

Оцінка конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів та шляхи їх покращення

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

Анатолій Рудь

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-7206-7103

Микола Корчак

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-8726-1881

Степан Замойський

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID 0000-0002-1612-6009

Для цитування цієї статті:

Грушецький Сергій, Рудь Анатолій, Корчак Микола, Замойський Степан. Оцінка конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів та шляхи їх покращення. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No. 3, 2024, pp. 21-42. doi: 10.46299/j.isjea.20240303.03.

Надійшла до редакції: 28 квітня 2024 р.; **Схвалено:** 28 травня 2024 р.;

Опубліковано: 01 червня 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 даного дослідження полягає у систематизації та узагальненні існуючих досліджень щодо сучасних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів, а також у визначенні їх техніко-економічних показників та ідентифікації перспектив для подальшого вдосконалення. Для досягнення поставленої мети в рамках дослідження вирішуються наступні основні задачі: проведення огляду наявних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів; аналіз технічних характеристик і особливостей сучасних моделей комбайнів; визначення ефективності та продуктивності різних конструкцій; оцінка економічної доцільності використання різних типів комбайнів; виявлення ключових проблем і недоліків існуючих конструкцій; визначення можливостей для вдосконалення конструкцій з урахуванням сучасних технологій та вимог сільськогосподарського виробництва; а також розробка рекомендацій щодо оптимального

використання та вдосконалення коренебульбозбиральних комбайнів з метою підвищення їх ефективності та конкурентоспроможності.

Дослідження сучасних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів та їх вдосконалення є актуальною задачею в сільському господарстві. Ця робота має на меті систематизацію та узагальнення наявних досліджень у цій області, а також визначення техніко-економічних показників їх функціонування. В результаті проведених аналізів та оцінок будуть зроблені висновки щодо перспектив вдосконалення конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів з урахуванням сучасних вимог ефективності, економічності та екологічної безпеки. Ця робота є важливим кроком у напрямку поліпшення технологій збирання коренеплодів та бульб, що може сприяти підвищенню продуктивності та конкурентоспроможності в сільському господарстві.

Ключові слова: коренебульбозбиральні комбайни, вдосконалення конструкцій, техніко-економічні показники, ефективність, екологічна безпека.

1. Вступ

Оновлення техніки для вирощування картоплі в Україні має велике значення для підвищення продуктивності та якості цієї важливої культури. У зв'язку з цим, співробітництво з європейськими виробниками сільськогосподарської техніки для організації спільного виробництва або ліцензійного виробництва в Україні може бути перспективним кроком. Це сприятиме не лише оновленню технічного парку, але й створенню нових робочих місць та розвитку місцевої економіки.

Зокрема, важливо розвивати програми державної підтримки для аграріїв, які бажають оновити своє обладнання. Це може включати надання пільгових кредитів або субсидій на придбання сучасної сільськогосподарської техніки. Такі заходи стимулюватимуть використання передових технологій у вирощуванні картоплі та сприятимуть підвищенню ефективності у секторі сільського господарства. [1].

Також, важливо забезпечити відповідне технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки, яка вже використовується. Це допоможе зберегти та подовжити термін її експлуатації, а також знизити витрати на придбання нового обладнання.

Інноваційна технологія для вирощування картоплі охоплює різноманітні технологічні рішення та методи, спрямовані на покращення виробництва картоплі. Деякі з цих компонентів включають використання новітніх гібридних і генетично модифікованих сортів картоплі, точне землеробство з використанням GPS та датчиків для оптимізації використання ресурсів, механізацію та автоматизацію процесів вирощування та обробки картоплі, застосування новітніх методів обробки ґрунту, таких як мінімальна та безорна обробка, і впровадження сучасних систем поливу. Все це спрямовано на підвищення врожайності, якості продукції та зменшення негативного впливу на довкілля, що робить їх важливими для сучасного агропромислового сектору.

Картоплезбиральні комбайни є найбільш складними і дорогими машинами для збирання картоплі. На відміну від копачів-навантажувачів комбайни обладнуються, як правило, бункером для тимчасового зберігання бульб та перебиральним столом для ручного доочищення вороху від рослинних і ґрунтових домішок. Збирання картоплі комбайнами забезпечує високу чистоту бульб у тарі при низьких трудовитратах.

При виборі об'єкта, для науково-обґрунтованої модернізації серед комбайнів, будемо орієнтуватися на конструктивно-технологічну схему збиральної машини, яка забезпечує виконання високих агротехнічних вимог, широко експлуатується в бульбоносних господарствах України.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження – коренебульбозбиральні комбайни, їх технічні характеристики, конструкції та функціональні можливості.

Предмет дослідження – аналіз і узагальнення наукових праць, присвячених проблемам побудови, функціонування та вдосконалення коренебульбозбиральних комбайнів.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження полягає в систематизації та узагальненні існуючих досліджень щодо сучасних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів. Також метою є визначення техніко-економічних показників цих машин та ідентифікація перспектив для їх подальшого вдосконалення.

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

- огляд наявних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів;
- аналіз технічних характеристик і особливостей сучасних моделей комбайнів;
- визначення ефективності та продуктивності різних конструкцій;
- оцінка економічної доцільності використання різних типів комбайнів;
- виявлення ключових проблем і недоліків існуючих конструкцій;
- визначення можливостей для вдосконалення конструкцій з урахуванням сучасних технологій та вимог сільськогосподарського виробництва;
- розробка рекомендацій щодо оптимального використання та вдосконалення коренебульбозбиральних комбайнів з метою підвищення їх ефективності та конкурентоспроможності.

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. [1-15].

Явищем та моделювання процесу сепарації картопляного вороху займався у своїх працях Фірман Ю.П. [16, 17].

Питаннями розробки та обґрунтування параметрів ротаційного картоплекопача займався Бончик В.С. [18].

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. [19, 20].

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 сучасних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів 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 комбайнів та економічні розрахунки.

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

6. Результати досліджень

Справді, картоплярство є енерговитратною та праце-інтенсивною галуззю сільськогосподарського виробництва, і ефективність цієї галузі значно залежить від використання сучасної техніки та технологій. Особливо важливою є робота сепаруючих робочих органів у картоплезбиральних машинах, оскільки вони визначають якість вихідного продукту.

Досвід європейських країн підтверджує, що високопродуктивне картоплярство ґрунтується на сучасних технологіях та механізації. Розробка комплексу агротехнічних, технічних і організаційних заходів для механізованого виробництва картоплі є надзвичайно важливою для підвищення ефективності цієї галузі. Ці заходи мають спрямовуватися на підвищення врожайності, поліпшення якості продукції та зниження експлуатаційних витрат.

Аналіз конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів є важливим етапом для вдосконалення цих машин і підвищення їх ефективності. Деякі аспекти, які можна включити до аналізу конструкцій таких комбайнів, та їх можливі перспективи вдосконалення, включають наступне:

1. Ергономіка та зручність в управлінні. Оцінка розміщення та доступності керувальних елементів, комфорт оператора та можливість його продуктивної роботи.

2. Технології збору та сепарації. Аналіз ефективності робочих органів для збору коренеплодів та бульб, а також методів сепарації бульб від домішок.

3. Продуктивність та якість збору. Оцінка швидкості та якості збору коренеплодів і бульб, включаючи ефективність видалення домішок та ушкоджень.

4. Енергоефективність та екологічні аспекти. Розгляд можливостей зменшення споживання палива та сумішей забруднюючих речовин.

5. Автоматизація та інтеграція з технологіями Інтернету речей (IoT). Розвиток автоматизованих систем керування та моніторингу, які дозволяють оптимізувати роботу комбайнів та забезпечувати збір та обробку даних для аналізу та прийняття рішень.

6. Матеріали та конструкція. Використання легких та міцних матеріалів для зменшення ваги комбайну, а також оптимізація конструкції для забезпечення надійності та довговічності.

7. Системи безпеки та захисту. Удосконалення систем безпеки для запобігання травматизму оператора та забезпечення безпечної експлуатації машини в умовах різних виробничих обставин.

8. Функціональні можливості. Розгляд можливостей розширення функціональних можливостей комбайнів для виконання додаткових завдань, таких як обробка ґрунту або внесення добрив.

Аналіз та удосконалення конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів сприятиме підвищенню їх продуктивності, надійності та ефективності, що, у свою чергу, позитивно вплине на розвиток агропромислового сектора.

Надалі буде проаналізовано основні технологічні схеми зарубіжних комбайнів, включаючи різні етапи розвитку технології збирання та рівня картоплезбиральної техніки. Наприклад, комбайн «Shotbolt» (Англія), вироблявся у 50-60 роки минулого століття і мав оригінальну технологічну схему. (рис. 1). Підкопуюча частина включала вертикальні відрізнi диски 3, що стало вдалим технічним рішенням, що знайшли свій розвиток на багатьох сучасних машинах [14]. Над сепаруючим транспортером 5 встановлений допоміжний

транспортер 7, що можна вважати однією з перших спроб інтенсифікувати процес сепарації ґрунту за рахунок пристрою, розміщеного над бульбоносним ворхом. В цілому комбайн «Shotbolt» мав невисоку надійність, а бадилевідокремлювач, що складається з фрикційного балона 9 і вентилятора 6 забезпечував низьку повноту відділення рослинних домішок при значних енерговитратах [14].

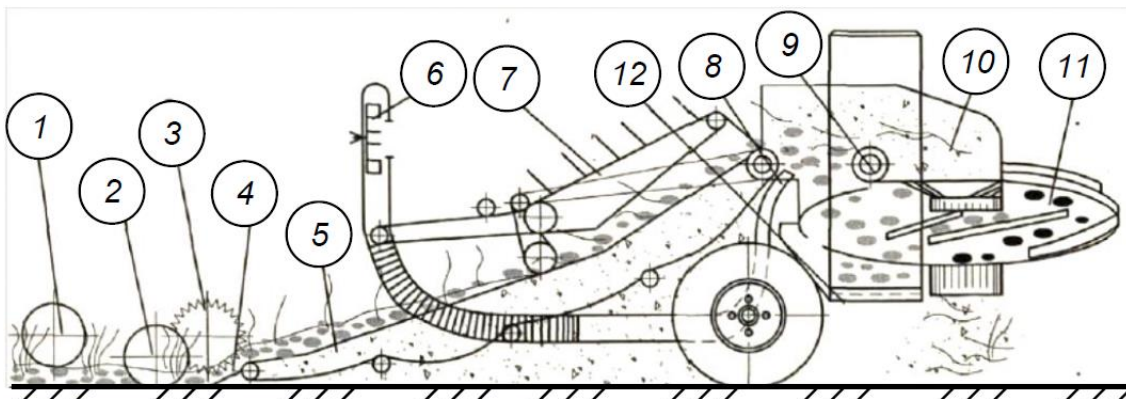


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна «Shotbolt» (Англія): 1 – катки; 2 – дискові ножі; 3 – вертикальні диски; 4 – леміш; 5 – сепаруючий транспортер; 6 – вентилятор; 7 – допоміжний транспортер; 8 – сопло вентилятора; 9 – фрикційний балон; 10 – вихідна труба; 11 – дисковий перебивальник; 12 – вивантажний транспортер.

За результатами численних досліджень до 70-80 років минулого століття більшість вітчизняних і зарубіжних конструкторів і вчених віддавало перевагу схемі комбайна, яку можна вважати класичною: підкопуюча частина (катки, леміш і бічні відрізні диски), один або два сепаруючих транспортера (основний і додатковий), грудкоподрібнювач, видаляч бадилля (пальчасто-гребінчастий, рідкопрутковий і ін.), поздовжня гірка, транспортер для переміщення вороху на другий ярус, перебиральних стіл, бункер і вивантажний транспортер [14], що в цілому відповідає сімейству машин Е-665 (рис. 2).

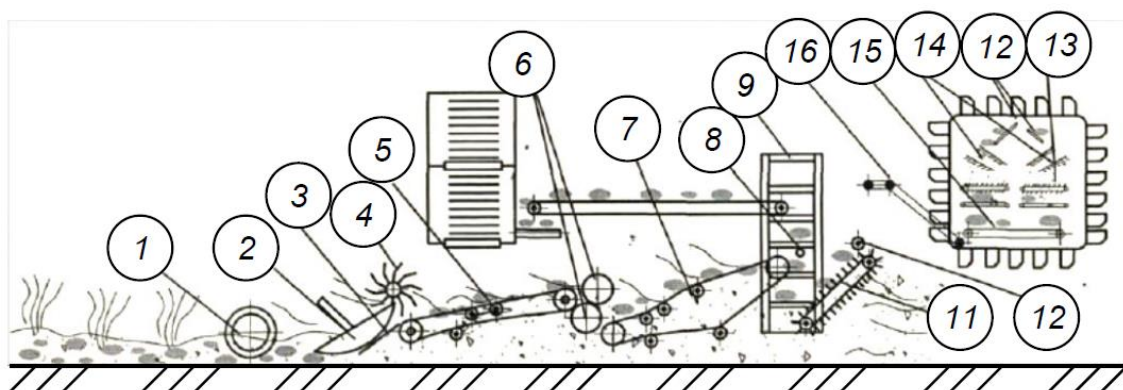


Рис. 2. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна Е-665 (Німеччина): 1 – катки; 2 – обертові дискові лемеші; 3 – плоский двосекційний леміш; 4 – вертикальні пруткові диски; 5 – основний транспортер; 6 – балони-грудкоздавлювачі; 7 – додатковий транспортер; 8 – відривний валик; 9 – підйомний ковшовий транспортер; 10 – відбійний валик; 11, 12 – гірки; 13 – горизонтальні пальцеві транспортери; 14 – ворсові щітки; 15 – поперечний транспортер; 16 – вивантажний транспортер.

Елеваторний комбайн Е-665/4 (рис. 3) виробництва Німеччина призначений для збирання картоплі прямим способом і відділенням бульб дрібної фракції з подальшим збором її в

окремий бункер (безпосередньо в процесі руху по полю), а великої і середньої фракції в транспортний засіб [14].

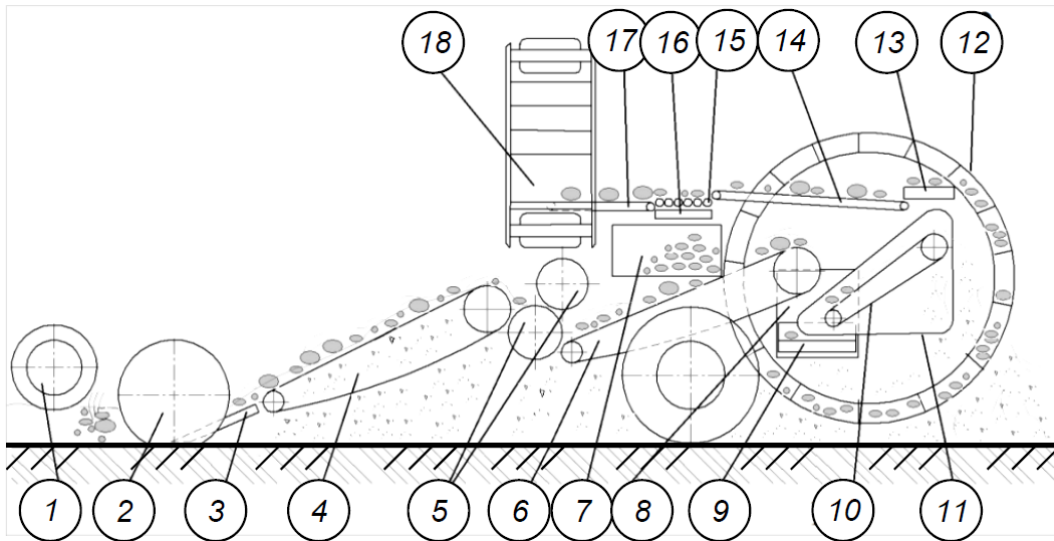


Рис. 3. Картоплезбиральний комбайн E-665/4 (Німеччина):

- 1 – катки; 2 – активні вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – перший прутковий елеватор; 5 – балони грудкостискувача; 6 – другий прутковий елеватор; 7 – бункер; 8 – гірка; 9 – елеватор; 10 – гірка; 11 – бадилевидальючий транспортер; 12 – підйомний барабан; 13 – елеватор; 14 – перебиральних стіл; 15 – сортування; 16 – елеватор для завантаження бункера; 17 – додатковий елеватор; 18 – основний вивантажний елеватор.

Відмінними рисами даної модифікації від базової моделі є наступні: підйомний барабан розташовується поздовжньо щодо всієї машини, після перебирального столу встановлено сортування, що розділяє єдиний потік бульб на два за фракційним складом, причому дрібну картоплю відділяється в спеціальний бункер, а залишивша маса надходить на вивантажний елеватор 18 і далі в транспортний засіб.

Комбайни останнього покоління фірми «Grimme» модельний ряд DR-1500, (рис. 4) оснащені: вертикальними дисками 2 і пальчасто-гребінчастим відокремлювачем бадилля 5. Різні модифікації даних збиральних машин можуть мати рідкопрутковий бадилевідокремлювач 8. Якщо не передбачена його установка, тоді гірка 9.

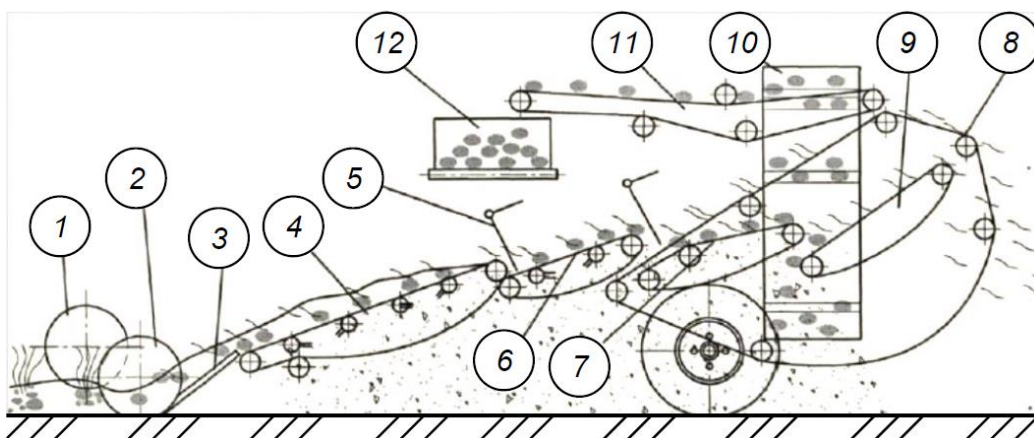


Рис. 4. Картоплезбиральний комбайна «Grimme» – модельний ряд DR-1500 (Німеччина):

- 1 – катки; 2 – вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – основний транспортер; 5 – відокремлювач бадилля; 6 – каскадний транспортер; 7 – додатковий транспортер; 8 – рідкопрутковий бадилевідокремлювач; 9 – гірка; 10 – ковшовий транспортер; 11 – перебиральних стіл; 12 – бункер.
- Картоплезбиральний комбайн «GRIMME» (модель SE 85-55) (рис. 5).

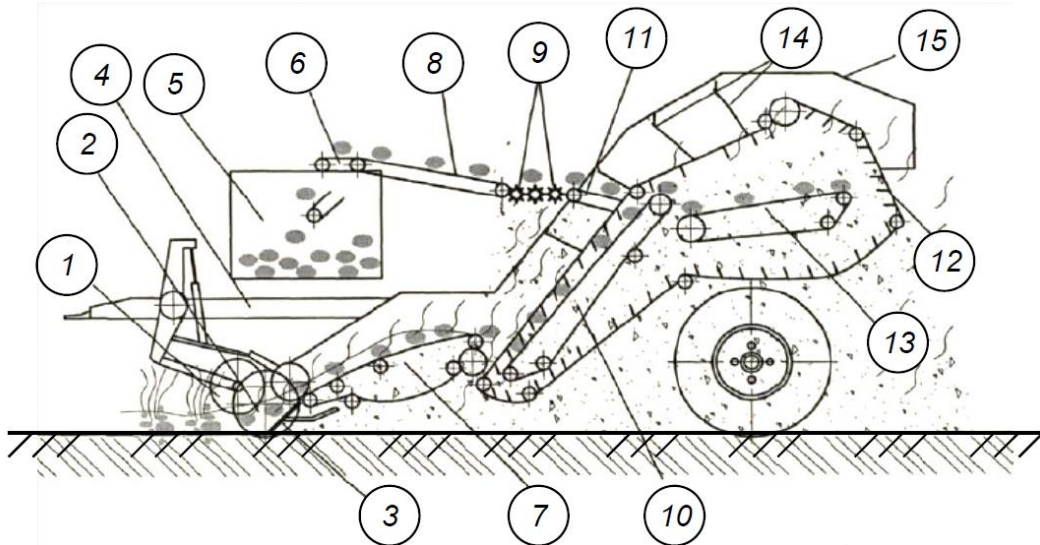


Рис. 5. Картоплезбиральний комбайн «GRIMME» (модель SE 85-55):

- а – технологічна схема; б) загальний вигляд; 1 – катки; 2 – вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – рама; 5 – бункер; 6 – вивантажний транспортер; 7 – основний транспортер; 8 – перебиральних стіл; 9 – відривні валики; 10 – каскадний транспортер; 11 – підйомний транспортер; 12 – рідкопрутковий транспортер; 13 – додатковий транспортер; 14 – пластини інтенсифікатора; 15 – кожух.

Причіпний картоплезбиральний комбайн Grimme SE 150-60/170-60 (рис. 6-7) призначений для збирання врожаю картоплі та овочів. Під час підкопування, трактор їде збоку від картопляних гребнів. Залежно від реалізації підкопуючих органів одночасно можна підкопувати два картопляних гребня з шириною ряду до 900 мм. За допомогою різних вузлів ворох відділяється від домішок, таких як земля, бадилля і каменів. Після цього картопля тимчасово зберігається в бункері з донним транспортером, поки не буде завантажена на транспортний засіб.

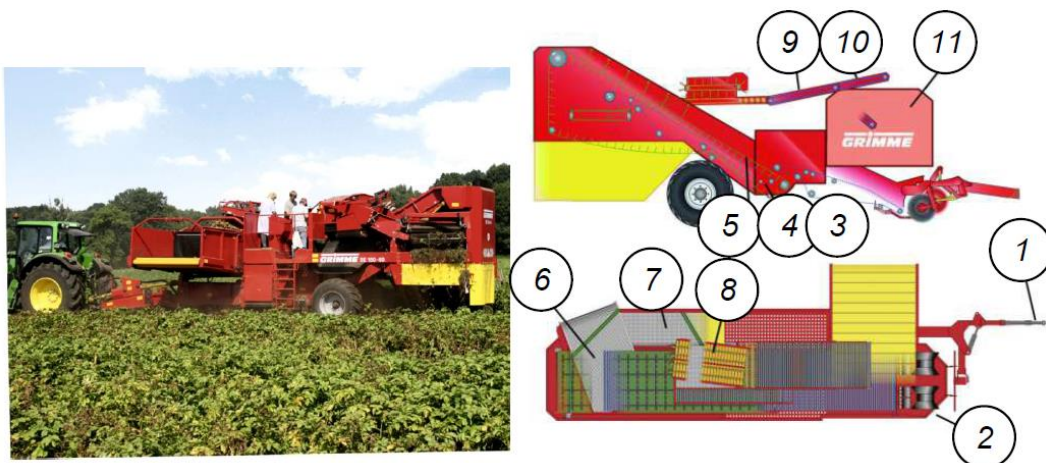


Рис. 6. Картоплезбиральний комбайн Grimme SE 150-60:

- 1 – навішування на трактор і кероване дишло; 2 – тягові підкопуючі органи; 3 – 1-й сепаруючий елеватор; 4 – 2-й сепаруючий елеватор; 5 – транспортер для грубого відділення бадилля і бур'янів; 6 – 1-й сепаруючий пристрій; 7 – 2-й сепаруючий пристрій; 8 – 3-й сепаруючий пристрій; 9 – сортувальний стіл; 10 – завантажувальний елеватор; 11 – бункер.



Рис. 7. Загальний вигляд картоплезбирального комбайну Grimme SE 150-60/170-60.

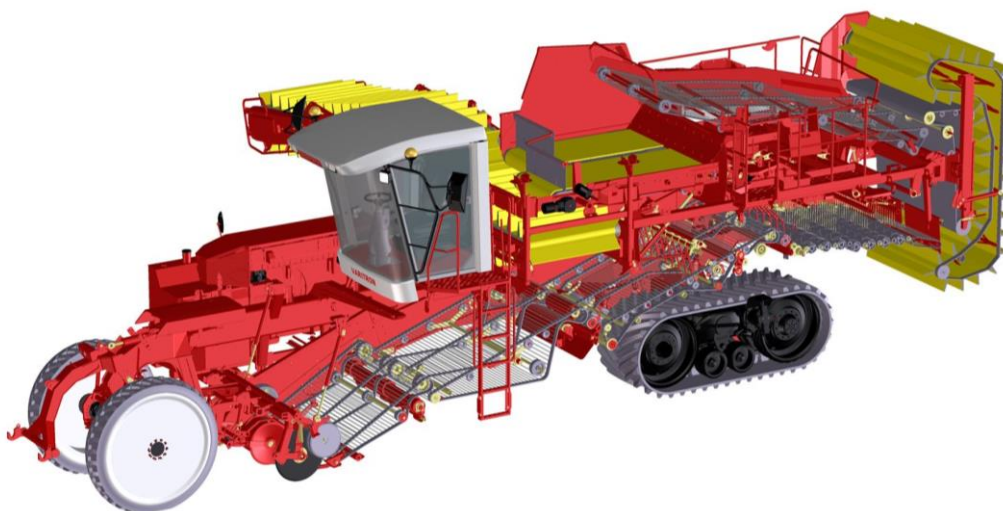
Самохідний VARITRON 200 (рис. 8, а) – 2-рядний, перевантажувальний елеватор, висока ефективність сепарації, 326 к.с. сконструйований як комбайн елеваторного типу без бункера і підходить господарствам, які перевантажують безпосередньо в причіп.

Самохідний VARITRON 220 (рис. 8, б) – 2-рядний, перевантажувальний бункер об’ємом 2 т, висока ефективність сепарації, 326 к.с. з проміжним бункером об’ємом 2 т підходить господарствам, які перевантажують безпосередньо в контейнери або причіп.

Самохідний VARITRON 270 (рис. 8, в) – 2-рядний, з 7-тонним бункером висока ефективність сепарації, 326 к.с. підходить господарствам, які інтегрували бункерну концепцію в процес збирання врожаю.



а)



б)



в)

Рис. 8. Загальний вигляд картоплезбирального комбайну фірми Grimme VARITRON: а – 200; б – 220; в – 270.

Машина цієї серії можуть легко адаптовані під індивідуальні вимоги і певні сорти картоплі за рахунок можливості комбінування з різними викопуючими і сепаруючими пристроями (MultiSep, роликівий сепаратор). Проста по відношенню до ґрунту гусенична ходова частина забезпечує надійне збирання врожаю в надзвичайно складних і вологих ґрунтових умовах. Зі зручної кабіни водієві відкривається хороший огляд підкопуючого пристрою і просіваючих транспортерів. Пульти керування з сенсорними екранами забезпечують просте, інтуїтивне управління і надають необхідну інформацію про найважливіші функції машини.

Розглянемо технологічну схему картоплезбирального комбайна TECTRON 410 (рис 9).

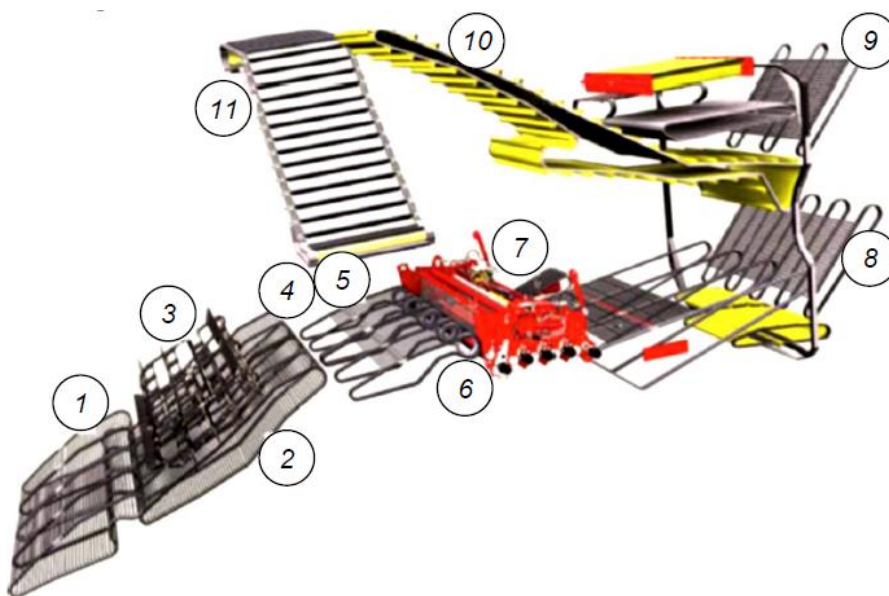


Рис. 9. Конструктивно-технологічна схема роботи самохідного картоплезбирального комбайна Grimme TECTRON 410:

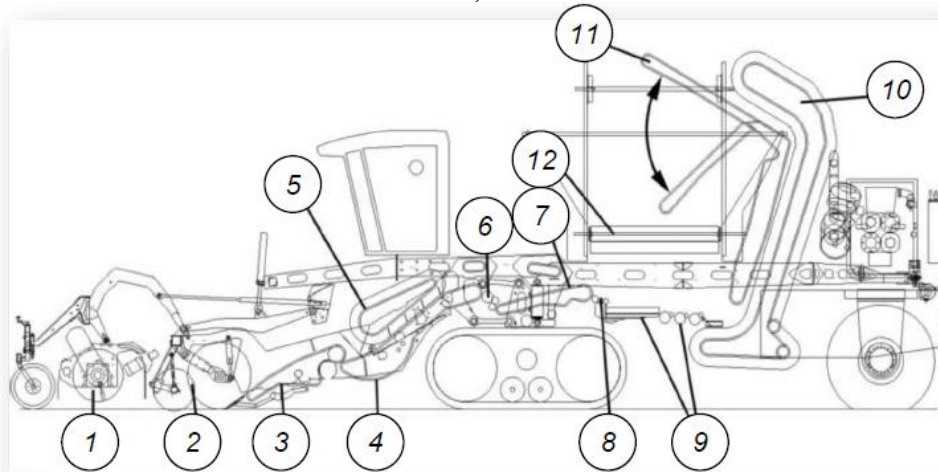
- 1 – перший прийомний просіваючий транспортер; 2 – другий просіваючий транспортер;
 3 – лопатевий транспортер; 4 – перший бадилевідокремлювач; 5 – третій просіваючий транспортер;
 6 – другий бадилевідокремлювач; 7 – сепаруюча установка;
 8 – перший голчастий транспортер (гірка); 9 – другий голчастий транспортер (гірка);
 10 – подаючий транспортер; 11 – завантажувальний транспортер.

Процес вторинної сепарації починається на сепаруючій установці, виконаної у вигляді 5 пар вальців, які складаються з одного вальця зі спіральними сегментами з поліуретану і одного вальця з гумовим покриттям. Дана установка забезпечує ефективну очистку поступаючого врожаю від дрібних каменів, грудок ґрунту і дрібних рослинних домішок.

Для менш засмічених полів і оптимальних умов збирання використовується картоплезбиральний комбайн TECTRON 415 (рис. 10) істотна його відмінність у тому, що в технологічній схемі відразу за сепаруючою установкою розташовується подаючий транспортер направляючи картопляний ворох в накопичувальний бункер. За рахунок такої комбінації пристроїв в технологічній схемі даний картоплезбиральний комбайн отримав накопичувальний бункер місткістю до 15 т.



а)



б)

Рис. 10. Картоплезбиральний комбайн Grimme TECTRON 415:

- а – загальний вигляд; б – технологічна схема; 1 – бадилеподрібнювач In-Line; 2 – підкопуючий орган TERRA-FLOAT; 3 – приймальний транспортер; 4 – 1й сепаруючий елеватор; 5 – накладна стрічка 6 – 1а підбирачка блоку; 7 – 2й сепаруючий елеватор; 8 – 2а підбирачка блоку; 9 – розділовий пристрій подвійний MULTISTEP або роликівий сепаратор (MULTISEP); 10 – крутий елеватор; 11 – завантажувальна стрічка бункера; 12 – бункер з донним транспортером з розвантажувальним транспортером бункера.

Картоплезбиральний комбайн Grimme VARITRON 470 (рис. 11) – 4-рядний підкопуючий пристрій, бункер об'ємом 7 т, висока ефективність сепарації, колісний ходовий механізм, 435 к.с.

Серія самохідних машин VARITRON відрізняється високою здатністю адаптації до умов завдяки широкому вибору сепаруючих пристроїв MultiSep, роликівий сепаратор, елеватор подрібнення бадилля зі високою продуктивністю. Зі зручної кабіни водієві відкривається хороший огляд підкопуючого пристрою і просівуючих транспортерів.

Розглянемо основні технологічні схеми вітчизняних комбайнів, на різних етапах розвитку картоплезбиральної техніки. Один з перших картоплезбиральних комбайнів [15], створений в 1953 році, був ККР-2 (рис. 12). На комбайні ККР-2 встановлювалися: металевий балон 3 над основним транспортером 2 (для руйнування великих ґрунтових грудок), пневматичний балон 5, розміщений над каскадним транспортером 4 і спарені пневматичні балони 7 перед гуркотом 8.



Рис. 11. Загальний вигляд картоплезбирального комбайна Grimme VARITRON 470.

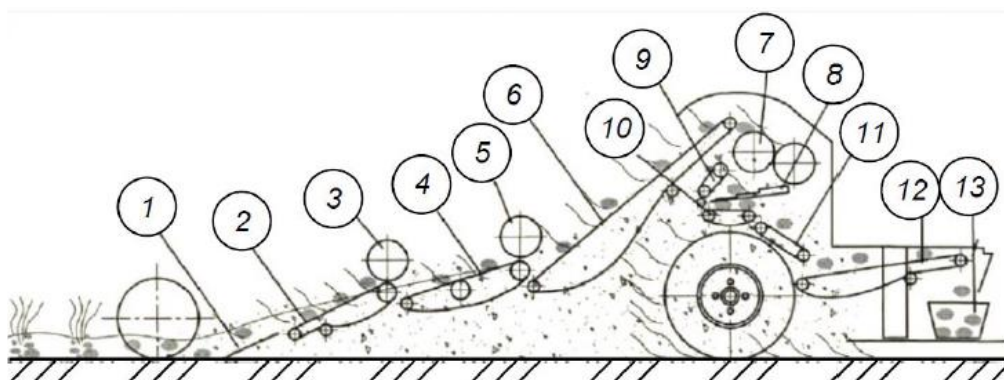


Рис. 12. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна ККР-2:
 1 – леміш; 2 – основний транспортер; 3 – металевий балон; 4 – каскадний транспортер;
 5 – пневматичний балон; 6 – підйомний транспортер; 7 – пневматичні балони; 8 – грохот;
 9 – бадилевідокремлювач; 10 – транспортер; 11 – гірка; 12 – перебиральних стіл;
 13 – тара для бульб.

Не можна назвати вдалою і компоновку робочих органів, при яких відсутній другий ярус комбайна, а перебиральних стіл 12, розміщений в кінці технологічного ланцюжка збільшує габаритні розміри збиральної машини в довжину.

На комбайні ККУ-2 застосовувалася класична двох'ярусна схема компоновки робочих органів (рис. 13).

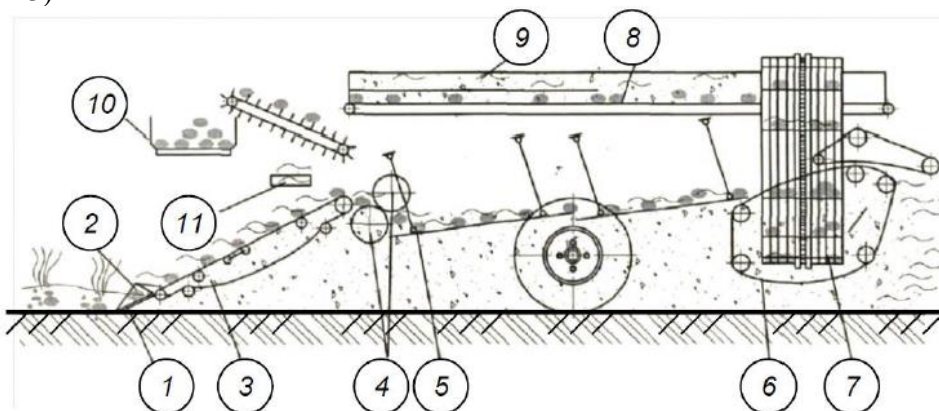


Рис. 13. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна ККУ-2:
 1 – леміш; 2 – підйомний механізм лемеша; 3 – основний транспортер; 4 – балони грудкостискувача; 5 – грохот; 6 – бадилевідокремлювач; 7 – підйомний барабан;
 8 – перебиральних стіл; 9 – транспортер завантаження; 10 – бункер для бульб;
 11 – транспортер для домішок.

Підкопування бульбоносного пласта проводився пасивним лемешем 1, а його сепарація здійснювалася на основному транспортері 3 і грохоті 5, Великі ґрунтові грудки руйнувалися спареними пневматичними балонами 4. Досвід експлуатації картоплезбиральних комбайнів, обладнаних грохотами та наукові дослідження даного робочого органу [15], змусили відмовитися від його використання і замінити прутковим транспортером, як наприклад в самій масовій моделі ККУ-2А.

Все це підштовхнуло сільгоспмашинобудування до створенню нових комбайнів сімейства «КПК», у тому числі дворядної машини КПК-2-01 (рис. 14) і трьох рядні машини КПК-3.

Їх випуск був налагоджений на Рязанському комбайновому заводі. Комбайни сімейства «КПК» мають класичну двоярусну схему компоновки робочих органів (рис. 14), яка включає, на першому ярусі – відрізні диски 2, леміш 4, основний транспортер 5, різні шнеки 3, 6 і 9, а на другому ярусі – перебиральних стіл 14 і бункер 13. У комбайнах КПК-2-01 і КПК-3 на перший шнек 6 подається велика кількість ґрунту і контакт бульб з витками малої мовірний (кількість пошкоджень невелике).

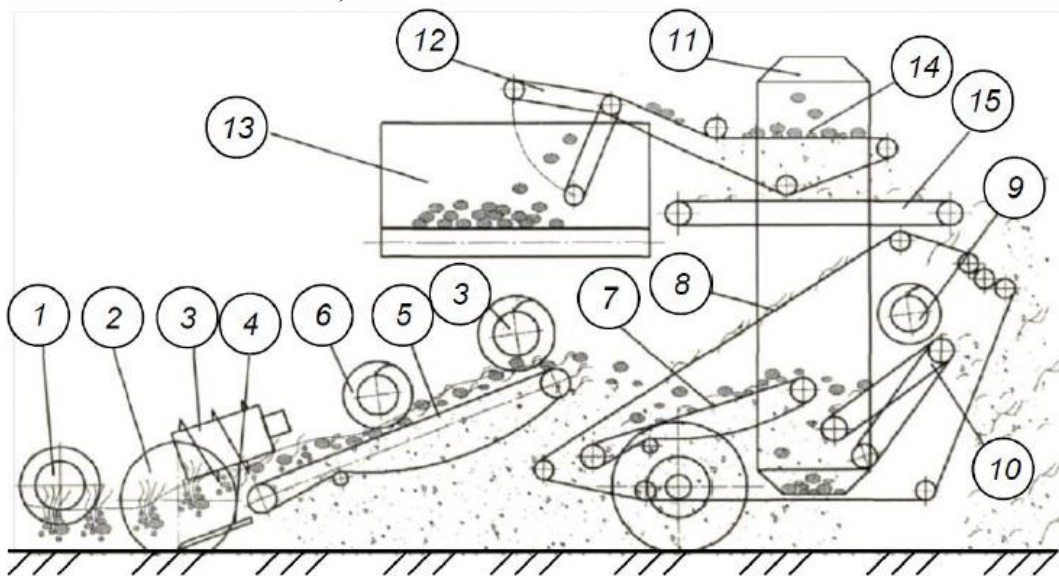


Рис. 14. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна КПК-2-01:

1 – грудкоподрібнюючі катки; 2 – диски; 3, 6 і 9 – шнеки; 4 – леміш; 5 – основний сепаруючий транспортер; 7 – додатковий сепаруючий транспортер; 8 – рідкопрутковий бадилевидальючий транспортер; 10 – гірка; 11 – ковшовий транспортер; 12 – вивантажний транспортер; 13 – бункер; 14 – перебиральних стіл; 15 – виносний транспортер.

Більш сучасним представником елеваторних комбайнів є модель AVR Esprit (рис. 15), серійно випускається на заводі «Колнаг».

Секрет успіху – поєднання можливостей бічного підкопу з легкою відкритою конструкцією елеваторного комбайна. На вологих ґрунтах бічний підкоп позбавляє від необхідності вести трактор по міжряддю, даючи можливість використовувати широкі колеса зі збільшеною прохідністю і знижуючи ущільнення ґрунту в гребні. Зміна прямого підкопу на бічний, дозволяє реагувати на мінливий стан ґрунту.

Широке застосування елеваторних комбайнів обмежується різноманітністю ґрунтово-кліматичних умов, відсутністю сучасних спеціальних транспортних засобів для перевезення картоплі, коротким періодом збирання та необхідністю проведення післязбиральної обробки. Всі дані фактори і деякі менш значимі знижують економічну ефективність використання даних картоплезбиральних машин.

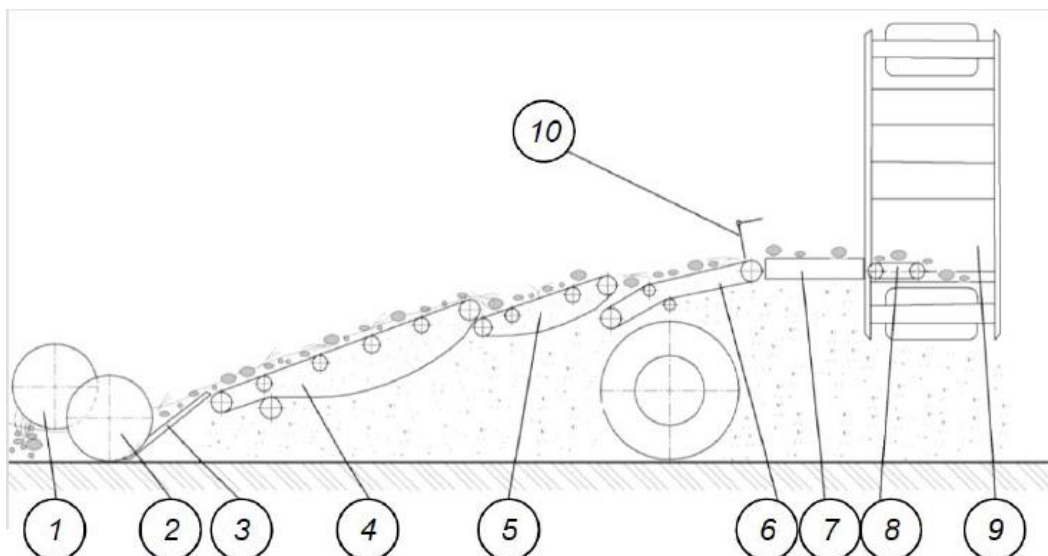


Рис. 15. Картоплезбиральний комбайн AVR Esprit:

- 1 – катки; 2 – вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – перший просіваючий елеватор; 5 – другий просіваючий елеватор; 6 – третій елеватор; 7 – роликівий елеватор; 8 – додатковий елеватор; 9 – вивантажний елеватор; 10 – гребінчастий бадилевідокремлювач.

Якісна, і при цьому енергоощадна очистка продукту досягається за рахунок 3-х широких (1600 мм) транспортерів з малими перепадами висот при великій площі сепарації, а також системи струшувачів і м'якого покриття контактних поверхонь. Підкопуюча секція і ергономічний джойстик – аналог вузлів класу Spirit або Puma. 220BK Variant (рис. 16) не вимагає попереднього видалення бадилля на столових сортах картоплі.

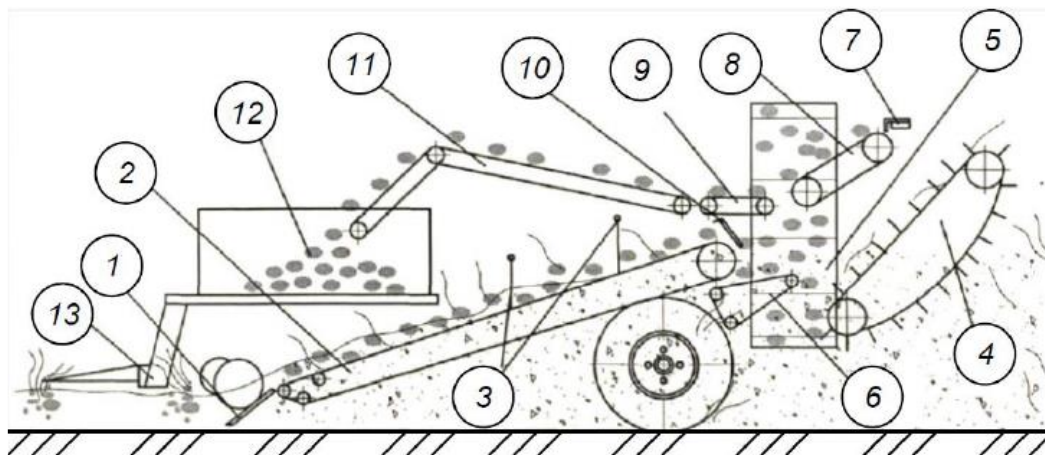


Рис. 16. Картоплезбиральний комбайн AVR-220VK Variant:

- 1 – підкопуючі робочі органи; 2 – перший транспортер; 3 – змішувач; 4 – рідкопрутковий транспортнер; 5 – ковшовий транспортер; 6 – додатковий транспортер; 7 – відбійні пластини гірки; 8 – гірка; 9 – транспортер; 10 – пальчато-гребінчастий бадилевідокремлювач; 11 – перебиральних стіл; 12 – бункер; 13 – рама.

Сімейство комбайнів Spirit від AVR 6200 з боковим підкопом і бункером 6 т відрізняє – нова система просіваючих, бадилевідводящих і подавальних транспортерів з горизонтальним сортувальним столом, що забезпечує рівномірний потік картоплі і найвища якість очищення та відділення землі та бадилля. Дворядний Spirit 6200 (рис. 17) краще за інших показує себе на збиранні ранньої картоплі, завдяки решітчастому транспортеру для відводу щільно-сидячого бадилля.



Рис. 17. Картоплезбиральний комбайн AVR Spirit 6200 і AVR Spirit 9200.

Сімейство комбайнів Spirit +6100 (рис. 18) від AVR з боковим підкопом і бункером 6 т відрізняє – нова система просіваючих, бадилевідводящих і подавальних транспортерів з горизонтальним сортувальним столом, що забезпечує рівномірний потік картоплі і найвища якість очищення та відділення землі та бадилля. Комбайни Spirit дають настільки хороший клас кінцевого продукту, що за наявності опції м'який спуск дозволяють виробляти затарювання в контейнери прямо з бункера.



Рис. 18. Картоплезбиральний комбайн Spirit 6100 і AVR Puma+.

Картоплезбиральні комбайни Volko, Volko S, Volko T показано на рис. 19.



Рис. 19. Загальний вигляд картоплезбирального комбайна: а – Volko; б – Volko S; в – Volko T.

Комбайн Volko оснащений бункером місткістю 1250 кг, який піднімається гідравлічно. Висоту розвантаження можна регулювати від 1250 мм до 2500 мм. Пол бункера з перекладами приводиться в рух гідравлічно. За бажанням клієнта на виході бункера можна встановити еластичний рукав, який буде захищати бульби картоплі від пошкодження, при розвантаженні на причіп.

Бельгійський картоплезбиральний комбайн «Dewulf Lexia 1700» (рис. 20-21) оснащений підйомним транспортером 13, який не тільки переміщує ворох на другий ярус, а й сепарує його за рахунок відцентрових сил.

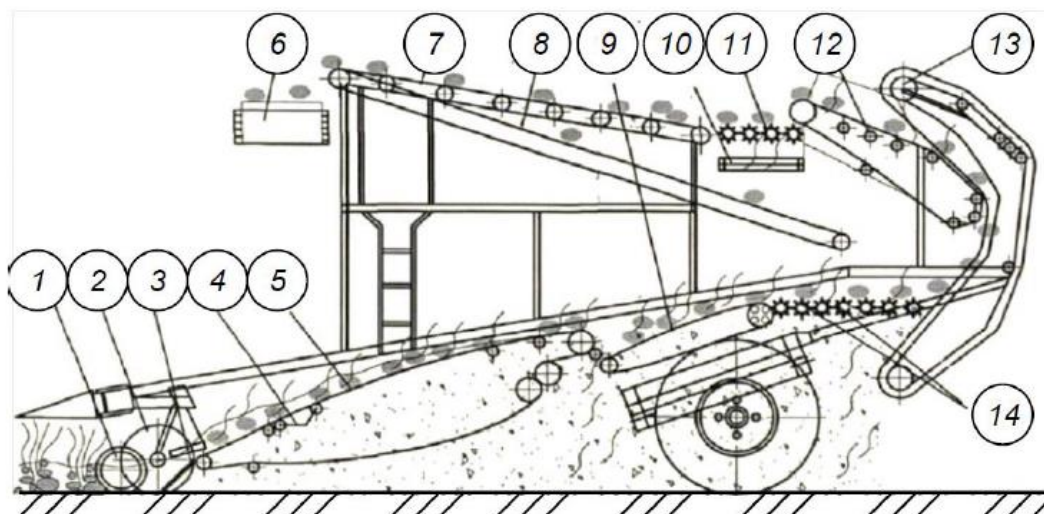


Рис. 20. Конструктивно-технологічна схема картоплезбирального комбайна «Dewulf Lexia 1700» (Бельгія): 1 – катки; 2 – вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – струшувач; 5 – основний транспортер; 6 – бункер і вивантажний транспортер; 7 – перебиральних стіл; 8, 10 – транспортер для вилучення домішок; 9 – каскадний транспортер; 11, 14 – очісуючі валики; 12, 13 – підйомний транспортер.



Рис. 21. Загальний вигляд картоплезбирального комбайна «Dewulf Lexia 1700».

Італійський однорядний картоплезбиральний комбайн «ІМАС» модель 75RB 40 (рис. 22-23) має перспективну конструктивно технологічну компоновку робочих органів, яка забезпечує плавний (без перепадів) підйом і сепарацію бульбоносного вороху на другий ярус збиральної машини і далі в бункер 4. Таке технічне рішення сприяє зниженню пошкоджень бульб при збиранні.

Потужнісний ряд: «Гомсельмаш» виробляє самохідні комбайни і комплекси від 210 до 600 к.с., причіпні і навісні машини енергоємністю від 50 до 450 к.с. Успіх техніки з маркою «Гомсельмаш» на ринку визначається високою якістю і надійністю. Напівпричіпний картоплезбиральний комбайн ПКК-2-05 «ПАЛЕССЕ РТ25» (рис. 24) з бункером та перебіркового столом призначений для збирання картоплі на легких і середніх ґрунтах в зонах обробітку картоплі з помірним кліматом, крім гірських, з граничним ухилом полів не більше 4°.

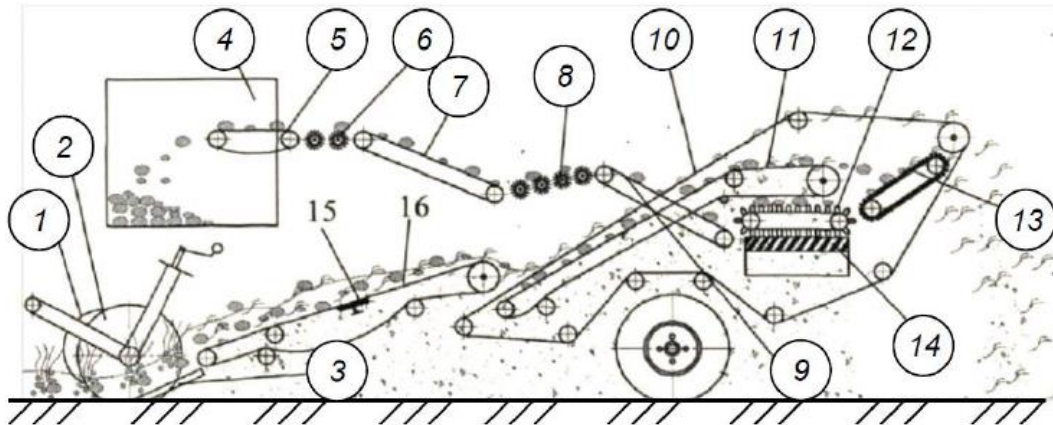


Рис. 22. Конструктивно-технологічна схема однорядного картопле-збирального комбайна «ІМАС» (модель 75RB 40) (Італія).



Рис. 23. Загальний вигляд однорядного картопле-збирального комбайна «ІМАС» (модель 8090RB 45-55).

Основні конструктивні особливості комбайна «ПАЛЕССЕ РТ25» для поліпшення сепарації в умовах експлуатації комбайна на важких ґрунтах.

Ще один комбайн картопле-збиральний ККУ-1 – схема технологічного процесу роботи комбайна показана на рис 25 (далі комбайн) призначений для механізованого збирання картоплі на легких і середніх ґрунтах, засмічених камінням до 28 т/га. Високоєфективна система відділення бадилля, грудок і каміння завдяки вдосконаленим елеваторів і шиповим полотнам дозволяє проводити збирання врожаю в найнесприятливіших умовах з мінімальним пошкодженням бульб.

Конструктивно-технологічна схема роботи комбайна представлена на рис 26.

У процесі руху комбайна по полю, що копіюють катки 1, переміщуючись по гребнях посадки, копіюють рельєф поля, обпресовують гребні, порушуючи механічний зв'язок ґрунту і руйнуючи великі ґрунтові грудки. Підрізання дисками 2 відрізають бадилля, розташоване в стороні від гребня. Підкопаний лемішем 3 пласт гребня, запобігають його розвалюванню диски і направляють масу на перший сепаруючий транспортер 5, де пласт повністю руйнується за допомогою розрівнювача і пасивного струшувача. Розташовані по краях передньої частини першого сепаруючого транспортера 5 бадилезатягуючі катки 4, мнучи, проштовхують бадилля на транспортер, запобігаючи його скупчення на буковинках рами. За рахунок вібрації на

першому сепаруючому транспортері відбувається первинна сепарація ворху, маса, що залишилася надходить на рідкопрутковий транспортер 12. Бадилля викидається на прибране поле рідкопрутковим транспортером 12 і бадилевидаляючим валом 10, а картопля дрібна, бадилля і невеликі грудки ґрунту випадають в осередку рідкопруткового транспортера на другий сепаруючий транспортер 11, де відбувається подальше очищення картопляної маси.

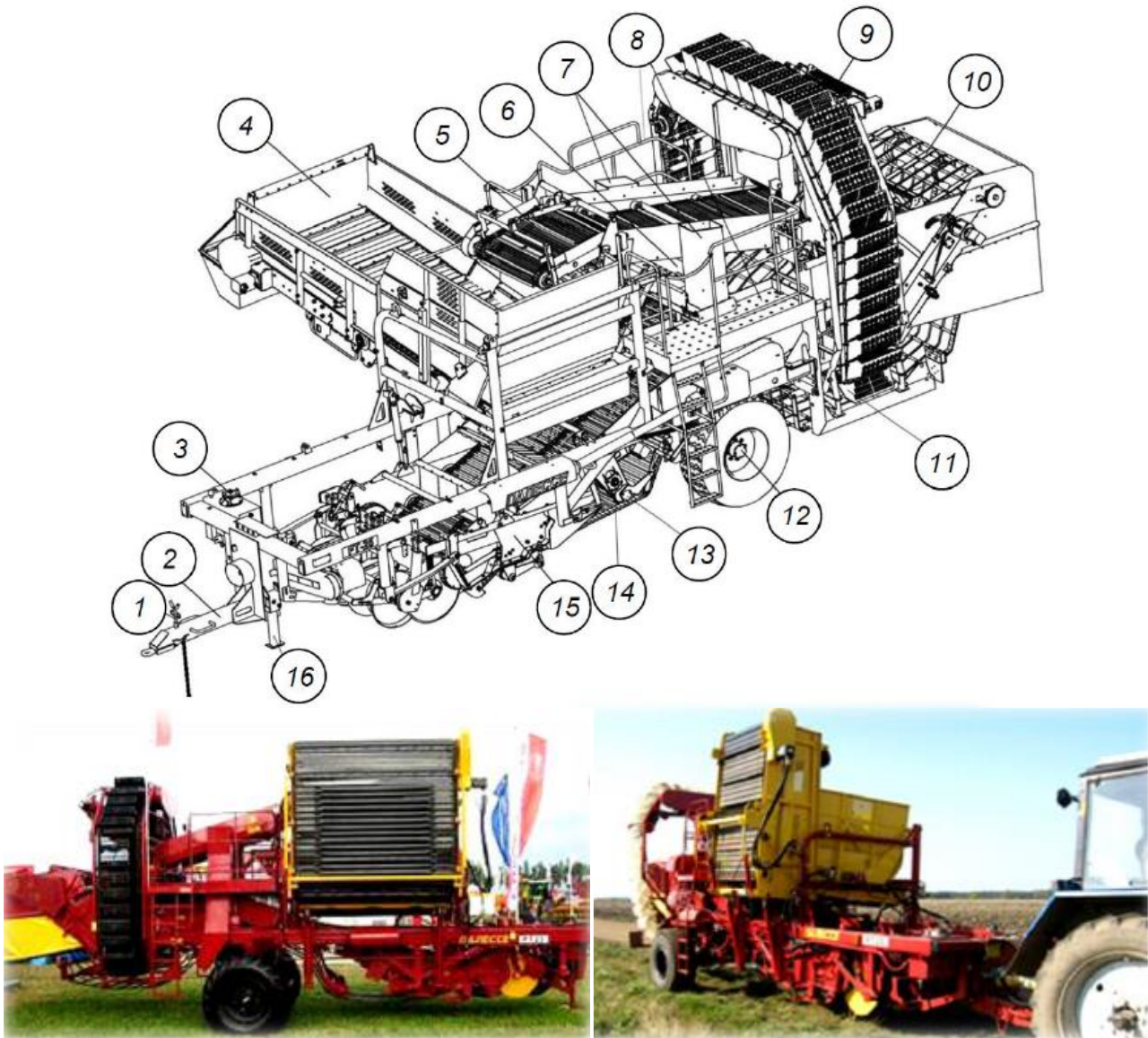


Рис. 24. Комбайн картоплезбиральний напівпричіпний ПКК-2-05:

- 1 – упор для укладання карданного валу; 2 – рама з жорстким тяговим дишлом і причіпною петлею; 3 – масляний бак гідросистеми; 4 – бункер; 5 – транспортер завантаження бункера (перебиральних стіл); 6 – транспортер домішок; 7 – лотки; 8 – майданчики для перебиральників; 9 – похила гірка верхнього ярусу; 10 – бадилевидаляючий транспортер; 11 – транспортер підйомний; 12 – вісь керованих коліс; 13 – очищаючий валець; 14 – активний коливатель; 15 – блок підкопуючий; 16 – стояночна опора (з бункером та перебиральним столом).

На другий сепаруючий транспортер 11 картопля з домішками надходить на похилу гірку 14, де в результаті відділення ґрунтові грудки і рослинні залишки викидаються на прибране поле, а бульби скочуються на поперечний транспортер 13 з камневідаляючим механізмом, який подає картоплю на перебиральних стіл 8, а каміні пропускає далі по поперечному столі в камневий бункер.

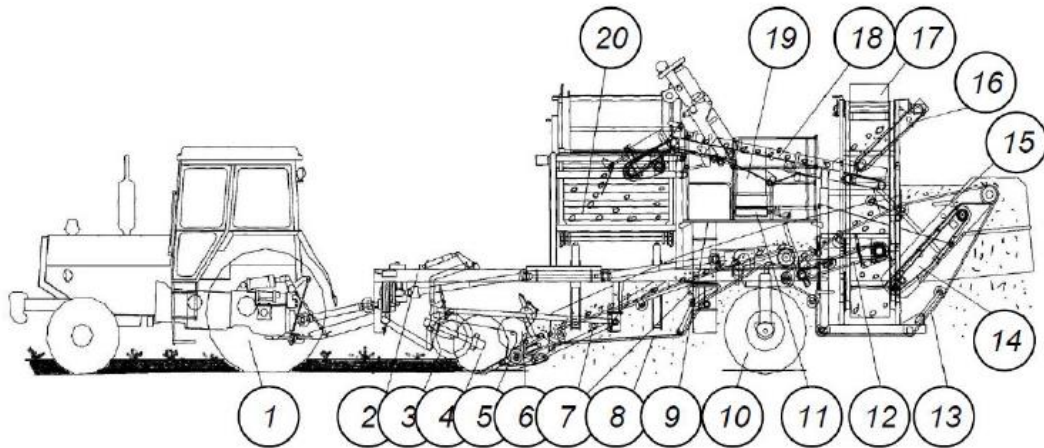


Рис. 25. Схема технологічного процесу роботи комбайна ККУ-1:

1 – трактор; 2 – рама; 3 – копіруючий каток; 4 – підрізний диск; 5 – леміш;
 6 – бадилезатягуюче колесо; 7 – активний розгойдувач і пасивний струшувач; 8 – перший сепаруючий транспортер; 9 – майданчик зі сходами для перебиральників; 10 – керовані несучі колеса; 11 – транспортер домішок; 12 – другий сепаруючий транспортер;
 13 – бадилевидаляючий транспортер; 14 – похила гірка; 15 – відбійний валець; 16 – гірка похила верхнього ярусу; 17 – транспортер підйомний і супровідний; 18 – транспортер завантаження бункера; 19 – лотки; 20 – бункер.

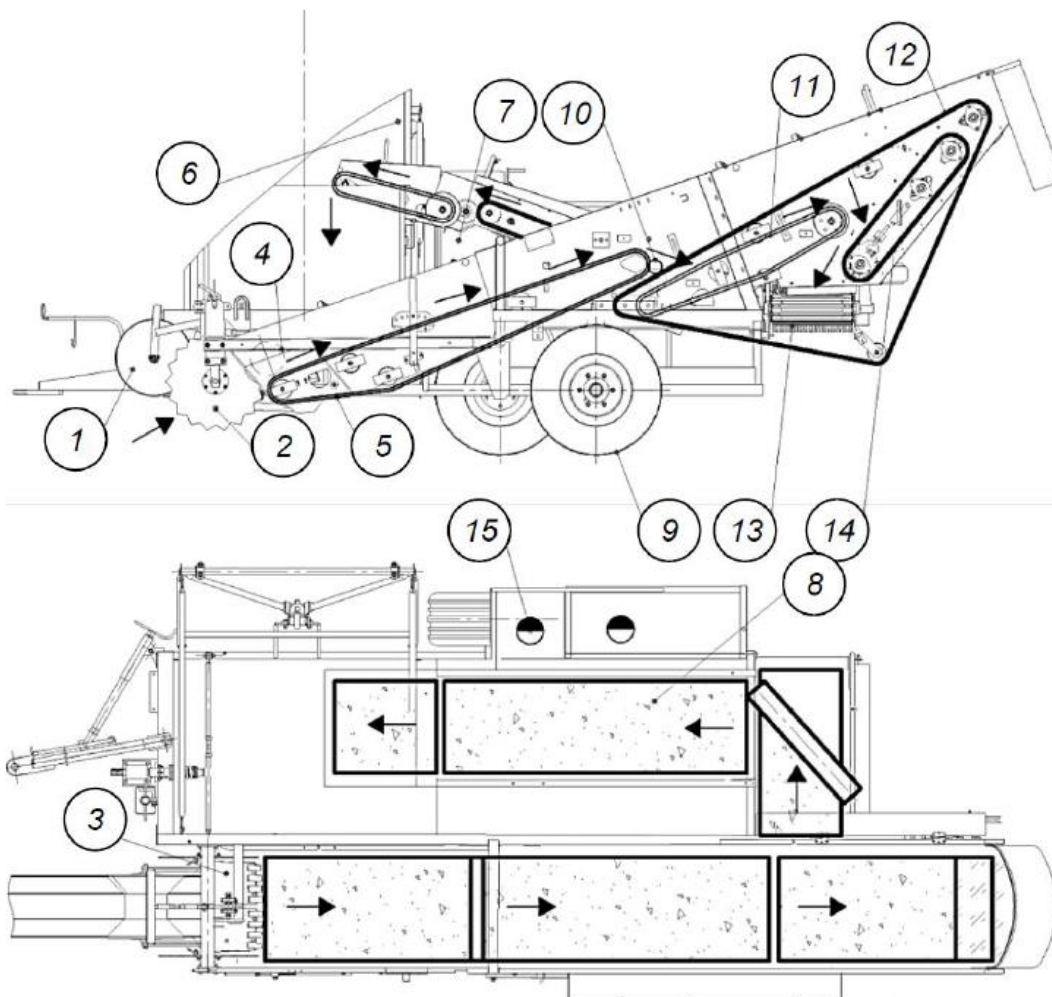


Рис. 26. Конструктивно-технологічна схема роботи комбайна ККУ-1.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Подальший розвиток досліджень у галузі конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів може включати такі перспективи:

1. Інноваційні технології. Впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання та автоматизація процесів, щоб підвищити ефективність та продуктивність комбайнів.

2. Стійкість до зовнішніх факторів. Розробка конструкцій, які були б більш стійкими до різних погодних умов та типів ґрунту, що дозволить зберегти продуктивність в умовах небагатоприятного середовища.

3. Екологічна ефективність. Розвиток більш екологічно чистих технологій збирання, які б мінімізували вплив на довкілля та сприяли сталому виробництву.

4. Ергономіка та безпека. Покращення конструкцій з урахуванням комфорту та безпеки операторів, що підвищить їхню продуктивність та зменшить ризики травматизму.

5. Інтеграція ІоТ. Використання Інтернету речей для збору та аналізу даних з комбайнів, що дозволить вдосконалити їхню роботу та реагувати на потреби рослинництва в реальному часі.

Ці перспективи вказують на те, що подальше дослідження та розвиток конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів може значно покращити їхню ефективність, надійність та відповідність сучасним вимогам сільськогосподарського сектора.

8. Висновки

Дослідження сучасних конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів та їх вдосконалення є важливим кроком для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності в сільському господарстві. Ця робота спрямована на систематизацію та узагальнення наявних досліджень у цій області, а також на визначення техніко-економічних показників функціонування таких комбайнів. Результати аналізу та оцінок дозволять зробити висновки щодо перспектив вдосконалення конструкцій коренебульбозбиральних комбайнів з урахуванням сучасних вимог ефективності, економічності та екологічної безпеки. Це важливий крок у напрямку поліпшення технологій збирання коренеплодів та бульб, що може позитивно позначитися на підвищенні продуктивності та конкурентоспроможності в сільському господарстві.

В якості основного об'єкта для досліджень і науково-обґрунтованої модернізації комбайна нами прийнята збиральна машина DR-1500 і AVR 220, у якої слід удосконалити технологічні процеси: 1) руйнування ґрунтових грудок; 2) сепарацію домішок, при цьому необхідно зменшити кількість пошкоджень бульб на робочих органах.

Список літератури:

1) Hrushetskyi, S. (2024). Innovatsiina kartoplina tekhnika dlia suchasnoho silskohospodarskoho vyrobnytstva [Innovative potato technology for modern agricultural production]. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(2), 1–20. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240302.01>. [in Ukrainian].

2) Hrushetskyi, S., & Chaika, I. (2024). Ohliad suchasnoho stanu mekhanizatsii protsesu zbyrannia kartopli [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 Ukrainian].

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

4) 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 : Ahroosvita. ISBN 978-966-2007-67-1 Retrived from <https://www.twirpx.com/file/1791304/> [in Ukrainian].

5) 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 : Ahroosvita. ISBN 978-966-2007-68-8. Retrived from <https://www.twirpx.com/file/1791316/> [in Ukrainian].

6) 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].

7) 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].

8) 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].

9) Hrushetskyi, S.M., Zbaravska, L.Iu., & Semenysheva, 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].

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

11) 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].

12) 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. [in Ukrainian].

13) Hrushetskyi, S.M. (2019, February). Ohliad doslidzhen ta analiz konstruktyvno-tehnolohichnykh skhem hrudkoruinuiuchykh 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. [in Ukrainian].

14) 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. [in Ukrainian].

15) 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. [in English].

16) Firman, Ju.P., Hrushetskyi, S.N. (2015). Kinematičeskij 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. [in Russian].

17) Hutsol, T., Firman, Ju., Komarnitsky, S. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, Vol. 21. № 4, 27-35. [in English].

18) Bonchik, V.S., Fedirko, P.P. (2015). Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij geometricheskikh 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. [in Russian].

19) 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. [in English].

20) 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. [in English].

Evaluation of designs of root and tuber harvesters and ways of their improvement

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

Anatoly Rud

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

ORCID 0000-0002-7206-7103

Mykola Korchak

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

ORCID 0000-0002-8726-1881

Stepan Zamoyskyi

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

ORCID 0000-0002-1612-6009

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 this study is to systematize and generalize existing research on modern designs of root and tuber harvesters, as well as to determine their technical and economic indicators and identify prospects for further improvement. To achieve the set goal, the following main tasks are solved within the framework of the study: carrying out a review of the existing designs of root and tuber harvesters; analysis of technical characteristics and features of modern models of combines; determination of efficiency and productivity of various structures; assessment of the economic feasibility of using different types of combines; identification of key problems and shortcomings of existing structures; determination of opportunities for improvement of constructions taking into account modern technologies and requirements of agricultural production; as well as the development of recommendations for the optimal use and improvement of root and tuber harvesters in order to increase their efficiency and competitiveness.

Research of modern designs of root and tuber harvesters and their improvement is an urgent task in agriculture. This work aims to systematize and generalize existing research in this area, as well as to determine the technical and economic indicators of their functioning. As a result of the analyzes and evaluations, conclusions will be drawn regarding the prospects for improving the designs of root and tuber harvesters, taking into account modern requirements for efficiency, economy and environmental safety. This work is an important step towards improving root and tuber harvesting technologies, which can contribute to increased productivity and competitiveness in agriculture.

Keywords: root and tuber harvesters, improvement of constructions, technical and economic indicators, efficiency, environmental safety.
