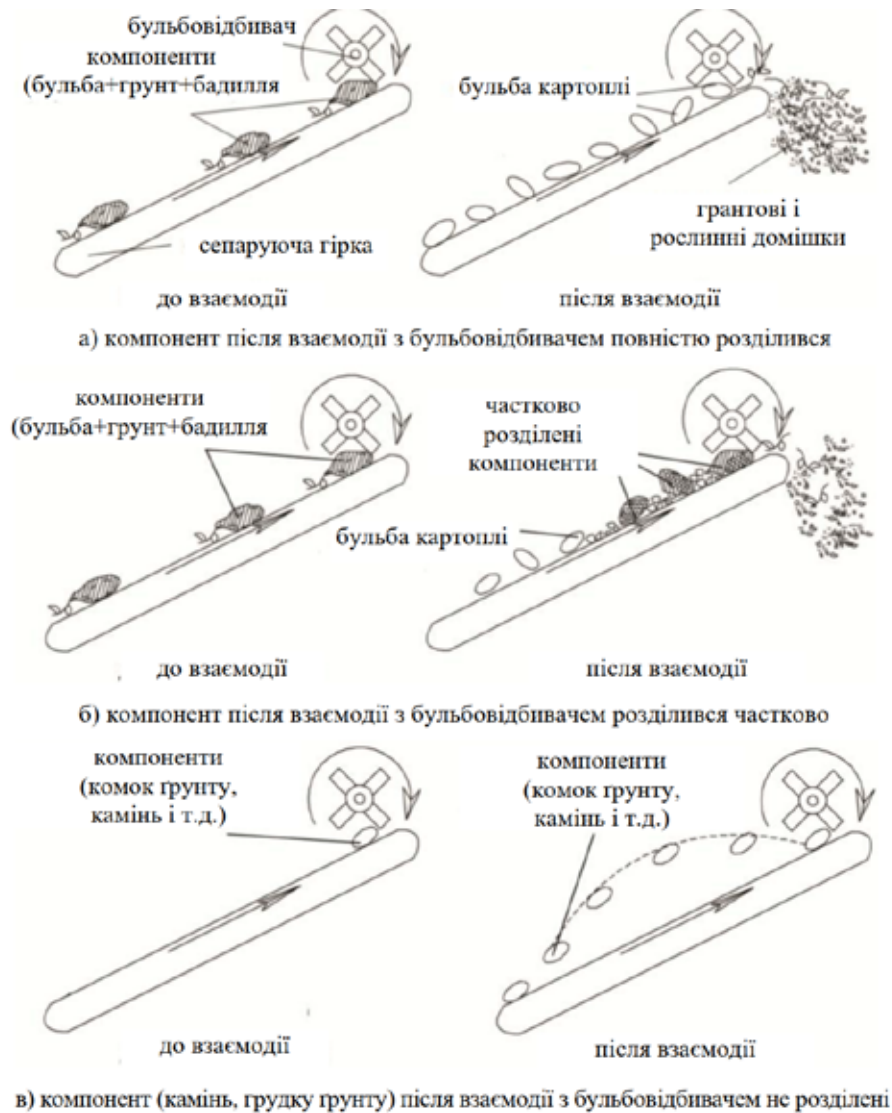


Рис. 1. Можливі випадки сепарації під час взаємодії компонента з бульбовідбивачем

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

де G – сила тяжіння, Н;

α_{Γ} – кут нахилу полотна, рад.;

a, h – геометричні розміри компонента, м;

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

З урахуванням (1) маємо

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

$$G \cos \alpha_{\Gamma} 3a \leq G \sin \alpha_{\Gamma} 2h + 2Ph; \quad (5)$$

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

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

Силу тяжіння визначаємо за виразом:

$$G = m_{\kappa} g, \quad (7)$$

де m_{κ} – маса компонента, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$m_{\kappa} = V_{\kappa} \rho_{\kappa}, \quad (8)$$

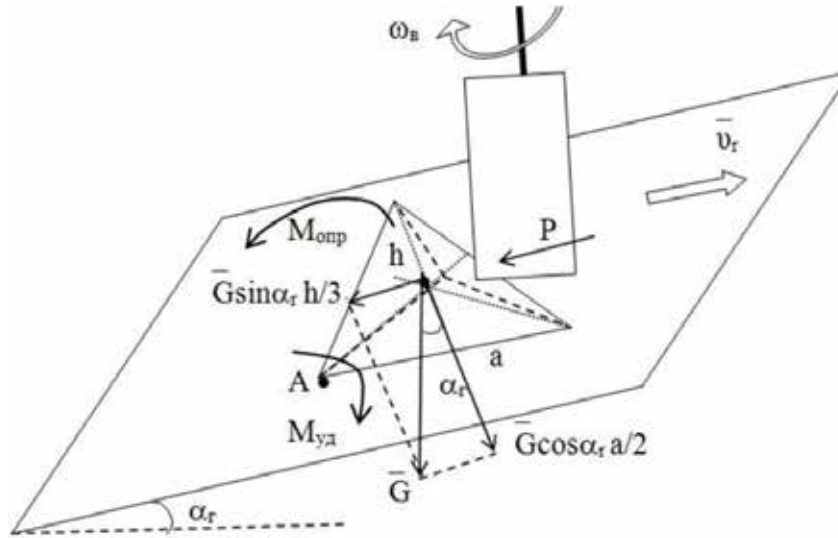


Рис. 2. Схема взаємодії компонента форми трикутної піраміди із пластиною бульбовідбивача

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

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

З урахуванням (7)...(9) вираз (6) для сили, необхідної для перевороту компонента на полотні гірки, набуде 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 із пластиною бульбовідбивача, Н.

З урахуванням (1) маємо:

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

$$G \cos \alpha_r 4R_1 \leq G \sin \alpha_r 3R_2 + 3PR_2; \quad (14)$$

з виразу (14) отримаємо мінімальну силу, необхідну для надання компоненту найбільш сприятливого для сходження з полотна положення:

$$P \geq \frac{G \cos \alpha_r 4R_1 - G \sin \alpha_r 3R_2}{3R_2}. \quad (15)$$

Силу тяжіння визначаємо за виразом:

$$G = m_k g, \quad (16)$$

де m_k – маса компонента, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$m_k = V_k \rho_k, \quad (17)$$

де ρ_k – щільність компонента, кг/м³;

V_k – обсяг компонента, кг/м³.

$$V_k = 2/3 \pi R^3. \quad (18)$$

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

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

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

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

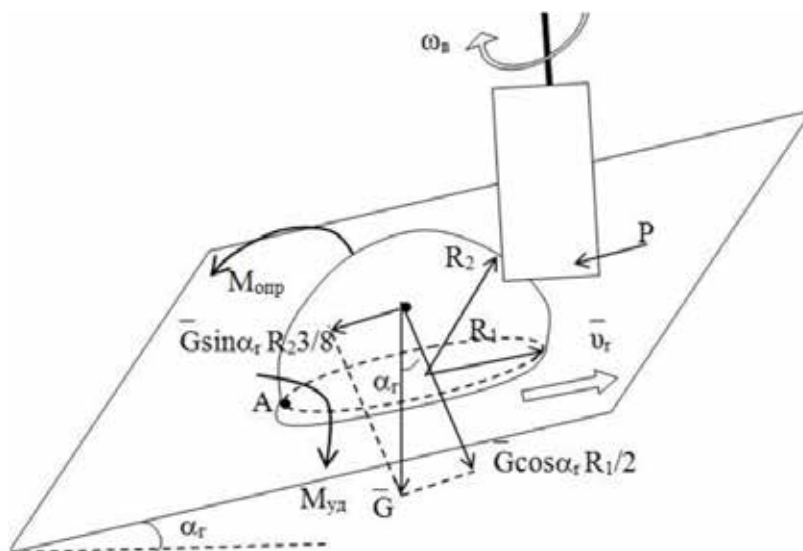


Рис. 3. Схема взаємодії компонента у формі півсфери із пластиною бульбовідбивача

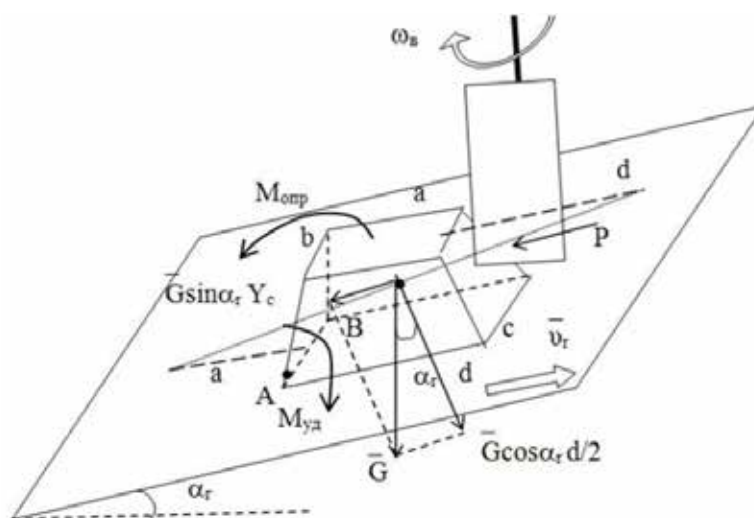


Рис. 4. Схема взаємодії компонента у формі усіченої піраміди із пластиною бульбовідбивача

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

де G – сила тяжіння, Н;

 α_r – кут нахилу полотна, рад.;

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

P – сила взаємодії компонента із 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 надання компоненту найбільш сприятливого для сходу з полотна положення:

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

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 – объём компонента, кг/м³.

З урахуванням (24), (25) вираз (23) для сили, необхідної для перевертання 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:

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

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 та форми компонента, вивченням взаємодії компонентів у формі трикутної піраміди, півсфери, усіченої піраміди та прямокутного паралелепіпеда було виявлено, що величина, необхідна для перекидання сили за схожих габаритних розмірів компонента, істотно залежить від форми компонента, а також від кута нахилу сепарувального полотна, у разі збільшення якого сила зменшується. Форма прямокутного паралелепіпеда є найбільш несприятливою для сходження компонента з полотна гірки. У зв'язку із цим для подальших розрахунків будемо розглядати взаємодію робочого органу з компонентом, який має форму прямокутного паралелепіпеда, як найбільш несприятливий випадок.

Висновки

1. Ефективність вторинної сепарації. Вторинна сепарація є важливим етапом процесу збирання коренеплодів, оскільки забезпечує очищення продукції від дрібних забруднень, як-от залишки ґрунту, каміння, рослинні залишки й інші домішки. Вибір відповідних методів сепарації (вибіркове просіювання, вібраційні та відцентрові системи) є критичним для досягнення високої ефективності очищення та збереження якості коренеплодів.

2. Роль фізико-механічних властивостей компонентів. Основними чинниками, що впливають на процес вторинної сепарації, є механічні властивості коренеплодів (форма, розмір, твердість) і властивості забруднень (густина, форма, розміри). Аналіз взаємодії між цими характеристиками допомагає оптимізувати параметри роботи сепараційних органів і забезпечити мінімальні втрати продукції та максимальну чистоту.

3. Оптимізація умов роботи сепараційних органів. Успішна сепарація залежить від правильно налаштованих параметрів роботи таких систем, як вібраційні та відцентрові механізми, ситові системи й інші органи. Ключовими чинниками є швидкість руху матеріалу, інтенсивність вібрації, кут нахилу робочих поверхонь, а також коригування параметрів залежно від зміни складу забруднень і вологості ґрунту.

4. Зменшення пошкоджень коренеплодів. Одним із завдань вторинної сепарації є збереження цілісності коренеплодів. Оскільки коренеплоди можуть бути механічно пошкоджені під час контакту із сепараційними органами, важливо оптимізувати умови сепарації для мінімізації пошкоджень, що сприяє покращенню товарного вигляду продукції.

5. Інноваційні технології та розвиток конструкцій машин. Для підвищення ефективності вторинної сепарації необхідно впроваджувати новітні технології та вдосконалювати конструкції коренебульбозбиральних машин. Це передбачає розроблення адаптивних систем управління, які дозволяють автоматично коригувати робочі параметри залежно від змінних умов роботи.

6. Зниження витрат і підвищення економічної ефективності. Оптимізація процесу вторинної сепарації дозволяє знизити витрати на збирання, покращити якість продукції та підвищити загальну економічну ефективність сільськогосподарського виробництва.

Отже, аналіз умов і принципів розподілу компонентів органами вторинної сепарації є важливим для підвищення продуктивності, зниження витрат і забезпечення високої якості зібраних коренеплодів, що має велике значення для розвитку аграрної галузі.

Список використаних джерел

- Горбатюк С.М. Аналіз існуючих схем сепаруючих гірок. *Перші наукові кроки – 2023* : збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців, 14 квітня 2023 р., м. Кам'янець-Подільський. Кам'янець-Подільський, 2023. С. 19.
- Грушецький С.М. Дослідження сепаратора піднімаючо-сходячої дії для коренебульбозбиральних машин. *Інженерія природокористування* : науковий журнал. 2021. № 2 (20). С. 49–56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7262230>.
- Грушецький С.М. Обґрунтування технологічної схеми роторної коренебульбозбиральної машини та основних параметрів. *Інженерія природокористування* : науковий журнал. 2022. № 1 (23). С. 60–67. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6819345>.
- Грушецький С.М., Корчак М.М., Захаравеч Т.С. Аналіз сепарувально-транспортних механізмів для коренебульбозбиральних машин. *Інженерія природокористування* : науковий журнал. 2021. № 4 (22). С. 63–72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6967501>.

5. Грушецький С.М., Підлісний В.В. Аналіз конструкцій та результати досліджень сепараторів картопляного вороху. *Сучасний рух науки : тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції журналу "WayScience"*, 4–5 квітня 2019 р. Дніпро, 2019. С. 274–282.
6. Модель технологічного процесу коренебульбозбиральних машин / С.М. Грушецький та ін. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка* / за ред. В.В. Іванишина. Кам'янець-Подільський, 2019. № 31 С. 52–60. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2019-2-7>.
7. Моделювання та перспективні напрями конструктивно-технологічних схем грудкоруйнуючих робочих органів коренебульбозбиральних машин / В.В. Іванишин та ін. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Кам'янець-Подільський, 2022. № 1 (36). С. 28–35. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-14>.
8. Плоскі вертикальні криві, які забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки / В.М. Булгаков та ін. *Вібрації в техніці та технологіях : усеукраїнський науково-технічний журнал*. 2014. Вип. 1 (73). С. 5–12.
9. Aliev E., Bandura V., Pryshliak V., Yaropud V., Trukhanska O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54. № 1. P. 95–104.
10. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Z. and Olt J. Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*. 2018. № 16 (1). P. 52–63. <https://doi.org/10.15159/AR.18.037>.
11. Hrushetskyi S., Chaika I. Review of the current state of mechanization of the potato harvesting process. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2024. № 3 (2). P. 47–66. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240302.04>.
12. Hrushetskiy S.M., Yaropud V.M., Duganets V.I., Duganets V.I., Pryshliak V.L. Kurylo, V.M. Research of constructive and regulatory parameters of the assembly working organs for the potato's harvesting machines. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 59. № 3. P. 101–110. <https://doi.org/10.35633/inmateh-59-11>.
13. Hrushetskyi S., Rud A., Korchak M., Zamoyskyi S. Evaluation of designs of root and tuber harvesters and ways of their improvement. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2024. № 3 (3). P. 21–42. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240303.03>.
14. Hrushetskyi S., Yaropud V., Kupchuk I., Semenysheva R. 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, 2021. Vol. 14 (63) № 1. P. 127–140. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12>.
15. Hutsol T., Firman J., Komarnitsky S. Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, 2017. Vol. 21. № 4. P. 27–35.
16. Pascuzzi S., Bulgakov V., Santoro F., Sotirios A., Anifantis Olt J., Nikolaenko S. Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*. 2019. Vol. 17 (1). P. 33–48. <https://doi.org/10.15159/AR.19.073>.

Hrushetskyi S. M.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Agricultural Engineering
and System Engineering Named After Mykhailo Samokysh,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: g.sergiy.1969@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0487-6152*

Rud A. V.

*Doctor of Philosophy in the Field of Technical Sciences,
Head of the Department of Agricultural Engineering and System Engineering
Named After Mykhailo Samokysh,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: anatoliyrujd@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7206-7103*

Pukas V. L.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Tractors, Automobiles and Energy Vehicles,
Higher Educational Institution "Podillia State University"
Kamyanets-Podilskyi, Ukraine
E-mail: pukasvital@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0083-7359*

ANALYSIS OF THE CONDITIONS AND PRINCIPLES OF COMPONENT DISTRIBUTION BY THE SECONDARY SEPARATION ORGANS OF ROOT AND BULB HARVESTING MACHINES

Abstract

Root and tuber harvesting machines are important technical means for mechanized harvesting of root crops, such as potatoes, beets, carrots and other crops. One of the key stages of the operation of these machines is the effective separation of components consisting of root crops, soil, plant residues, stones and other impurities. Secondary separation in these machines plays the role of cleaning from various contaminants and ensuring better quality harvesting of products. The process of distributing components in the secondary separation organs of root and tuber harvesting machines requires detailed analysis, since not only the quality of harvesting depends on it, but also the efficiency of the machine as a whole. The principles underlying secondary separation are based on the physical and mechanical properties of the components, such as their density, shape, size, as well as their ability to move under the influence of gravity or mechanical movements. One of the main methods of component distribution is the use of specialized separation devices, which can operate according to different principles: centrifugal distribution, selective screening, vibration, and others.

In root and tuber harvesting machines, primary cleaning occurs at the first stages of operation, when large particles of soil, stones, and other contaminants are separated using sieves, screens, or vibration mechanisms. However, at the second stage, during secondary separation, it is important to separate smaller particles, such as soil residues that have passed through the sieve, as well as vegetation residues. The main devices that provide this process are vibration systems, mechanical separators, and centrifugal systems.

The choice of appropriate devices and conditions for secondary separation depends on the type of root and tuber harvesting machine, as well as the nature and properties of the mixture being processed. Centrifugal separators, for example, are used to separate components with different densities. This allows for effective separation of root crops from heavier contaminants such as stones. Vibration mechanisms provide additional separation due to oscillations, which allow for a more uniform distribution of the material and improve cleaning efficiency.

In the process of secondary separation, it is important to take into account several conditions, such as the speed of movement of the material through the separation elements, the intensity of vibration, the angle of inclination of the working surfaces, as well as the mechanical characteristics of the root crops and contaminants. For example, root crops such as potatoes are prone to mechanical damage during contact with the separation surfaces, so it is important to choose optimal conditions to reduce mechanical impact.

One of the important problems of secondary separation is to minimize root crop losses and increase the purity of the harvested product. Insufficient separation efficiency can lead to the fact that small particles of soil or plant residues get into the product, which reduces the quality and presentation of the product. Therefore, in the process of designing and adjusting root and tuber harvesting machines, the precise selection of parameters such as the speed of rotation of the drums, the amplitude of vibration or the angle of inclination of the working surfaces is of great importance.

Another important condition is to ensure the stability of the separation elements under different operating conditions. Changes in operating conditions, such as fluctuations in soil moisture or changes in the composition of pollutants, can negatively affect the efficiency of component distribution. To solve this problem, adaptive control systems are being developed that allow automatic adjustment of operating parameters depending on operating conditions.

Thus, the analysis of the conditions and principles of component distribution in the secondary separation elements of root and tuber harvesting machines is an important component for increasing the efficiency of harvesting and ensuring high quality of the harvested products. Taking into account the physical and mechanical properties of the components, optimizing the operating conditions of the separation elements and developing innovative technologies can significantly improve productivity and reduce the costs of material processing, which is of great importance for agricultural production.

Key words: secondary separation, root and tuber harvesting machines, component distribution, separation organs, vibration systems, centrifugal separators, cleaning, root crops, pollution, mechanical cleaning, harvesting efficiency, physical and mechanical properties, stones, soil, plant residues, separation technologies, optimization of conditions, material loss, product quality, agricultural production.

References

1. Horbatiuk, S.M. (2023). Analiz isnuichykh skhem separuiuchykh hirok [Analysis of existing schemes of separating slides]. *Pershi naukovyi kroky – 2023: zbirnyk naukovykh prats Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii studentiv ta molydykh naukovtsiv*, 19 [in Ukrainian].
2. Hrushetskyi, S.M. (2021). Doslidzhennia separatora pidnimaiucho-skhodiachoi dii dlia korenebulbozbyralnykh mashyn [Study of a lifting separator for potato machines]. *Naukovyi zhurnal "Inzheneriia pryrodokorystuvannia"*, 2 (20), 49–56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7262230> [in Ukrainian].
3. Hrushetskyi, S. (2022). Obgruntuvannia tekhnolohichnoi skhemy rotornoi 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), 60–67. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6819345> [in Ukrainian].
4. Hrushetskyi, S., Korchak, M., & Zakharavech, T. (2021). Analiz separuvalno-transportuvalnykh mekhanizmv dlia korenebulbozbyralnykh mashyn [Analysis of separation and transportation mechanisms for root potato harvesters]. *Naukovyi zhurnal "Inzheneriia pryrodokorystuvannia"*, 4 (22), 63–72. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6967501> [in Ukrainian].
5. Hrushetskyi, S.M., & Pidlisnyy, V.V. (2019). Analiz konstruktsiy ta rezul'taty doslidzhen' separatoriv kartoply-anoho vorokhu [Analysis of designs and research results of potato pile separators]. *Suchasnyi rukh nauky: tezy dop. VI Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet-konferentsiyi zhurnalu "WayScience"*. 4–5 kvitnya 2019. Dnipro, 274–282 [in Ukrainian].
6. Hrushetskyi, S.M., Rud, A.V., Semenishyna, 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'ky visnyk: sil's'ke hospodarstvo, tekhnika, ekonomika"*, 31, 52–60. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2019-2-7> [in Ukrainian].

7. Ivanyshyn, V., Hrushetskyi, S., Rud, A., & Korchak, M. (2022). Modeliuvannia ta perspektyvni napriamky konstruktivno-tehnologichnykh skhem hruddkoruiniuchykh robochykh orhaniv korenebulbozbyrnykh mashyn [Modeling and promising directions of structural and technological schemes of clod-breaking working bodies of root and tuber harvesting machines]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*. ZVO "PDU". Kamianets-Podilskyi, 1 (36), 28–35. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-14> [in Ukrainian].
8. Bulhakov, V.M., Pylypaka, S.F., Zakharova, T.N., Kaletnik, H.M., & Yaropud, V.M. (2014). Ploski vertykal'ni kryvi, yaki zabezpechuyut' postynni tysk i shvydkist' rukhu material'noyi tochky [Flat vertical curves that provide constant pressure and velocity of material point]. *Vseukrayins'kyi naukovo-tekhnichnyy zhurnal "Vibratsiyyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh"*. VNAU, 1 (73), 5–12 [in Ukrainian].
9. 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*, 54, 1, 95–104 [in English].
10. Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., & Olt J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*, 16 (1), 52–63. <https://doi.org/10.15159/AR.18.037> [in English].
11. Hrushetskyi, S., & Chaika, I. (2024). Review of the current state of mechanization of the potato harvesting process. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3 (2), 47–66. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240302.04> [in English].
12. Hrushetskyi, 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, 101–110. <https://doi.org/10.35633/inmateh-59-11> [in English].
13. Hrushetskyi, S., Rud, A., Korchak, M., & Zamoyskyi, S. (2024). Evaluation of designs of root and tuber harvesters and ways of their improvement. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3 (3), 21–42. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240303.03> [in English].
14. Hrushetskyi, 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, 14 (63), 1, 127–140. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12> [in English].
15. Hutsol, T., Firman, J., & Komarnitsky, S. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, 21, 4, 27–35 [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), 33–48. <https://doi.org/10.15159/AR.19.073> [in English].