
Огляд сучасного стану механізації процесу збирання картоплі

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

Ігор Чайка

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

Для цитування цієї статті:

Грушецький Сергій, Чайка Ігор. Огляд сучасного стану механізації процесу збирання картоплі. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No. 2, 2024, pp. 47-66. doi: 10.46299/j.isjea.20240302.04.

Надійшла до редакції: 01 березня 2024 р.; **Схвалено:** 31 березня 2024 р.;

Опубліковано: 01 квітня 2024 р.

Анотація: Оновлення техніки для вирощування картоплі є важливим кроком для підвищення продуктивності та якості вирощування цієї культури в Україні. Залучення сучасних машин і обладнання з Європи може сприяти покращенню ефективності та конкурентоспроможності українських картоплярів. Проте важливо також розвивати внутрішню виробничу базу і забезпечити підтримку для місцевого виробництва та ремонту сільськогосподарської техніки. Відповідно, метою дослідження було проведення порівняльного огляду сучасного стану механізації процесу збирання картоплі для підвищення ефективності технологічного процесу машинного збирання картоплі шляхом вдосконалення викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин. Механізація викопування картоплі в сільському господарстві відіграє важливу роль у підвищенні продуктивності, зниженні витрат ресурсів і поліпшенні умов праці сільських працівників. Сучасний стан цієї механізації включає використання картоплезбиральних комбайнів, тракторів з викопувальним обладнанням, ручних та напівавтоматичних пристроїв, а також інноваційних технологій. Картоплезбиральні комбайни оснащені різноманітними технологіями для видалення, очищення та сортування картоплі, що дозволяє їм працювати ефективно в різних умовах. Трактори з викопувальним обладнанням допомагають у викопуванні картоплі в умовах, коли комбайни не є оптимальними. Ручні та напівавтоматичні пристрої застосовуються на невеликих господарствах або у випадках обмежених фінансових можливостей. Використання інноваційних технологій, таких як штучний інтелект та GPS, дозволяє підвищити ефективність процесу викопування картоплі. Постійні дослідження та інновації є ключовими для подальшого покращення цієї механізації з метою забезпечення ще більшої продуктивності, якості та ефективності у сільському господарстві.

Ключові слова: механізація, картопля, вирощування, продуктивність, конкурентоспроможність, картоплезбиральні комбайни, трактори, інноваційні технології, викопування, ефективність, якість, сільське господарство, дослідження, вдосконалення.

1. Вступ

Картопля є однією з найбільш поширених культур в Україні, її виробництвом займається переважна більшість вітчизняних господарств – від населення до крупних агрофірм. Причому, близько 95% виробленої картоплі припадає на присадибні господарства, для яких характерні широке використання ручної праці на більшості технологічних операцій збирання та низька механізація процесу збирання загалом.

Збирання залишається найбільш ресурсозатратним процесом у виробництві картоплі, адже на сьогодні, як відомо, частка енерго- та працезатрат процесів збирання складає відповідно 50-60% та 60-70%. [1].

Як свідчать вітчизняні статистичні дані та ФАО, Україна практично щороку потрапляє у п'ятірку світових лідерів з обсягів виробництва картоплі. Однак, такий вагомий результат досягається завдяки традиційно великим значенням показників валового збору, при незначних темпах росту інтенсифікації та механізації процесів виробництва. Враховуючи зростання важливості продовольчої проблеми для світової спільноти та світові тенденції до виробництва екологічно чистої продукції «органічного рослинництва», Україна зможе і надалі утримувати лідируючі позиції на продовольчому ринку з ряду сільськогосподарських культур, і зокрема – картоплі, за умови впровадження високопродуктивних технологій механізованого виробництва, найвагомішими серед яких є технології збирання.

Зважаючи на викладене вище, до важливих наукових та практичних завдань сільськогосподарського виробництва слід віднести дослідження та впровадження перспективних технологій та машин для збирання картоплі.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – сучасний стан механізації процесу збирання картоплі.

Предмет дослідження – аналіз і узагальнення наукових праць, присвячених проблемам побудови, функціонування та вдосконалення механізованого збирання картоплі.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – підвищення ефективності технологічного процесу машинного збирання картоплі шляхом вдосконалення викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин.

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

- проаналізувати існуючі конструкції викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин, результати експериментальних і теоретичних досліджень викопувально-сепаруючих робочих органів і на їх основі удосконалити конструкцію.

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. [1-13].

Явищем та моделювання процесу сепарації картопляного вороху займався у своїх працях Фірман Ю.П. [14, 15].

Питаннями розробки та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача займався Бончик В.С. [16].

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. [17, 18].

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

Методи дослідження, що застосовуються у даній роботі, орієнтовані на досягнення поставлених мети і завдань. Для систематизації та узагальнення існуючих досліджень щодо сучасного стану механізації процесу збирання картоплі, використовується аналіз наукових статей, технічних звітів та публікацій, що охоплюють цю тематику. Для визначення техніко-економічних показників застосовуються методи статистичного аналізу даних, порівняльний аналіз різних моделей збирання картоплі та економічні розрахунки.

Також у дослідженні можуть використовуватися методи моделювання та експертної оцінки для ідентифікації перспективних напрямків вдосконалення конструкцій для збирання картоплі. Враховуючи комплексність завдань, можливе використання інтегрованого підходу, який поєднає різні методи аналізу та оцінки з метою отримання об'єктивних та комплексних результатів.

6. Результати досліджень

На сьогоднішній день механізація викопування картоплі є важливою складовою сільськогосподарського виробництва, спрямованою на підвищення продуктивності, зниження витрат ресурсів і покращення умов праці сільських працівників. Ось деякі аспекти сучасного стану механізації викопування картоплі:

– **картоплезбиральні комбайни.** Сучасні картоплезбиральні комбайни виконують багатофункціональні завдання, включаючи видалення картоплі з ґрунту, очищення від бруду та сортування за розміром. Вони оснащені різноманітними технологіями, такими як системи відокремлення бруду, автоматичне регулювання швидкості та глибини копання, що робить їх ефективними для використання в різних умовах та типах ґрунту;

– **трактори з викопувальним обладнанням.** Деякі сільгосптехніки використовуються для викопування картоплі у випадках, коли картоплезбиральні комбайни не є оптимальними. Трактори можуть бути оснащені викопувальними пристроями, такими як копачі та плуги, які допомагають видобувати картоплю з ґрунту;

– **ручні та напівавтоматичні пристрої.** У деяких випадках, особливо на невеликих господарствах або в умовах обмежених фінансових можливостей, використовуються ручні або напівавтоматичні пристрої для викопування картоплі. Це можуть бути мануальні копачі або малопотужні механізми з електричним або бензиновим приводом;

– **інноваційні технології.** Сучасна механізація викопування картоплі все більше використовує інноваційні технології, такі як системи штучного інтелекту для автоматизації процесу вибору картоплі за якістю або системи GPS для точної навігації машин на полі.

Хоча сучасний стан механізації викопування картоплі вже досить розвинутий, постійні дослідження та інновації є ключовими для подальшого покращення продуктивності, якості та ефективності цього процесу.

1. Проблеми механізованого збирання картоплі, пов'язані з підкопуванням бульбоносного пласта

Збирання врожаю є найбільш трудомістким процесом при вирощуванні картоплі. Підкопуючі робочі органи перебувають на початку технологічного процесу збирання, і від їх якісної роботи в подальшому залежить функціонування інших робочих органів збирального агрегату. Можна виділити наступні проблеми механізованого збирання картоплі, що

виникають через недосконалість підкопуючої частини та пов'язані з підкопуванням бульбоносного пласта (рис. 1).



Рис. 1. Невирішені проблеми механізованого збирання картоплі, пов'язані з підкопуванням пласта [10].

З огляду на дані проблеми, проведемо огляд конструкцій і досліджень підкопуючих робочих органів, виконаних вітчизняними і зарубіжними вченими.

2. Конструктивні різновиди підкопуючих робочих органів, машин для збирання картоплі

Картоплезбиральні знаряддя дозволяють виконувати лише одну операцію – підкопування куща картоплі з частковим вилученням на поверхню бульб. Збір бульб у тару після підкопування проводиться вручну. На цьому етапі розвитку картоплезбиральної техніки підкопуючі органи були основними і єдиними робочими органами. До них можна віднести як ґрунтообробні знаряддя загального призначення: сохи, плуги, так і спеціальні копачі, руйнуючі ґрядку на дві сторони.

Подальший розвиток збиральних знарядь йшло, головним чином, шляхом розвідку копачів.

Сучасні підкопуючі робочі органи повинні виконувати наступні основні операції:

- зріз (підкопування) шару ґрунту;
- руйнування (кришення) пласта без пошкодження бульб;
- передачу зрізаного шару ґрунту з бульбами на наступні робочі органи машини.

Основними ознаками класифікації підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин послужили спосіб впливу їх на обробляючий матеріал – картопляну ґрядку, форма і тип поверхні леміша [13].

Існуюча відмінність підкопуючих органів по кінематичному признаку, формі і типу поверхні може бути представлено наступною схемою (рис. 2).



Рис. 2. Основні типи підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин [13].

Всі вони поділяються на три типи – пасивні, активні і комбіновані. Вони мають різноманітну форму (плоскі, циліндроїдальні і т.п.) і розрізняються за типом поверхні (суцільні, пруткові і т.д.).

Аналізуючи цю класифікацію підкопуючих робочих органів, можна сказати, що, незважаючи на ряд технологічних недоліків, пасивні лемеші все ж мають найбільше розповсюдження. Нашим же завданням буде часткове або повне усунення їх недоліків за рахунок використання розроблених дискових боковин.

3. Аналіз конструкцій картоплезбиральних машин

Технологічний процес збирання картоплі незалежно від засобів механізації, що застосовуються, включає наступні основні операції: підкопування (викопування бульб), відділення (сепарація) бульб від ґрунту, відділення бадилля і рослинних решток, відділення каміння та інших домішок, навантаження в тару або транспортні засоби. Можуть застосовуватись і додаткові операції: попереднє видалення бадилля або сортування бульб на фракції.

У наш час практичне застосування знаходять три основних способи збирання [13]:

- 1) викопування бульб картоплекопачами з укладанням їх на поверхню поля і наступним ручним підбиранням;
- 2) збирання картоплекопачами з причіпними робочими столами, на яких робітники вручну вибирають бульби і завантажують їх в тару;
- 3) збирання комбайнами.

При останньому способі розрізняють три варіанти: пряме комбайнування, роздільне (двофазне) комбайнове збирання (підбирання комбайнами валків, укладених на поверхні поля картоплекопачами) і збирання комбінованим способом (збирання комбайном рядків, між якими розташований валок, утворений картоплекопачем-валкоукладчиком).

Для здійснення цих способів збирання використовують копачі, картоплекопачі, картоплекопачі з причіпними перебиральними столами, картоплекопачі-валкоукладчики і картоплезбиральні комбайни.

Вибір засобів механізації визначається конкретними умовами господарства. Наприклад, на полях з легкими і середніми ґрунтами, довгими гонами і високою врожайністю картоплі доцільніше використовувати картоплезбиральні комбайни. На важких ґрунтах, при підвищеній вологості та засміченості камінням кращі результати одержують при збиранні врожаю картоплекопачами.

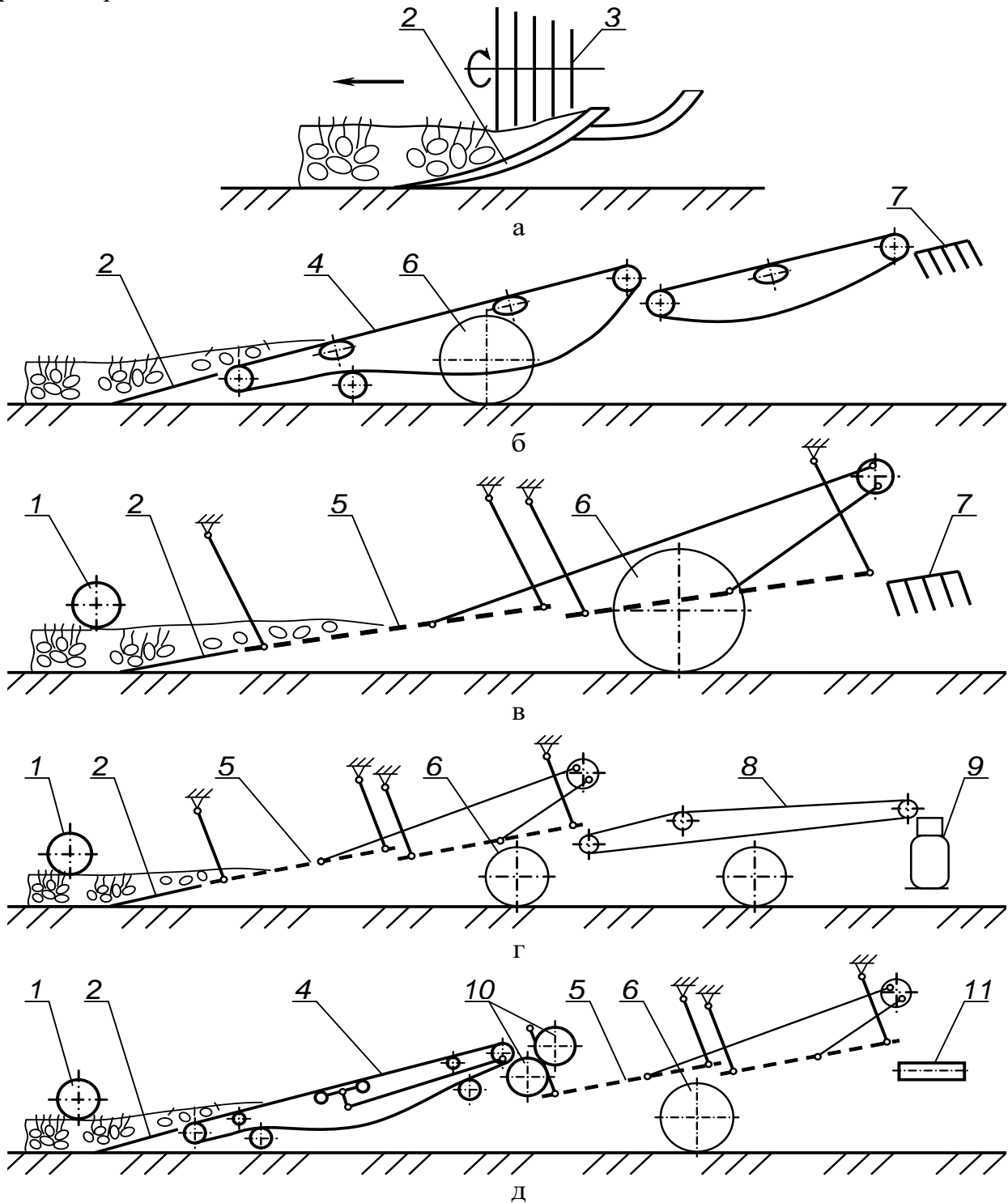


Рис. 3. Конструктивно-технологічні схеми картоплекопачів [13]:

а – лемішно-швириальні (КТН-1А); б – лемішно-елеваторні (КТН-2В); в – лемішно-грохотні (КВН-2М); г – лемішно-грохотні з перебиральним столом (КГ-2); д – лемішно-елеваторні грохотні валкоукладчики (УКВ-2); 1 – коток; 2 – підкопуючий леміш; 3 – розкидальний ротор; 4 – прутковий елеватор; 5 – грохот; 6 – опорне колесо; 7 – решітка; 8 – перебиральний стіл; 9 – тара; 10 – грудкоподрібнюючі балони; 11 – поперечний елеватор.

Найпростішим знаряддям для викопування бульб є копач швириального типу (рис. 3, а). Під час руху такого копача леміш підрізує бульбоносний шар, який в момент сходу з лемеша руйнується і розкидається по поверхні поля гребінками ротора. Після проходження копача одержують смугу вороху шириною 1,5-3,0 м, бульби з якого підбирають вручну.

Схема виконання технологічного процесу таким копачем наведена на рис. 4.

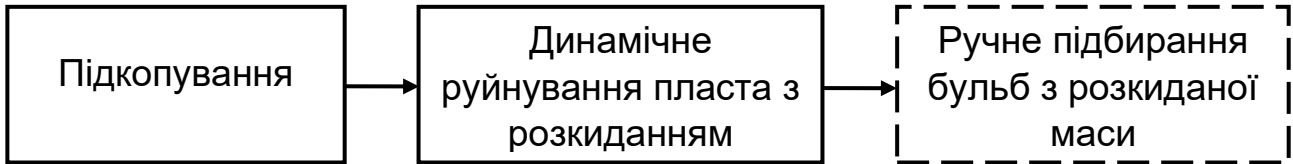


Рис. 4. Схема виконання технологічного процесу копачем швириального типу.

Недоліком копачів такого типу є великі втрати бульб (грунтом засипається до 25%), високий ступінь пошкоджень бульб (особливо при роботі на сухих ґрунтах), а також високу трудомісткість підбирання бульб (на 20-25% вища, ніж після картоплекопачів просіюючого типу) [13].

Значно більшого поширення набули картоплезбиральні машини з сепараторами просіюючого типу. Роль основних робочих органів картоплекопачів відіграють пруткові елеватори (рис. 3, б) або коливальні грохоти (рис. 3, в), а також різноманітні їх поєднання. Підкопаний шар поступає на елеватор (грохот), де ґрунт просіюється між зазорами в робочій поверхні, а бульби і не просіяні грудки та каміння скидаються позаду картоплекопача. Потім з поверхні поля бульби підбираються робітниками і укладаються в тару.

Для роботи у важких умовах в картоплекопачах використовують два-три послідовно встановлених сепаратора, обладнують їх додатковими бітерами, грудкоподрібнювальними барабанами тощо.

У картоплекопачах закордонного виробництва, таких як «Шмотцер», «Воккер» (Німеччина), «Колдрон» (Англія) в якості сепаруючого пристрою використовують відцентрове сито. На такому сепараторі ворох, який поступає в центр сита, під дією відцентрових сил розподіляється по його поверхні, при цьому руйнується структура пласта та грудки [13].

Виконання технологічного процесу такими картоплекопачами можна відобразити схемою, наведеною на рис. 5.

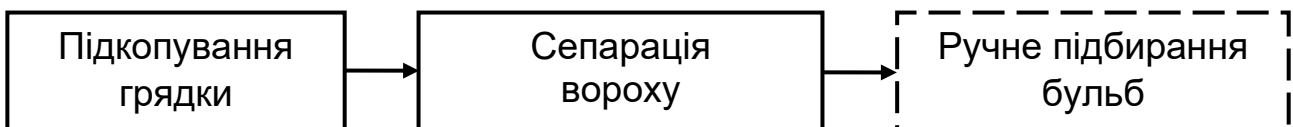


Рис. 5. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами з сепараторами просіюючого типу.

Тут і надалі під терміном «сепарація» будемо розуміти сукупність процесів кришення пласта, його перемішування, сегрегації і просіювання дрібних частинок.

Картоплекопачі з причіпними перебиральними столами (рис. 3, г) використовують в тих випадках, коли необхідно забезпечити низький ступінь пошкоджень бульб, наприклад при збиранні ранньої і насінневої картоплі. Але такий спосіб збирання можливий лише в оптимальних умовах. Перевагою цих картоплекопачів порівняно зі звичайними є покращення умов та продуктивності праці працівників, а порівняно з картоплезбиральними комбайнами – дещо менше пошкодження бульб [13].

Схема виконання технологічного процесу такими картоплекопачами наведена на рис. 6.

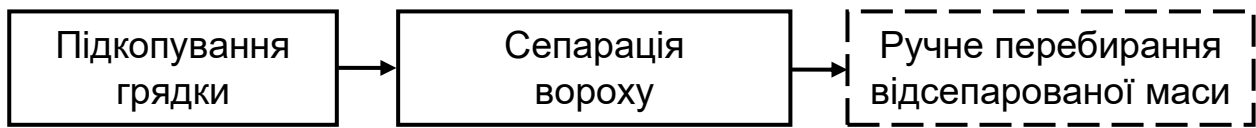


Рис. 6. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами з перебиральними столами.

Картоплекопачі-валкоукладчики (рис. 3, д), як правило, мають додаткові пристрої для видалення бадилля і поперечні транспортери, які дозволяють укласти бульби у вузький рядок з двох, чотирьох або шести рядків. Використання таких картоплекопачів дає можливість підвищити продуктивність праці робітників при підбиранні бульб, а також забезпечити двофазне комбайнове збирання картоплі.

Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами-валкоукладчиками наведена рис. 7.

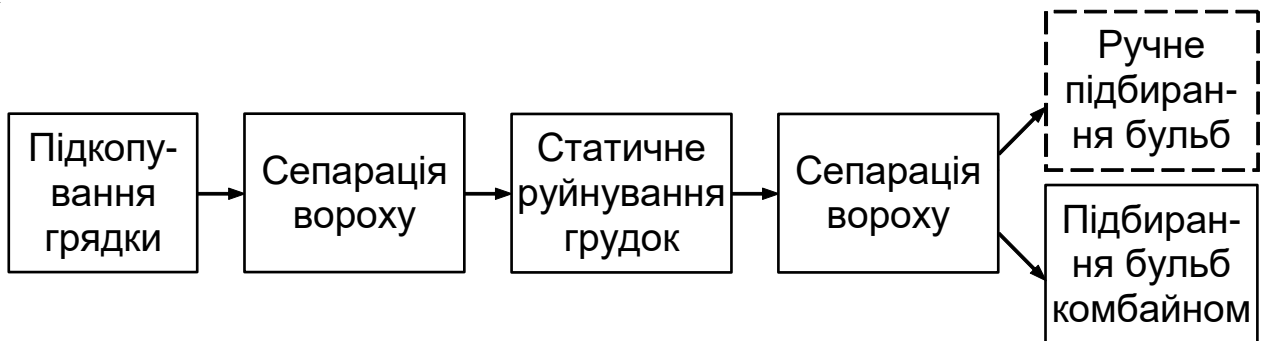


Рис. 7. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами-валкоукладчиками.

Картоплезбиральні комбайни здійснюють підкопування грядок, відділення бульб від ґрунту, бадилля та інших домішок і збирання бульб в тару. У картоплезбиральних комбайнах досить часто додатково встановлюють пристрої для механічного видалення каміння та грудок, розміри яких співрозмірні з розмірами бульб. Так, в багатьох англійських, німецьких та інших комбайнах каміння відділяється від бульб за допомогою транспортера, який рухається в бік, протилежний до напрямку скочування бульб на перебиральний стіл. Але усі ці пристрої недостатньо ефективні і не дають можливості обійтися без трудомісткого перебирання бульб вручну [3].

Схема виконання технологічного процесу картоплезбиральними комбайнами наведена на рис. 8.

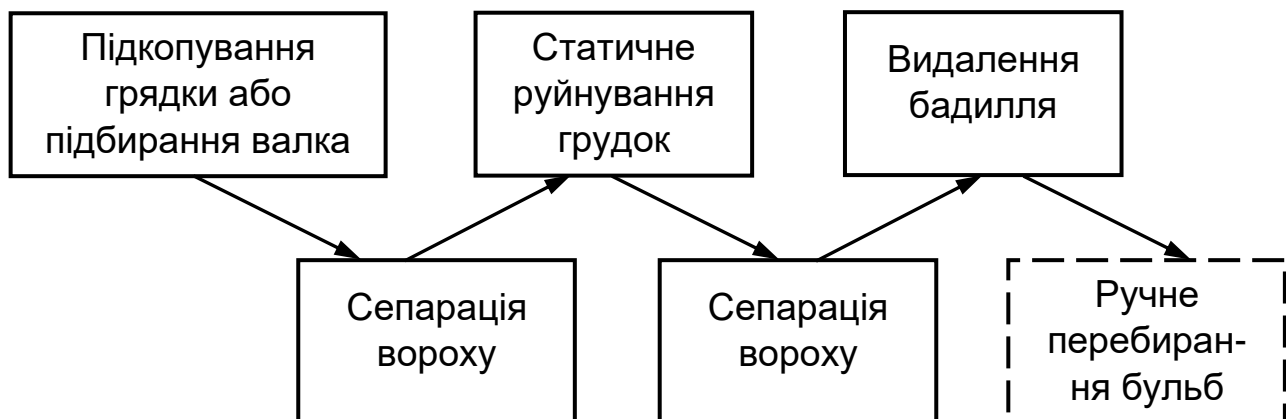


Рис. 8. Схема виконання технологічного процесу картоплезбиральними машинами.

Комбайни є найбільш ефективними машинами для збирання картоплі. Вони дозволяють навіть при наявності 4-6 робітників, які обслуговують перебиральний стіл, знизити затрати праці порівняно з ручним підбиранням після картоплекопачів у 3-4 рази. Тому проблема

удосконалення робочих органів комбайнів з метою підвищення якісних показників і підвищення продуктивності в наш час досить актуальна.

4. Аналіз і вибір перспективних конструктивно-технологічних схем робочих органів картоплезбиральних машин

Як показує практика використання збиральних агрегатів [5-8], при оптимальних умовах збирання (низька засміченість поля бур'янами і камінням, відмерле бадилля, вологість ґрунту 18%-22%, тип ґрунту – легкий суглинок та ін.) – в бункері комбайна є ґрунтові і рослинні домішки. Тим часом, до збиральних машин (комбайнів) пред'являються вельми жорсткі агротехнічні вимоги: чистота бульб в тарі 95% і вище, пошкодження – до 5%-10% і втрати бульб не більше 4%-6% [6, 7, 8].

Проведемо аналіз конструкцій основних і допоміжних робочих органів сучасних картоплезбиральних машин, на прикладі комбайнів (рис. 9). Відзначимо, що картоплекопачі і копачі-навантажувачі в більшості випадків є спрощеними варіантами комбайнів (по кількості робочих органів і виконуваних технологічних операціям [7]).

Головне завдання збиральної машини – це витяг бульбоносного пласта з поля і виділення з нього коренебульбоплодів. Тому розділимо всі конструктивні елементи збиральної техніки на дві групи (рис. 9). Перша група – основні робочі органи: 1) підкопуючі; 2) сепаруючі (первинна та вторинна сепарація), у тому числі органи для відділення ґрунтових і рослинних домішок (видаляють бадилля) і 3) грудкоруйнуючі; Друга група – допоміжні робочі органи і вузли: 4) рама; 5) ходова частина; 6) привідні механізми і вузли; 7) пристрої і конструктивні елементи для тимчасового зберігання бульб (бункери, тара та ін.); 8) транспортуючі робочі органи.

У випадку, якщо робочий орган або вузол відноситься і до першої і до другої групи, наприклад, сепаруючий транспортер (відокремлює домішки і транспортує бульби), то класифікуємо його як основний орган. Органи первинної сепарації [7] діляться на дві групи (для відділення – 1) ґрунтових і 2) рослинних домішок). Органи вторинної сепарації – це в основному пальчаті гірки, різних конструкцій, що використовуються для доочистки бульб від дрібних ґрунтових і рослинних домішок.

Сучасні підкопуючі робочі органи картоплезбиральних машин повинні виконувати такі основні операції: 1) зріз (підкопування) бульбоносного шару ґрунту; 2) часткове руйнування (кришення) пласта; 3) передачу зрізаного бульбоносного шару ґрунту на сепаруючий транспортер збиральної машини. При цьому, разом з бульбами повинно забиратися мінімальна кількість ґрунту і забезпечуватися як можна краще кришення пласта [3, 7, 8]. Існуючі відмінності в конструкції (класифікації) підкопуючих робочих органів можна провести по кінематичним ознакам (наявність приводу), а так само за формою і типом робочої поверхні. Підкопуючі робочі органи діляться на три основних типи (рис. 10) – пасивні, активні і комбіновані. Вони мають різноманітну форму (плоскі, циліндроїдальні і ін.) і розрізняються за конструкцією (суцільні, пруткові та ін.).

Залежно від характеру дії на картопляний шар підкопуючі робочі органи діляться на пасивні, активні і комбіновані; залежно від форми – на плоскі, секційні і циліндроїдальні [10]. Основні типи підкопуючих робочих органів показані на рис. 11.

Простотою конструкції пасивного підкопуючого робочого органу є плоский прямий леміш (рис. 11, а); такі лемеші можна застосувати на зв'язних ґрунтах при відсутності бур'янів. На спущених і забур'яненних ґрунтах рослинні домішки не перерізаються лезом, а обмотують його, в результаті чого простежується зсування пласта. Цей недолік усувається при використанні плоского лемеша трикутної форми (рис. 11, б) і плоского пруткового рис. 11, в. Кут сходу рослинних залишок γ з лемеша має бути таким, щоб рослинність переміщалась по лезу. У дворядних машинах плоский леміш взагалі складається із двох секцій – правої і лівої.



Рис. 9. Класифікація робочих органів і вузлів картоплезбиральних машин.



– перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

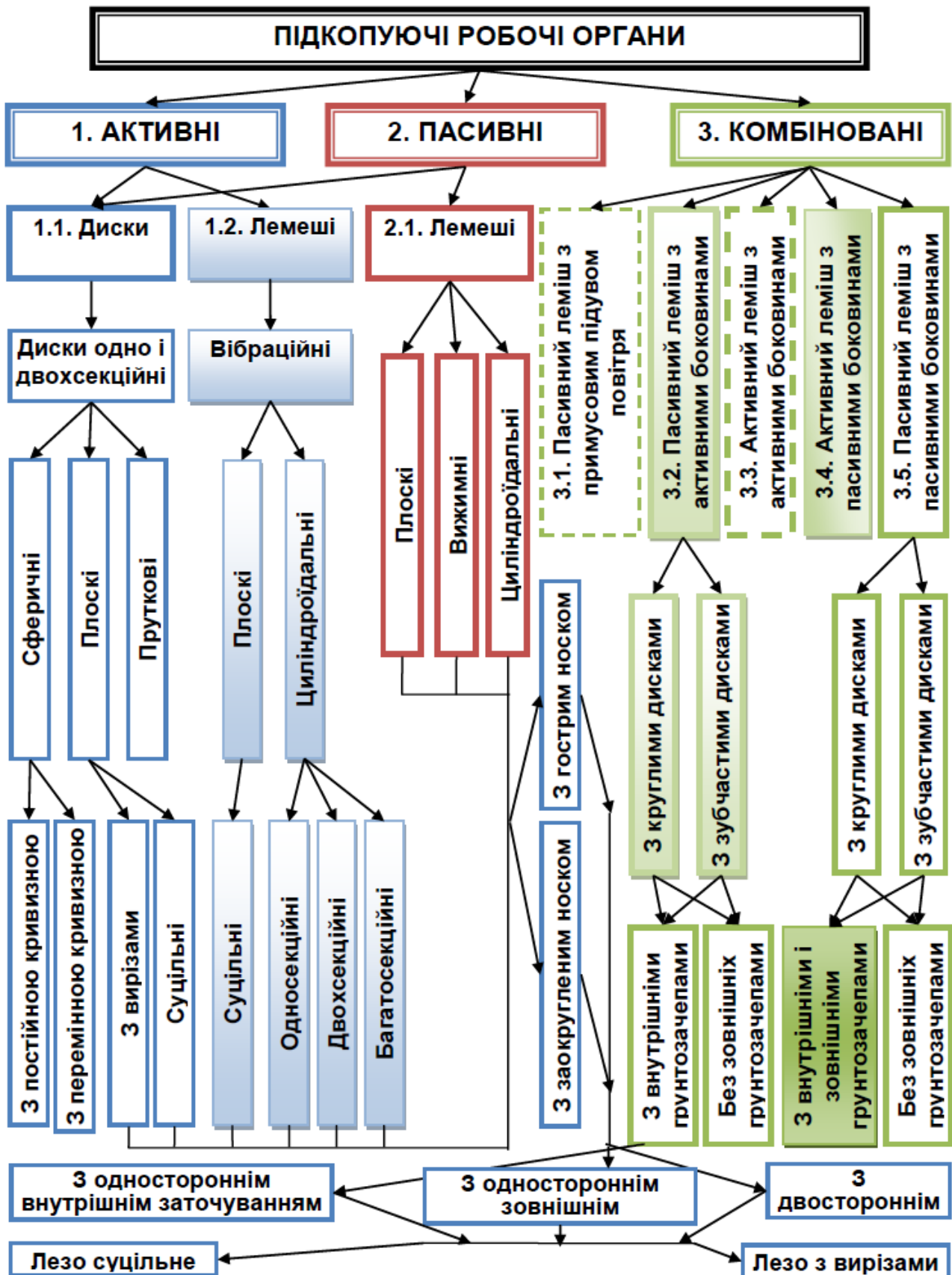


Рис. 10. Класифікація підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин.

– перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

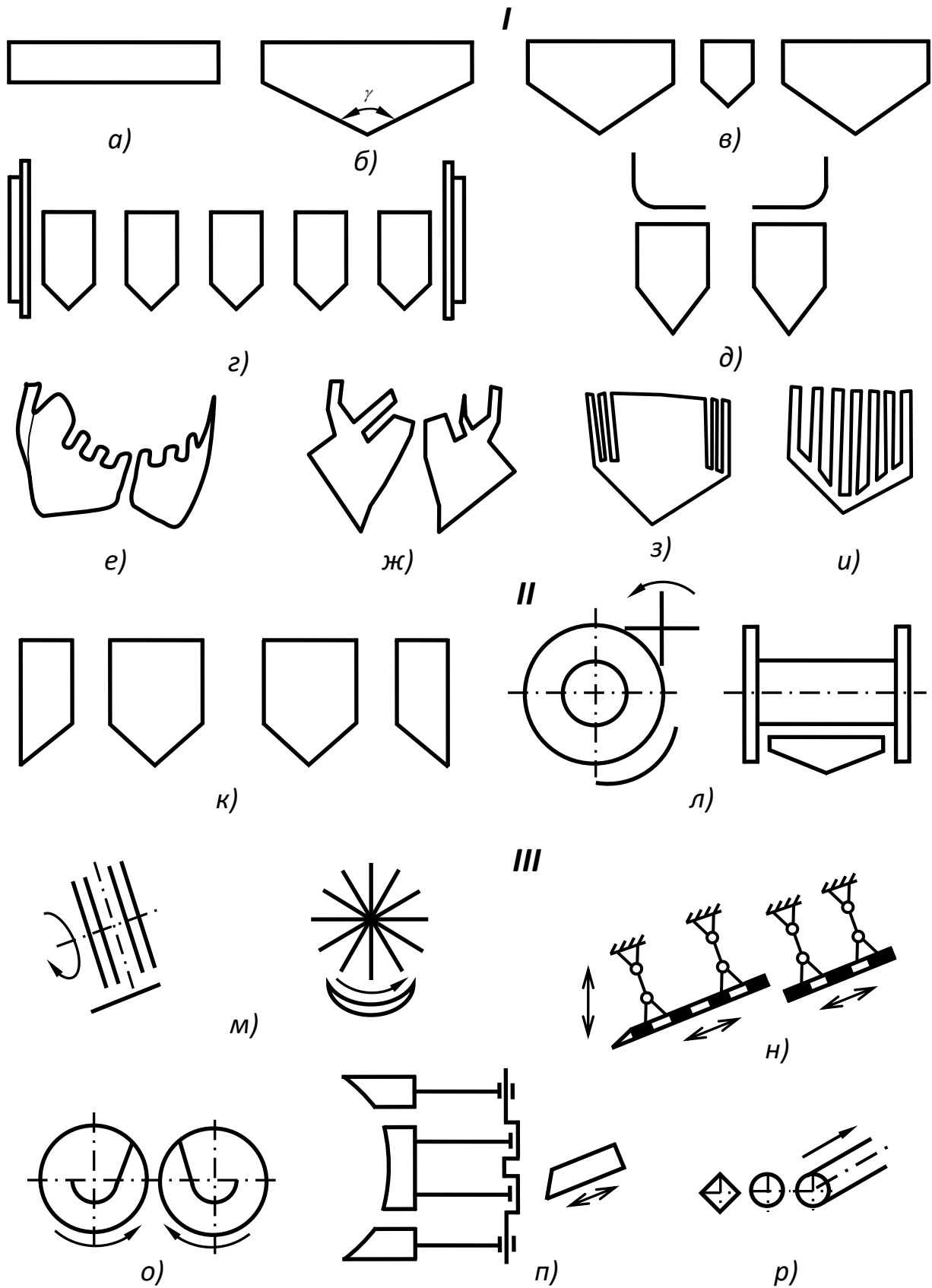


Рис. 11. Конструкції основних типів підкопуючих робочих органів:
 I – пасивні; II – комбіновані; III – активні.

Кожну секцію кріплять консольно на кронштейні. Щоб зменшити кут γ і глибину підкопування пласта для вільного проходження ланок елеватора, у дворядній машині інколи ставлять третю, середню секцію (рис. 11, в).

Недоліком плоского лемеша є розвалювання ґрунту з частиною бульб по сторонам, особливо на спушених не зв'язаних ґрунтах. Цей недолік усувається при використанні багатосекційних і коритоподібних лемешів.

Особливістю конструктивного рішення секційного лемеша (рис. 11, з) є кріплення кронштейнів окремих його секцій на зв'язках боковин рами, які знаходяться під нижньою частиною елеватора. Для усунення випадання бульб на сторони збоку секційних лемешів встановлюють дискові ножі.

Циліндричний леміш двосекційний (рис. 11, д, е, ж) складається із двох секцій – правої і лівої. Між секціями є зазор 30-50 мм для виходу рослинності. При підрізання пласта спочатку зміщується до центру лемеша, що унеможливує випадання бульб на сторони. Втратам з лемешів запобігають бічні стінки. Циліндричний – леміш односекційний (рис. 11, з). Недоліком циліндроїдальних лемешів є налипання землі у закругленнях при роботі на вологих липких ґрунтах.

Слід відмітити, що передача підкопаного шару пасивним лемешом на сепаруючий орган здійснюється тим краще, чим менший шар деформується при підкопуванні. При роботі пасивного лемеша на спушених сипучих ґрунтах простежується тенденція згужування і розвалювання підкопуваного вороху по сторонах.

Недоліки, притаманні пасивним плоским і циліндричним лемешам, усунені в комбінованих і активних підкопуючих робочих органах. Серед комбінованих робочих органів, для яких характерними є ознаки пасивних лемешів із допоміжними пристроями, які активізують руйнування пласта і його передачу на сепаруючі робочі органи. Тому, широке застосування знайшов комбінований робочий орган, який включає у себе пасивні плоскі секційні лемеші і активні коливальні боковини (рис. 11, к). Боковинки прикріплені на підвісках до рами елеватора і приводяться в зворотньо-поступальний рух від ексцентрикового вала.

До комбінованих підкопуючих органу відноситься також дисковий грядкопідійомник, який складається з лемеша і барабана із закріпленими на ньому по боках дисками (рис. 11, л). Барабан котиться по гребеню рядка, шар, підрізаний лемешами і дисками, затискується між дисками, переміщується по лемешу вгору і скидається обертаючим бітером на елеватор. Перевагою цього підкопуючого робочого органу є можливість піднімання шару на велику висоту, підкопування тільки рядка і відсутність розвалювання пласта по сторонах.

У картоплекопалках, а також в комбайнах знаходять застосування комбіновані підкопуючі робочі органи, які складаються із лемеша і кидаючого ротора, скидаючого пласт на поверхню поля або на сепаруючий робочий орган (рис. 11, м).

В якості коливаючого лемеша часто використовують передню кромку коливаючого грохота (рис. 11, н). Відмінною ознакою коливаючого лемеша є самоочищення леза і активне переміщення пласта по лемешу при будь-якому стані ґрунту. Такий леміш дозволяє підкопувати і транспортувати тонкий бульбоносний шар і підбирати валки. Лезо цього лемеша може бути виконано без кута сходу і не мати зазору для виходу рослинності. Для зменшення кількості ґрунту який забирається, при підрізання рядків цей леміш може бути виконаний гнучий по профілю залягання бульб у гніздах. До недоліків коливального лемеша слід віднести пилообразний характер траєкторії руху леза, що спонукає потребу заглиблювати його дещо глибше, ніж пасивний.

Відомі конструкції активних лемешей дискового типу, підкопуючі робочі органи розташовані під кутом до напрямку руху агрегату. Диски бувають активні (з приводом) і пасивні, які обертаються у результаті зчеплення з ґрунтом (рис. 11, о). Перевагою цього робочого органу є примусове транспортування бульбоносного шару і можливість звуження потоку підкопаного матеріалу.

Розроблені конструкції активних лемешів для елеваторних машин. Прикладом такого робочого органу може слугувати коливальний леміш, який працює у протизазі з коливальними боковинами, що дозволяє урівноважити сили інерції (рис. 11, *n*).

У картоплезбиральних машинах і підбирачах США застосовують активний валиковий підкопуючий робочий орган (рис. 11, *p*), який складається із двох валиків (квадратного і круглого), що обертається у напрямку переміщення пласта. Такий робочий орган дозволяє підкопувати шар малої товщини і підбирати бульби із валків.

Доведено, що руйнування грудок необхідно проводити на початку технологічного процесу, в зоні підкопування бульбоносного пласта, що значно знижує навантаження на сепаруючі органи машини та підвищує ступінь сепарації, а бульби у цьому випадку частково захищені від механічних пошкоджень [10].

Враховуючи особливості технологічного процесу збирання картоплі, перспективні конструкції підкопуючих робочих органів повинні відповідати наступним вимогам [13]:

- під час підкопування картопляного пласта леміш повинен входити на глибину залягання картоплі;
- піднімати і передавати картопляний пласт на сепаруючий робочий орган;
- забирати разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечувати можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації.

Поточний спосіб, в свою чергу, можна розподілити на механічне і автоматичне відокремлення домішок (рис. 12) [9, 13].

Простотою конструкції відзначаються сепаратори картопляного вороху просіваючого типу (рис. 13). Питаннями вивчення цих сепараторів займалися такі вчені як Г.Д. Петров, М.В. Фірсов, А.А. Сорокін, А.Ю. Кречко, А.Е. Мацапура, В.М. Алесенко та інші [9, 13].

Провівши детальний аналіз відомих конструкцій сепаруючих пристроїв, а також способів їх впливу на картопляний ворох, можна зробити висновок, що перспективний сепаратор повинен задовольняти таким вимогам:

- перемішування вороху повинно бути об'ємним (робочий орган повинен бути зануреним у об'єм ґрунтової скиби), якщо ж перемішування поверхневе (наприклад, у нижньому шарі матеріалу), то дія робочого органу повинна бути направлена паралельно напрямку руху вороху і має відбуватись на якомога більшій довжині;
- слід обмежувати або уникати взагалі перемішування вороху у вертикальній площині, натомість сприяти перемішуванню в горизонтальній площині, що покращить сегрегацію та просіювання дрібних частинок вороху;
- в результаті сегрегації бульби підіймаються на поверхню вороху, тому руйнування грудок повинно відбуватись в його нижньому шарі;
- ступінь перемішування ґрунту та руйнування грудок має бути регульованим, що дозволить оптимально завантажити сепаратор та знизити пошкодженість бульб.

В даний час всі сепаруючі пристрої діляться на дві основні групи: органи первинної сепарації і органи вторинної сепарації (виносної сепарації). Органи первинної сепарації [9] діляться на дві групи, призначені для відділення бульб від сухого, дрібного, сипучого ґрунту і відділення ґрунтових і рослинних домішок (видаляють бадилля). Органи вторинної сепарації – це в основному пальчасті гірки, різних конструкцій, які використовуються для доочистки бульб від дрібних ґрунтових і рослинних домішок. Схема класифікації органів сепарації представлена на рисунку 14.

Органи первинної сепарації при оптимальних умовах здатні відокремлювати до 90% домішок ґрунту. Вони характеризуються високою пропускнуою можливістю і малими ушкодженнями бульб [9]. В результаті чого бульбоносна маса може мати співвідношення бульб до домішок. Таким чином, первинні сепаратори грають важливу роль в процесі відділення домішок, і від якості їх роботи буде залежати ефективність функціонування складніших сепаруючих пристроїв (вторинних), що в подальшому позначиться на якості кінцевого продукту.

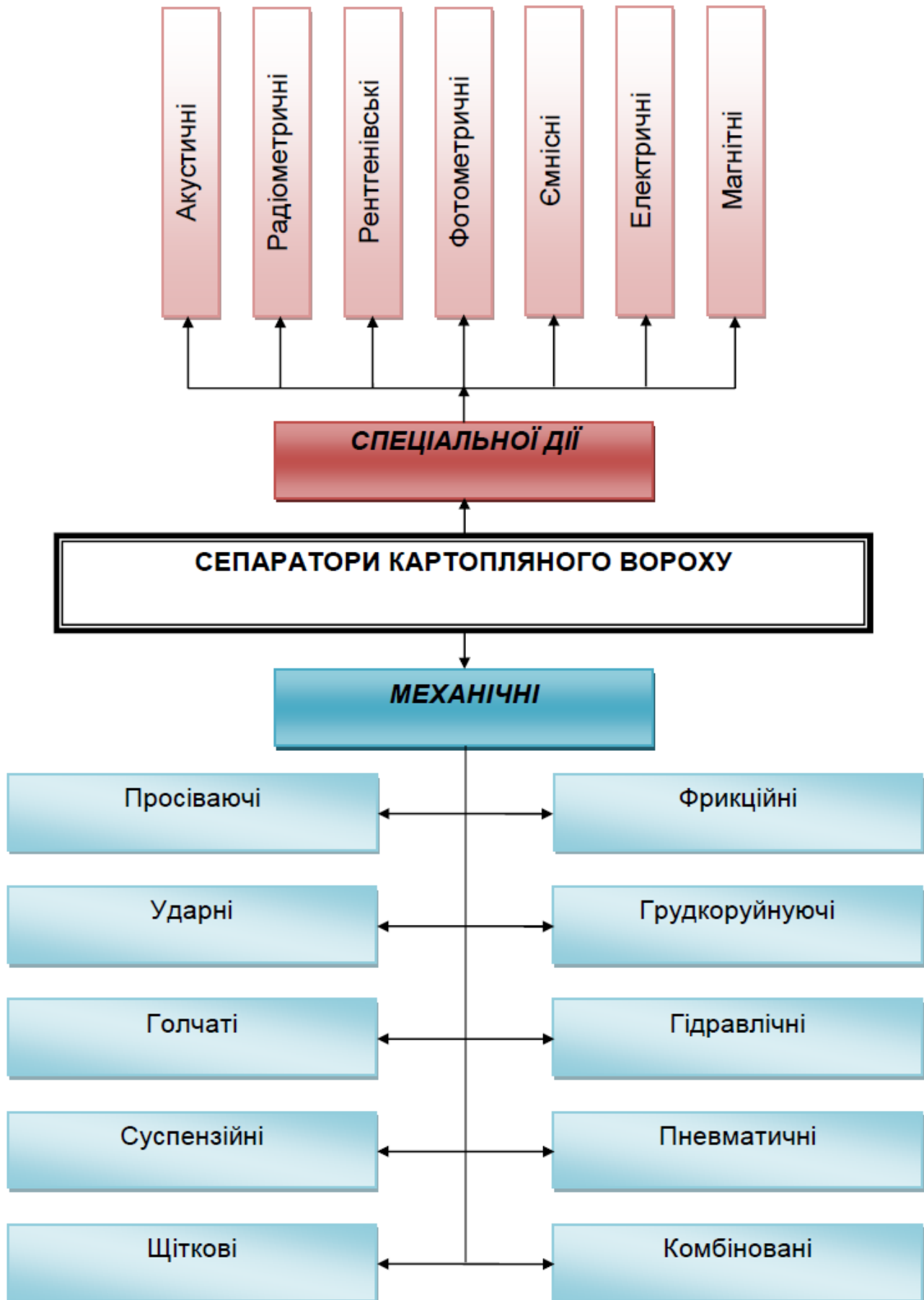


Рис. 12. Класифікація сепараторів картопляного вороху [9].

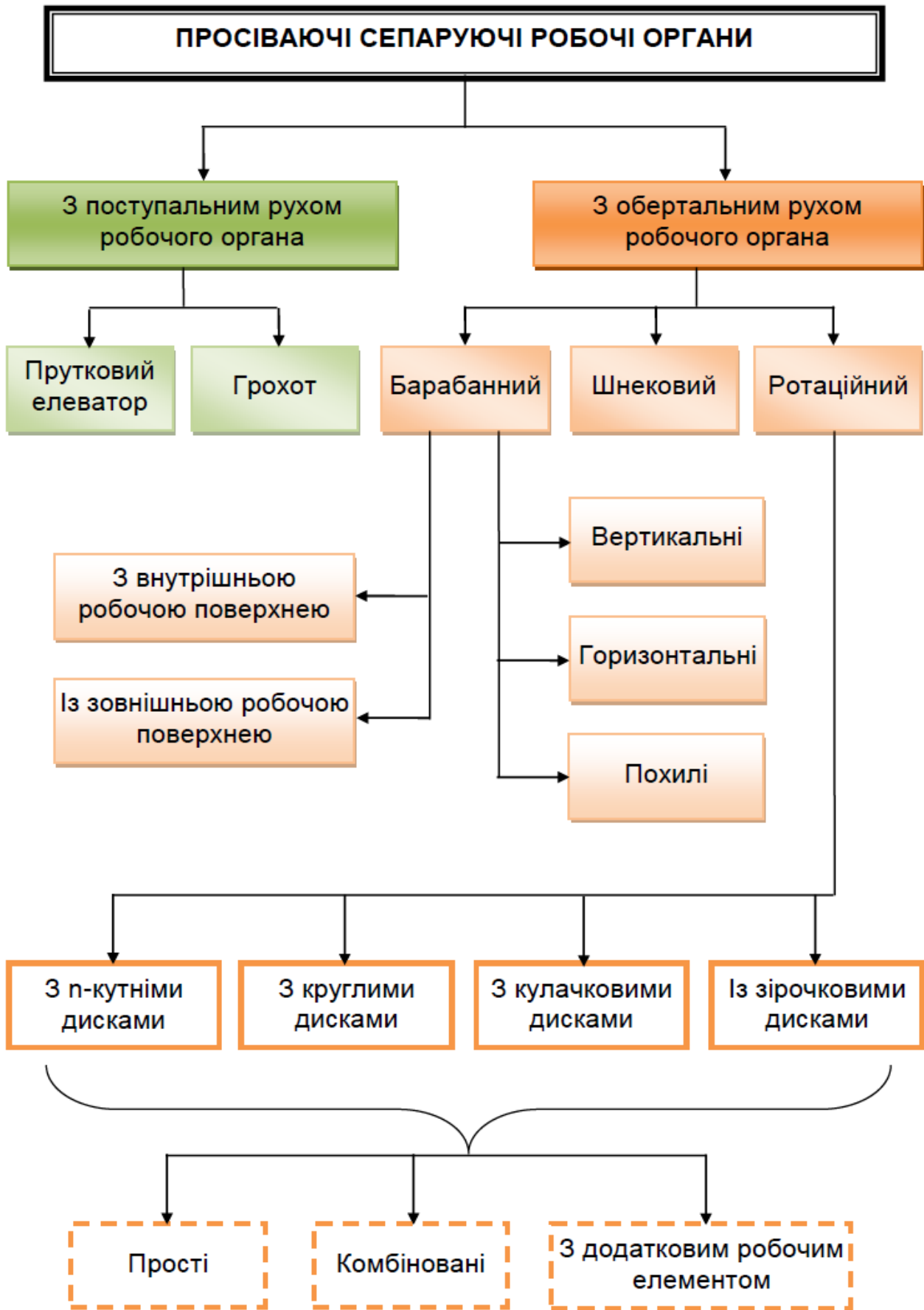


Рис. 13. Класифікація сепараторів картопляного вороху просіваючого типу [9].

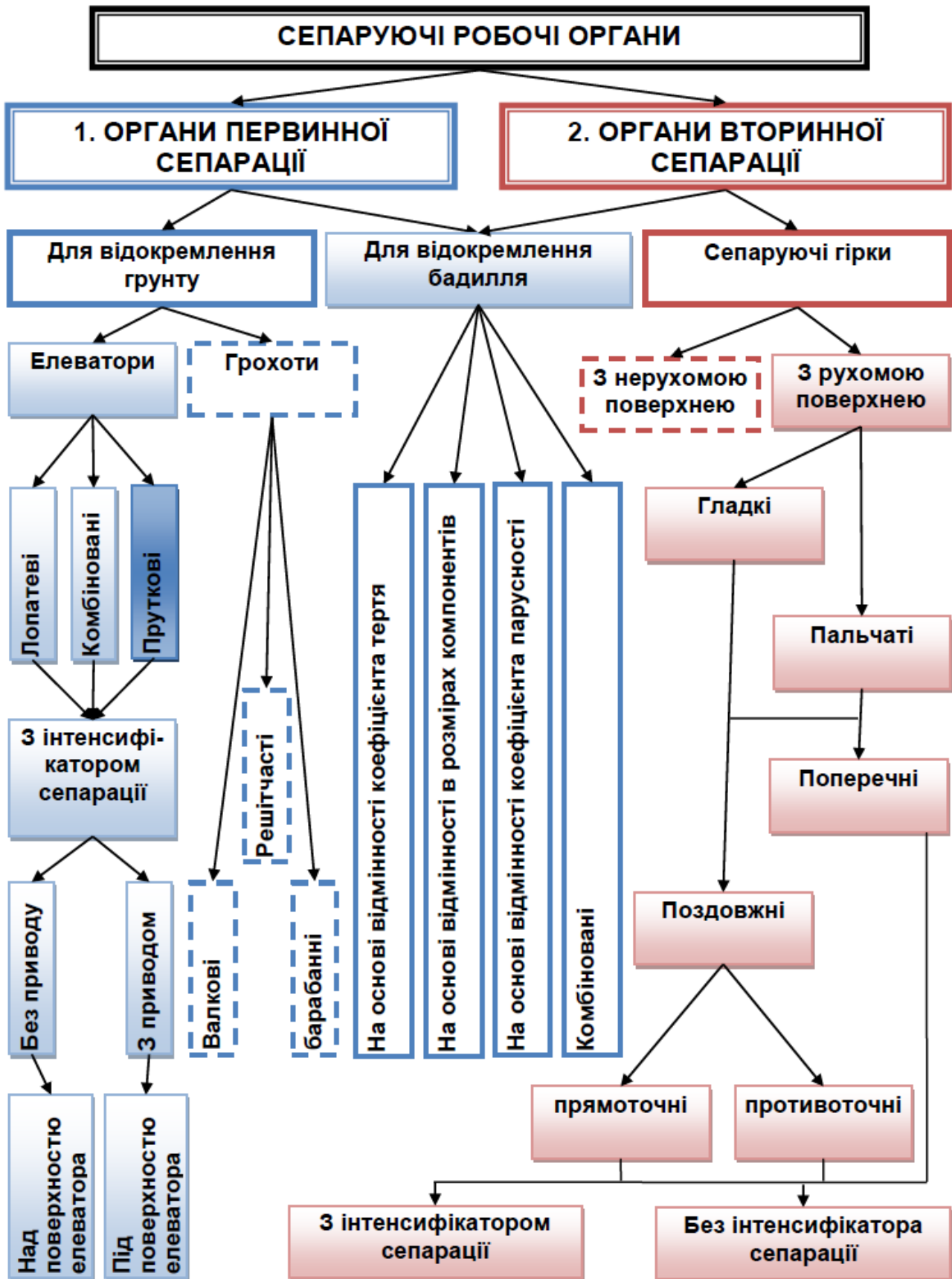



Рис. 14. Класифікація сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин.

 – перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

Отже, сепаратори просівальної дії потребують подальшого конструктивного вдосконалення, а також теоретичного та експериментального дослідження з метою підвищення якісних показників їх роботи.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Велике значення для якості збирання має вибір раціональних параметрів і режимів дискових підкопуючих робочих органів. Так, багато машин внаслідок нестійкого ходу підкопуючих органів на заданій глибині і не правильно вибраних параметрах і режимах, залишають у ґрунті значну частину врожаю у вигляді не викопаних бульб (до 10%). Поряд з цим, при роботі картоплекопачів і комбайнів часто спостерігається зсування ґрунту на лемішах. У зв'язку зсування маси на леміші виходить нерівномірна подача її в комбайн. Це призводить не тільки до різкого погіршення якісних показників, головним чином, сепаруючих і бадилеусуючих робочих органів (знижується чистота бульб, які видаються комбайном, в значній мірі збільшуються втрати картоплі з бадиллям), але і до зниження надійності підкопуючих робочих органів та збирального агрегату в цілому. Застосування комбінованих підкопуючих робочих органів дозволить усунути дані недоліки.

8. Висновки

Провівши огляд існуючих на сьогодні у світі та тих, що застосовуються в Україні технічних засобів для збирання картоплі можна дійти висновку, що не всі виробники картоплі в нашій країні мають можливість задовольнити свої потреби у відповідній техніці.

Актуальною сьогодні та у найближчій перспективі є потреба українських виробників картоплі у дешевому та одночасно надійному у роботі картоплезбиральному комбайні. Враховуючи розвиток машинобудування в Україні, такі вимоги можна забезпечити простою та компактною конструкцією однорядного чи дворядного комбайна вітчизняного виробництва. Для підвищення продуктивності та якості роботи комбайнів, при проектуванні їх конструкцій потрібно враховувати перспективні вимоги до механізації та автоматизації робочих процесів.

1. Найважливіша і відповідальна технологічна операція – підкопування бульбоносного пласта в сучасних картоплезбиральних машинах виконується з недостатньою якістю, тому слід і далі розвивати і вдосконалювати підкопуючі робочі органи.

2. Вибір підкопуючого робочого органу повинен здійснюватися з урахуванням ґрунтово-кліматичної зони, в якій буде використовуватися картоплезбиральна машина.

3. З усіх відомих підкопуючих органів найефективнішими і перспективними є комбіновані підкопуючі робочі органи, що містять пасивний леміш і активні або пасивні дискові боковини.

Список літератури:

1) Hrushetskyi, S.M. (2016). Analiz suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannia i zbyrannia kartopli. *Zbirnyk nauk. prats PDATU*, 24, p. 2. *Tekhnichni nauky*, 55-64. [in Ukrainian]

2) Rud, A.V. (Ed.), Bendera, I.M., Voitiuk, D.H. et al. (2012). *Mekhanizatsiia, elektryfikatsiia ta avtomatyzatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva*, t. 1 [Mechanization, electrification and automation of agricultural production, part 1]. Kyiv : Ahrosvita. ISBN 978-966-2007-67-1 Retrived from <https://www.twirpx.com/file/1791304/> [in Ukrainian].

3) Rud, A.V. (Ed.), Bendera, I.M., Voitiuk, D.H. et al (2012). *Mekhanizatsiia, elektryfikatsiia ta avtomatyzatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva* T. 2 [Mechanization, electrification and automation of agricultural production, part 2]. Kyiv : Ahrosvita. ISBN 978-966-2007-68-8. Retrived from <https://www.twirpx.com/file/1791316/> [in Ukrainian].

4) Bendera, I.M., Rud, A.V., Kozii, Ya.V. et al (2011). Proektuvannia silskohospodarskykh mashyn. 2-he vydannia dop. i pererob. [Design of agricultural machinery, 2nd ed.]. Kamianets-Podilskyi : FOP Sysyn O.V. ISBN 611-539-016-8 [in Ukrainian].

5) Ripka, I.I., Semen, Ya.V., Krupych, O.M., Bendera, I.M., & Rud, A.V. (2013). Osnovy mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva [Fundamentals of mechanization of agricultural production]. Lviv : LNAU. Retrived from. [in Ukrainian].

6) Hrushetskyi, S.M. (2019, October). *Model' tehnologicheskikh processov kartofeleuborochnykh mashin*. Tehnicheskoe i kadrovoe obespechenie innovacionnykh tehnologij v sel'skom hozjajstve : materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Minsk, 24-25 oktjabrja 2019 goda) : v 2 ch. / redkol.: I. N. Shilo [i dr.] [Process model of potato harvesting machines. Paper presented at the meeting of Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk]. Minsk : BSATU, Ch. 1., p. 125-127. [in Russian].

7) Hrushetskyi, S.M., Zbaravska, L.Iu., & Semenyshena, I.V. (2017, October). Analiz konstruktyvno-tehnolohichnykh skhem pidkopuiuchykh robochykh orhaniv korenebulbozbyralnykh mashyn. Suchasni problemy zemlerobskoi mekhaniky: zbirnyk naukovykh prats XVIII mizhn. nauk. konf. (16-18 zhovtnia 2017 r., Kamianets-Podilskyi) [*Analysis of structural and technological schemes of digging up the working bodies of root-picking machines*. Paper presented at the meeting of State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi]. Ternopil : Krok, 2017. P. 63-65. [in Ukrainian]

8) Hrushetskyi, S.M., Zbaravska, L.Iu., Semenyshena, I.V., & Skorobohatov, D.V. (2017). Novyi pidkopuiuchy roboty orhan dlia korenebulbozbyralnykh mashyny [New digging working body for root potato harvester]. *Podilskyi visnyk: silske hospodarstvo, tekhnika, ekonomika*, 27, 133-140. [in Ukrainian]

9) Hrushetskyi, S.M., & Pidlisnyi, V.V. (2019, April). Analiz konstruktsii ta rezultaty doslidzhen separatoriv kartopljanoho vorokhu. Suchasnyi rukh nauky: tezy dop. VI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii zhurnalu «WayScience», 4-5 kvitnia 2019 r. [*Analysis of structures and research results of potato heap separators*. Paper presented at the meeting of WayScience, Dnipro]. [in Ukrainian]

10) Hrushetskyi, S.M., & Slobodian, S.B. (2019, March). Systematyzatsiia osnovnykh problem mekhanizovanoho zbyrannia kartopli. Ahrarna nauka ta osvita v umovakh yevrointehratsii: zbirnyk naukovykh prats mizhnar. nauk.-prakt. konf. Ch.2. (20-21 bereznia 2019 r., m. Kamianets-Podilskyi) [*Systematization of the main problems of mechanized harvesting potatoes*. Paper presented at the meeting of State Agrarian and Engineering University in Podilya, Kamianets-Podilskyi]. Ternopil : Krok, p. 19-21.

11) Hrushetskyi, S.M. (2019, February). Ohliad doslidzhen ta analiz konstruktyvno-tehnolohichnykh skhem hrukoruinuiuchykh robochykh orhaniv. Suchasnyi rukh nauky: tezy dop. V mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii zhurnalu «WayScience», 7-8 liutoho 2019 r. [*A review of research and analysis of the constructive-technological schemes of breast-producing working organs*. Paper presented at the meeting of WayScience, Dnipro]. Dnipro, p. 149-154.

12) Hrushetskyi, S.M. (2019). Analiz konstruktsii korenebulbozbyralnykh kombainiv i perspektyva yikh vdoskonalennia [Design analysis of the potato harvester combines and the prospects of its improvement]. *WayScience*, 1 (3), 73-99.

13) 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 potatoes harvesting machines. *INMATEH-Agricultural Engineering*, vol. 59, № 3, 101-110. DOI: 10.35633/INMATEH-59-11.

14) Firman, Ju.P., Hrushetskyi, S.N. (2015). Kinematcheskij analiz raboty dinamicheskogo lentochnogo separatora. [Kinematic analysis of a dynamic belt separator]. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, vol. 17. № 1, 11-16.

15) Hutsol, T., Firman, Ju., Komarnitsky, S. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inzynierii Rolniczej*, vol. 21. № 4, 27-35.

16) Bonchik, V.S., Fedirko, P.P. (2015). Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij geometricheskih parametrov kartofel'noj grjadki pri rabote kartofeleuborochnyh 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, 3-6.

17) 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. DOI: 10.15159/AR.18.037.

18) 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. DOI: 10.15159/AR.19.073. 14(63) №. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12>.

Review of the current state of mechanization of the potato harvesting process

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

Ihor Chaika

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

Abstract: Updating the technology for growing potatoes is an important step to increase the productivity and quality of growing this crop in Ukraine. Attracting modern machines and equipment from Europe can contribute to improving the efficiency and competitiveness of Ukrainian potato growers. However, it is also important to develop the domestic production base and provide support for local production and repair of agricultural machinery. Accordingly, the purpose of the study was to conduct a comparative review of the current state of mechanization of the potato harvesting process to increase the efficiency of the technological process of machine potato harvesting by improving the digging-separating working bodies of potato harvesting machines. The mechanization of potato digging in agriculture plays an important role in increasing productivity, reducing resource costs, and improving the working conditions of rural workers. The modern state of this mechanization includes the use of potato harvesters, tractors with digging equipment, manual and semi-automatic devices, as well as innovative technologies. Potato harvesters are equipped with various technologies for removing, cleaning and sorting potatoes, which allows them to work efficiently in different conditions. Tractors with digging equipment help in digging potatoes in conditions where harvesters are not optimal. Manual and semi-automatic devices are used on small farms or in cases of limited financial possibilities. The use of innovative technologies, such as artificial intelligence and GPS, makes it possible to increase the efficiency of the potato digging process. Continuous research and innovation are key to further improving this mechanization to ensure even greater productivity, quality and efficiency in agriculture.

Keywords: mechanization, potatoes, cultivation, productivity, competitiveness, potato harvesters, tractors, innovative technologies, digging, efficiency, quality, agriculture, research, improvement.
