
Лабораторні випробування розробленого робочого органу картоплезбиральної машини для підкопування та сепарації

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

Олександр Адамчук

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, Адамчук Олександр. Лабораторні випробування розробленого робочого органу картоплезбиральної машини для підкопування та сепарації. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 4, No.1, 2025, pp. 14-29.
doi: 10.46299/j.isjea.20250401.02.

Надійшла до редакції: 02 січня 2025 р.; **Схвалено:** 31 січня 2025 р.;

Опубліковано: 01 лютого 2025 р.

Анотація: У статті представлені результати лабораторних випробувань розробленого підкопувачо-сепаруючого робочого органу картоплезбиральної машини. Метою дослідження було оцінити ефективність та функціональність робочого органу, який поєднує підкопування картоплі з ґрунту та сепарацію коренеплодів від домішок (каміння, бур'янів та інших часток). У ході випробувань були проаналізовані основні параметри конструкції органу, динамічні характеристики, ефективність сепарації, а також вплив різних типів ґрунтів на якість роботи. Особливу увагу приділено енерговитратам та зносостійкості матеріалів. Результати досліджень дозволяють зробити висновки про доцільність використання запропонованого робочого органу в реальних умовах експлуатації, а також визначити необхідні напрямки для подальшого вдосконалення його конструкції.

Ключові слова: лабораторні випробування, робочий орган, картоплезбиральна машина, підкопування, сепарація, ефективність, механічні пошкодження, енерговитрати, зносостійкість, сепарація домішок, ґрунт, картопля, втрати продукції, конструкція робочого органу, польові випробування.

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: робочий орган картоплезбиральної машини, що здійснює підкопування картоплі та сепарацію від ґрунту та інших домішок.

Предмет дослідження: процеси підкопування картоплі, сепарації коренеплодів від ґрунту та домішок, ефективність роботи робочого органу в лабораторних умовах, енерговитрати, механічні пошкодження картоплі та зносостійкість матеріалів робочого органу.

3. Мета та задачі дослідження

Основною метою лабораторних випробувань було вивчення ефективності функціонування робочого органу в різних умовах, що максимально наближають до реальних експлуатаційних.

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

- оцінку ефективності підкопування картоплі при різних глибинах та швидкостях руху;
- визначення якості сепарації картоплі від ґрунту та домішок;
- аналіз енерговитрат та механічних навантажень під час роботи органу;
- вивчення зносостійкості та міцності матеріалів, з яких виготовлений робочий орган;
- оцінка продуктивності робочого органу в лабораторних умовах та визначення оптимальних параметрів для його подальшої адаптації до польових випробувань.

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

Для оцінки ефективності розробленого робочого органу були проведені лабораторні випробування в умовах різних типів ґрунтів (пісок, суглинок, глинисті ґрунти) та на різних глибинах підкопування. Випробування проводились на стендах, що імітують реальні умови роботи машини, з вимірюванням таких параметрів, як сила підкопування, швидкість руху органу, енергетичні витрати та якість сепарації.

Крім того, була розроблена система для вимірювання втрат картоплі в результаті механічних пошкоджень під час роботи органу, а також кількості домішок, що залишаються після сепарації.

6. Результати досліджень

Лабораторні дослідження розробленого підкопуючо-сепаруючого робочого органу картоплезбиральної машини мають на меті оцінку ефективності та функціональності робочого органу в умовах лабораторного середовища до початку польових випробувань. Такий орган є важливою частиною картоплезбиральної машини, оскільки забезпечує одночасно підкопування картоплі з ґрунту і сепарацію коренеплодів від бур'янів, каміння та інших домішок.

Ось кілька основних аспектів, які можуть бути розглянуті під час лабораторних досліджень:

1) аналіз конструкції робочого органу. Оцінка форми та розмірів підкопуючого елемента (лопати, ножі, зубці) з урахуванням типу ґрунту (пісок, глина, суглинок). Визначення кута нахилу та ширини захоплення робочого органу для забезпечення максимального вилучення картоплі;

2) динамічні характеристики. Вивчення реакцій сил на робочий орган при його роботі в різних типах ґрунтів. Оцінка ефективності підкопування та сепарації при різних швидкостях руху та глибині підкопу;

3) ефективність сепарації. Оцінка здатності робочого органу відокремлювати картоплю від ґрунту, каміння, корінців бур'янів та інших домішок. Визначення втрат картоплі та порушення її цілості при проходженні через робочий орган;

4) стійкість матеріалів. Визначення зносостійкості та міцності матеріалів, з яких виготовлений робочий орган (наприклад, сталь, сплави, полімери). Дослідження впливу різних механічних навантажень і впливу зовнішніх факторів (волога, температура);

5) енерговитрати. Оцінка енергетичних витрат на виконання операцій підкопування та сепарації в лабораторних умовах. Визначення оптимальних режимів роботи робочого органу для мінімізації енерговитрат без втрати ефективності;

6) моделювання та комп'ютерне тестування. Використання комп'ютерного моделювання для оцінки поведінки робочого органу в різних умовах ґрунту та на різних глибинах. Вивчення змін динамічних характеристик та ефективності роботи при змінах конструкції та параметрів робочого органу;

7) параметри роботи на різних типах ґрунтів. Визначення впливу різних типів ґрунтів на ефективність роботи робочого органу. Врахування змін у щільності ґрунту, наявності вологи та змін температури.

Після лабораторних досліджень, отримані результати будуть використані для коригування конструкції робочого органу, щоб забезпечити його максимальну ефективність під час реальних польових випробувань.

Програма дослідження роботи розробленого бічного вертикального відрізного диска

З метою аналізу показників тягового опору при роботі зубчастого диска була прийнята програма лабораторних досліджень, що складається з наступних етапів:

- 1) проведення повнофакторного експерименту зубчастого диска з ґрунтозачепами при різних значеннях робочої швидкості, величини заглиблення диска і ширини ґрунтозачепів;
- 2) проведення повнофакторного експерименту зубчастого диска, що має привід від гідромотора при різних значеннях робочої швидкості, величини заглиблення диска і частоти обертання диска;
- 3) обробка результатів досліджень та їх оцінка;
- 4) розробка рекомендацій щодо використання пасивно працюючих відрізнних зубчатих дисків з ґрунтозачепами, а також гідроприводу з метою підвищення показників функціонування при різних значеннях глибини обробки і робочої швидкості.

Дисковий елемент досліджувався при наступних параметрах, визначених раніше: $V_{\text{маш}} = 3 \text{ км/год} = 0,83 \text{ м/с}$, $r_d = 0,355 \text{ м}$, $h_z = 0,1 \text{ м}$, $Z = 10$.

Усі досліди проводилися при однакових умовах з триразовою повторюваністю.

Лабораторні дослідження проводилися на установці (схема лабораторної установки представлена рис. 1 і 3), що складається з ґрунтового каналу 5, пульту 1 з електролебідкою 2, яка за допомогою троса 3 через направляючі ролики 4 переміщує по ґрунтовому каналу 5 візок 6 з кронштейном. У першій серії дослідів до кронштейна візка був прикріплений пасивно працює диск 7 з ґрунтозачепами, а в другій – активний зубчастий диск 8, що приводиться від гідромотора 9. Гідромотор з'єднаний з зовнішньою гідросистемою за допомогою гідравлічних шлангів 10. Вимірювання тягового опору здійснюється за допомогою динамометра 11 [5]. На рис. 2 показаний загальний вигляд лабораторної установки, а на рис. 4 – гідропривід активного зубчастого диска.

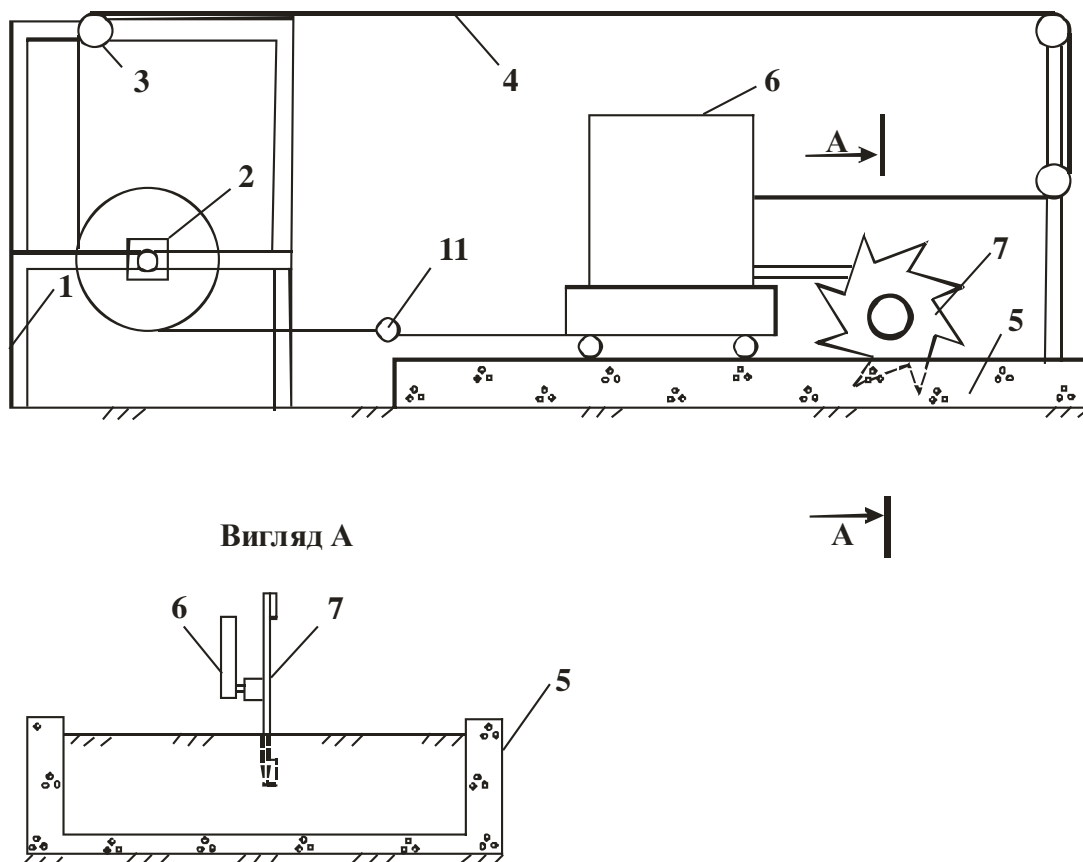


Рисунок 1. Схема лабораторної установки для перевірки роботи зубчастого диска в пасивному режимі:

- 1 – пульт керування; 2 – електролебідка; 3 – направляючі ролики,
- 4 – датковий робочий орган; 5 – ґрунтовий канал; 6 – візок з кронштейном;
- 7 – зубчастий диск з ґрунтозачепами; 11 – динамометр.

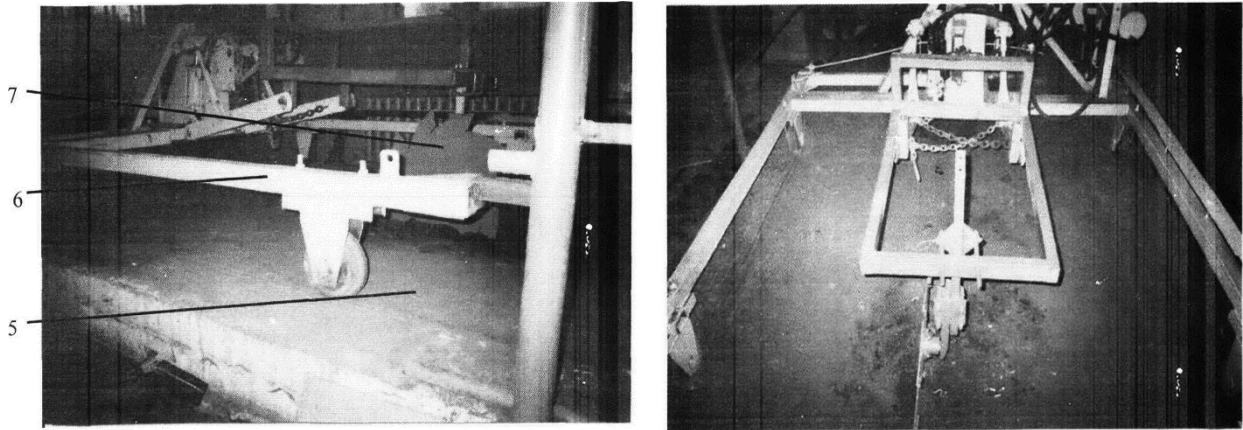


Рисунок 2. Лабораторна установка для дослідження пасивного зубчастого диска з ґрунтозацепами (загальний вигляд) (див. рис. 1).

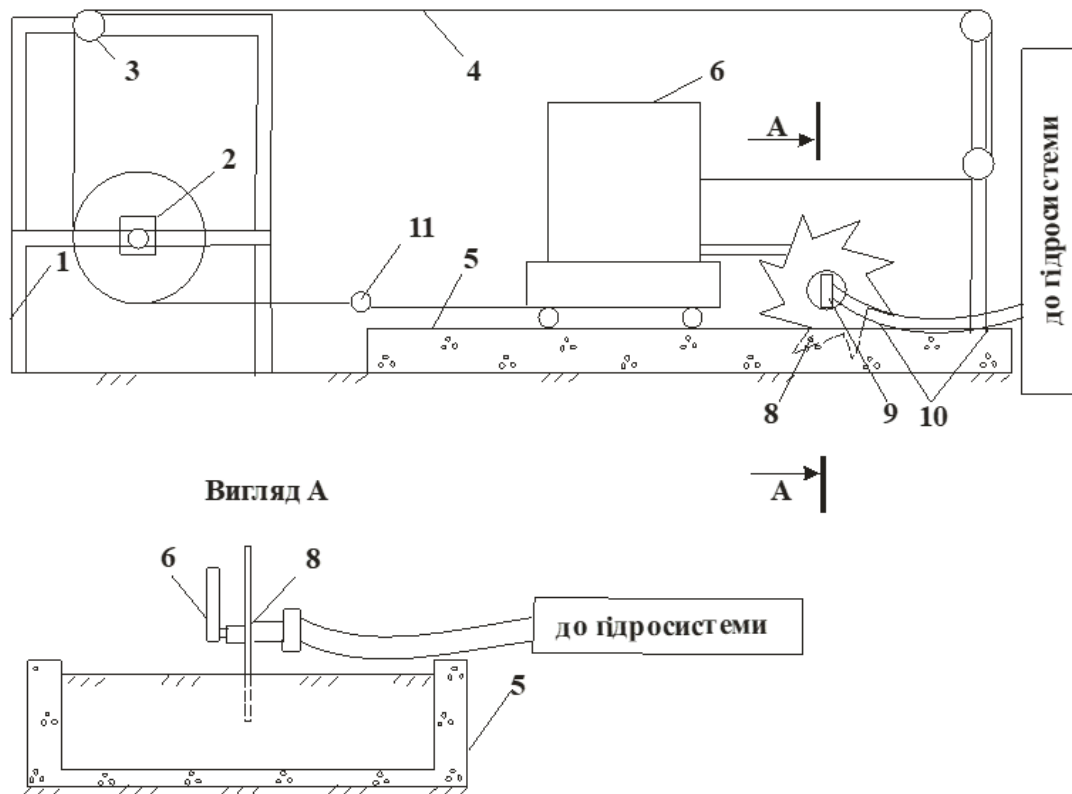


Рисунок 3. Схема лабораторної установки для перевірки роботи зубчастого диска в активному режимі:

- 1 – пульт керування; 2 – електролебідка; 3 – направляючі ролики,
 4 – тяговий робочий орган; 5 – ґрунтовий канал; 6 – візок з кронштейном;
 8 – зубчастий диск, 9 – гідромотор; 10 – гідравлічні шланги; 11 – динамометр.

В ході лабораторних досліджень визначалися показники якості виконання технологічного процесу серійного картоплекопача і картоплекопача, оснащеного вдосконаленим робочим органом сепарації:

- чистота картопляного шару;
- втрати бульб;
- пошкодження бульб (всього по вазі).

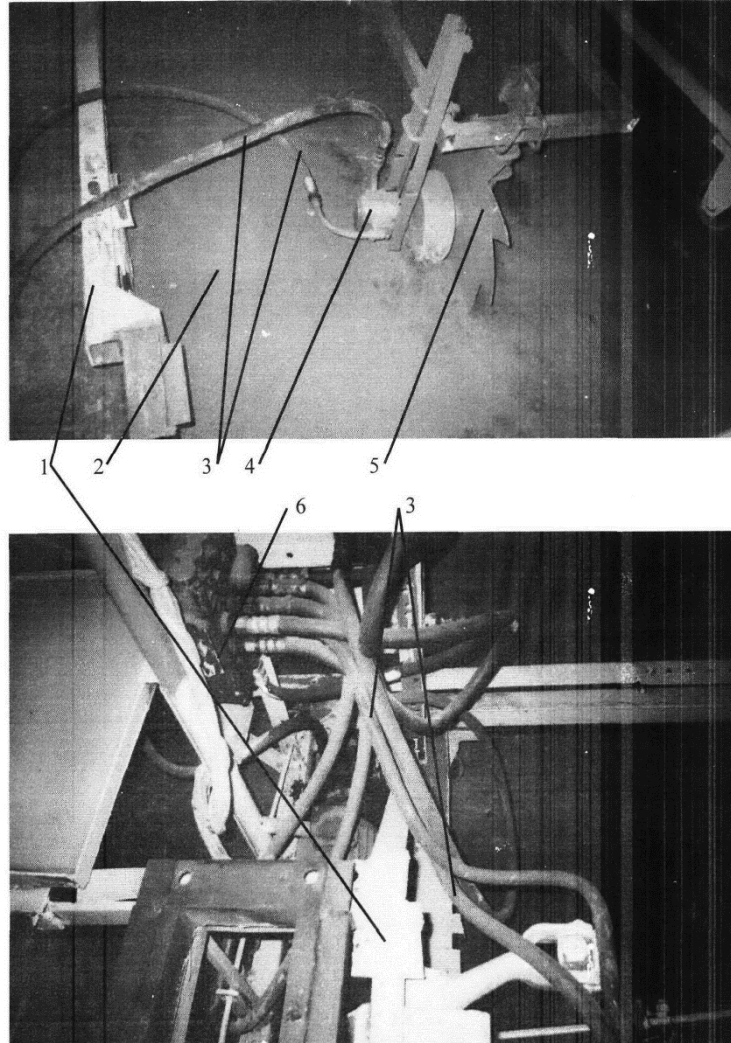


Рисунок 4. Гідропривід активного зубчастого диска:
 1 – візок з кронштейном; 2 – ґрунтовий канал; 3 – гідравлічні шланги;
 4 – гідромотор; 5 – зубчастий диск; 6 – розподільник.

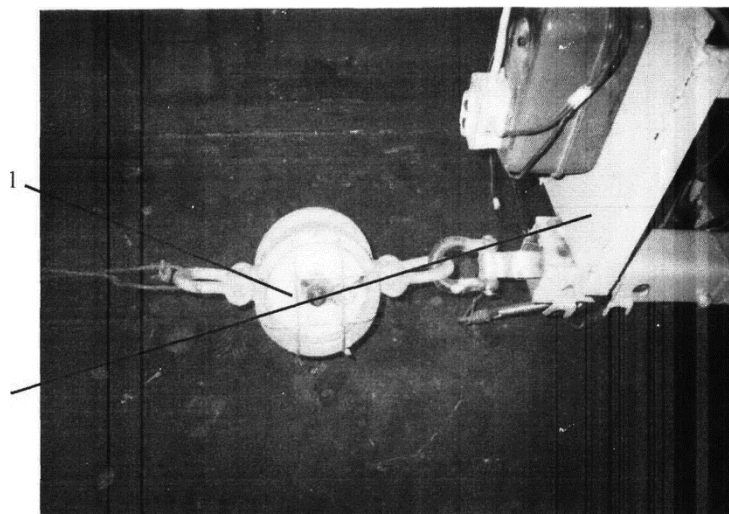


Рисунок 5. Замірювання тягового опору.

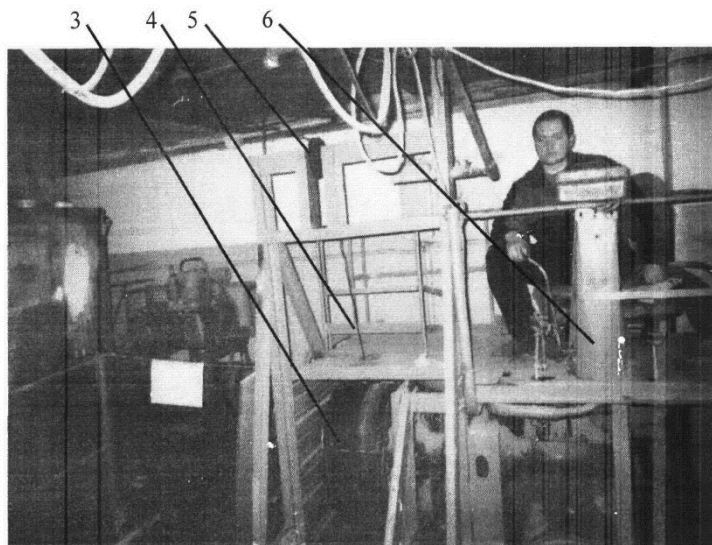


Рисунок 6. Пульт кирування лабораторної установки з електролебідкою
1 – динамометр; 2 – візок з кронштейном; 3 – електролебідка;
4 – тяговий робочий орган; 5 – направляючі ролики; 6 – пульти керування.

Об'єктами лабораторно-польових досліджень виступали:

- на першому етапі – експериментальна установка, оснащена вдосконаленим робочим органом сепарації;
- на другому етапі – серійний картоплекопач КТН-2В.

Експериментальна установка (рис. 7) була зібрана на базі серійного картоплекопач КТН-2В з заміною на ньому каскадного елеватора вдосконаленим робочим органом сепарації [13], який складається з полотна просівного пруткового елеватора 2 і пружних елементів 3 обмеження контакту бульб з рамою 1, розташованих вздовж полотна елеватора 2 з його боків паралельно рамі 1 і симетрично щодо її центральній осі. Пружні елементи 3 обмеження контакту бульб з боковиною рами 1 закріплені консольно до зовнішньої сторони елеватора 2 між його прутами 4 і мають перетин у формі рівнобедреної трапеції, причому більшою основою направлено в бік центральної осі елеватора. Загальний вигляд вдосконаленого робочого органу сепарації представлений на рис. 8.

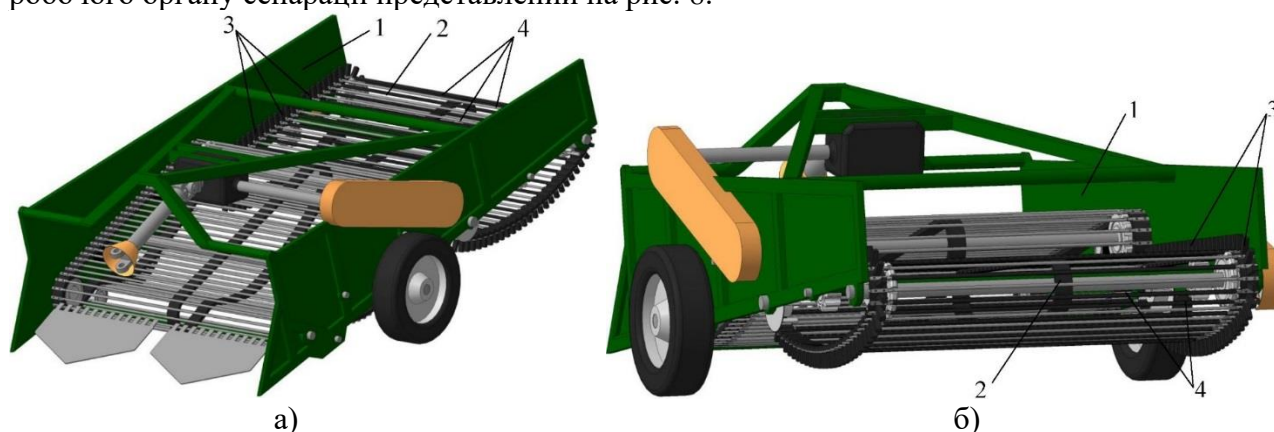


Рисунок 7. Схема експериментальної установки:
1 – рама; 2 – полотно елеватора; 3 – пружні елементи; 4 – прутки елеватора.

Методика лабораторних досліджень та обробки дослідних даних

Експериментальні дослідження були проведені відповідно до загальновідомої методики, положення якої викладені в літературі [5].

Робота експериментального підкопувача робочого органу досліджувалась за двома показниками:

- за величиною тягового опору;
- по крутному моменту.
-

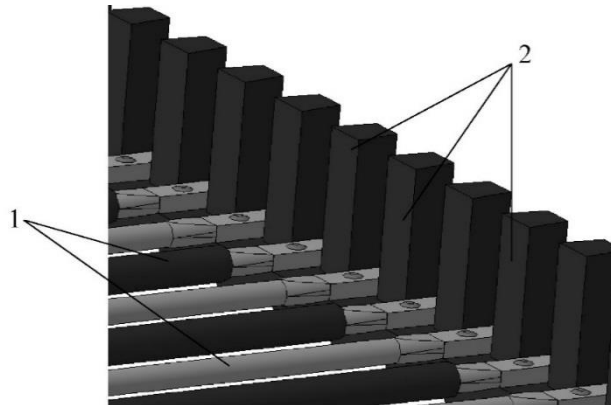


Рисунок 8. Робочий орган сепарації з встановленими пружними елементами:
1 – прутки елеватора; 2 – пружні елементи.

На першому етапі лабораторних досліджень був зроблений повнофакторний експеримент за планом 2^3 на експериментальному пристрої. Змінними факторами виступали:

- x_1 – поступальна швидкість агрегату, км/год;
- x_2 – глибина ходу диска, мм;
- x_3 – ширина ґрунтозачепів, що є на диску, мм.

Всі наведені фактори відповідали вимогам, викладеним в літературі [5].

На другому етапі лабораторних досліджень був зроблений повнофакторний експеримент за планом 2^3 на експериментальному пристрої. Змінними факторами виступали:

- x_1 – поступальна швидкість агрегату, км/год;
- x_2 – глибина ходу диска, мм;
- x_3 – частота обертання диска, об/хв.

Всі наведені фактори відповідали вимогам, викладеним в літературі [5].

Результати лабораторно-польових досліджень

Умови проведення лабораторно-польових випробувань і характеристики облікових ділянок представлені на рисунку 9 і в таблиці 1.

Таблиця 1. Умови проведення випробувань

Назва показників	Значення показників
Температура повітря, °С	12...18
Відносна вологість повітря, %	52
Рельєф (нахил), °	0,7...1,0
Мікрорельєф	Гребенистий (міжряддя 70 см)
Тип ґрунту	Світло-сіра лісова
Механічний склад	Важкий суглинок
Вологість ґрунту, %	8-12
Твердість ґрунту, кг/см ²	0,8
Сорт картоплі	«Белла роза»

Рішення про проведення випробувань експериментальної установки в умовах зниженої

вологості пояснюється високим показником пошкоджень бульб про непружні поверхні картоплезбиральних машин [13], а розроблений нами робочий орган сепарації [13] покликаний мінімізувати даний негативний момент.

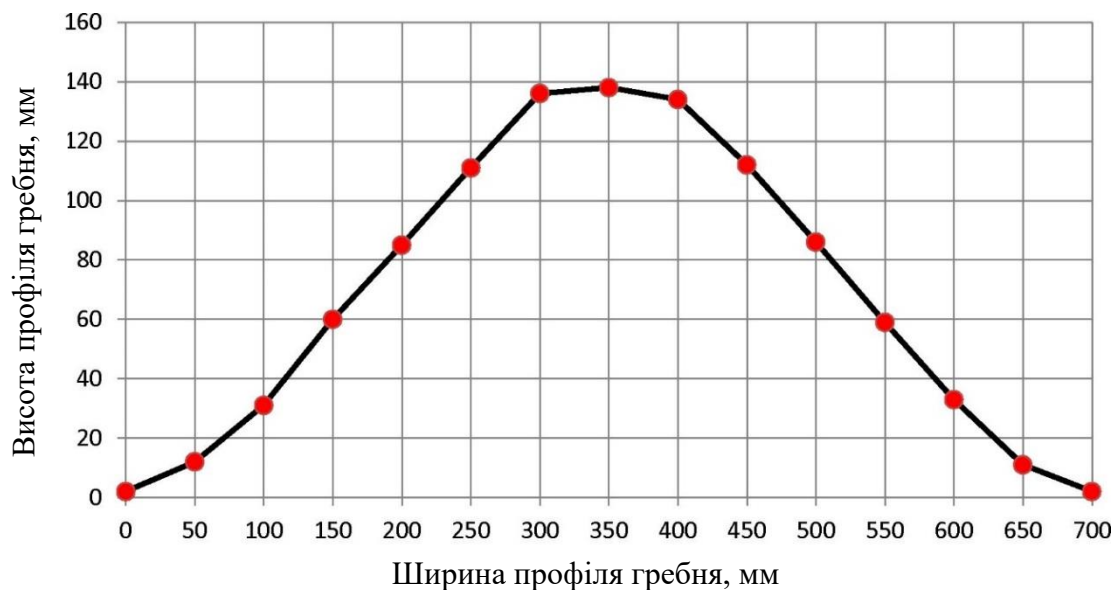


Рисунок 9. Графік дослідження мікрорельєфу поля профілографі.

Отримані в ході багатофакторного експерименту характеристики роботи установки (чистота картопляного шару, втрати і пошкодження бульб), а також відповідні їм значення факторів були занесені в таблицю 2. Причому для кожної комбінації чинників $x_1 \dots x_4$ досліди проводилися з триразовою повторністю, за результатами яких визначалися середньоарифметичні значення показників $Q_{\text{чист}}$, $Q_{\text{пот}}$, $Q_{\text{повр}}$.

Таблиця 2. Результати багатофакторного експерименту на лабораторній установці

№	Досліджуемі фактори				Показники роботи установки		
	x_1 , см ²	x_2 , см	x_3 , т/га	x_4 , км/год	Чистота картопляного шару, $Q_{\text{чист}}$, %	Втрати бульб, $Q_{\text{пот}}$, %	Пошкодження бульб, $Q_{\text{повр}}$, %
1	5,94	6	21,3	2,7	89	0,71	3,32
2	5,94	5	22	2,8	88,7	0,76	4,84
3	5,2	5	21,3	2,9	87,2	0,78	6,37
4	5,2	5,5	22	3	85,6	0,81	6,01
5	6,3	6	21,3	3,1	82	0,86	3,45
6	6,3	5	22	3,2	80,5	0,85	5,64
7	5,2	5,5	21,3	3,3	80	0,83	6,83
8	5,2	6	22	3,4	79,5	0,95	6,49
9	6,3	5	21,3	3,5	78,4	1,05	6,33
10	5,94	5,5	22	3,6	78,3	1,10	6,64
11	5,94	6	21,3	3,7	77,7	1,13	5,52
12	5,94	5	22,7	2,8	88,6	0,74	5,17
13	5,2	5	20,8	2,9	87	0,78	6,08
14	5,2	5,5	22,7	3	85,9	0,83	6,41
15	6,3	6	20,8	3,1	81,5	0,86	3,29

Продовження таблиці 2

16	6,3	5	22,7	3,2	80,7	0,84	6,01
17	5,2	5,5	20,8	3,3	79,5	0,83	6,51
18	5,2	6	22,7	3,4	79,7	0,96	6,92
19	6,3	5	20,8	3,5	78,4	1,05	6,04
20	5,94	5,5	22,7	3,6	78,3	1,11	7,07
21	5,94	6	20,8	3,7	77,8	1,12	5,27

Одночасно з випробуваннями експериментальної установки, оснащеної вдосконаленим робочим органом сепарації, проводилися дослідження функціонування серійного картоплекопач КТН-2В при аналогічних режимах роботи. Отримані дані були занесені в таблицю 3.

Таблиця 3. Результати експерименту на картоплекопач КТН-2В

№	Урожайність картоплі, x_3 , т/га	Швидкість руху установки, x_4 , км/год	Показники роботи установки		
			Чистота картопляного шару, $Q_{\text{чист}}$, %	Втрати бульб, $Q_{\text{пот}}$, %	Пошкодження бульб, $Q_{\text{повр}}$, %
1	21,3	2,7	89,1	0,7	7,42
2	22	2,8	88,6	0,73	7,95
3	21,3	2,9	87,3	0,79	7,97
4	22	3	85,4	0,8	8,51
5	21,3	3,1	82,1	0,85	8,52
6	22	3,2	80,5	0,86	9,08
7	21,3	3,3	79,9	0,81	9,07
8	22	3,4	79,4	0,97	9,65
9	21,3	3,5	78,6	1,03	9,62
10	22	3,6	78	1,11	9,99
11	21,3	3,7	77,9	1,1	10,07
12	22,7	2,8	88,9	0,73	8,2
13	20,8	2,9	87,1	0,76	7,78
14	22,7	3	85,7	0,84	8,78
15	20,8	3,1	81,7	0,85	8,32
16	22,7	3,2	80,8	0,83	9,37
17	20,8	3,3	79,6	0,85	8,85
18	22,7	3,4	79,4	0,97	9,96
19	20,8	3,5	78,7	1,06	9,39
20	22,7	3,6	78,2	1,1	10,14
21	20,8	3,7	78	1,13	9,98

Обробка та аналіз отриманих результатів досліджень

При обробці і аналізі результатів лабораторно-польових випробувань (табл. 4) було встановлено, що розміщені на робочому органі сепарації пружні елементи обмеження контакту бульб з рамою не чинили істотного впливу на такі показники роботи установки, як втрати бульб і чистота картопляного шару (відхилення в показниках не перевищували 2% [13], а отже,

характеризувалися як похибка експерименту). У зв'язку з чим подальше дослідження цих процесів є недоцільним (дане судження можна застосувати лише в конкретному випадку – при зниженій вологості ґрунту).

Найбільш адекватним рівнянням регресії, що характеризує процес пошкоджень бульб, виявилось експоненціальне, так як коефіцієнт множинної кореляції найбільш близький до одиниці (0,99717) і середня помилка апроксимації мінімальна (1,41684).

За результатами аналізу істотно впливають на пошкодження бульб $Q_{\text{повр}}$ виявилися всі досліджувані фактори. Остаточне отримане рівняння регресії виглядало наступним чином

$$y = e^{(1,7655973 - 0,1738671x_1 - 0,1816299x_2 + 0,0439469x_3 + 0,3389805x_4)} \quad (1)$$

Для практичного застосування рівняння округлимо значення коефіцієнтів до тисячних

$$y = e^{(1,766 - 0,174x_1 - 0,182x_2 + 0,044x_3 + 0,339x_4)} \quad (2)$$

Таблиця 4. Характеристики отриманого рівняння регресії

Характеристика	Значення
Середньоквадратична помилка оцінки по рівнянню регресії, $\sigma_{\text{зал}}$	0,08629
Виправлена середньоквадратична помилка оцінки по рівнянню регресії, $\hat{\sigma}_{\text{зал}}$	0,09648
Коефіцієнт великої кількості детермінації, R_y^2	0,99435
Виправлений коефіцієнт великої кількості детермінації, \hat{R}_y^2	0,99294
Коефіцієнт великої кількості кореляції, R_y	0,99717
Виправлений коефіцієнт великої кількості кореляції, \hat{R}_y	0,99646
Розрахункове значення виправленого коефіцієнт великої кількості кореляції, $t_{\text{розр}}$	564,67
Залишкова дисперсія, $\sigma_{\text{зал}}^2$	0,00745
Виправлена залишкова дисперсія, $\hat{\sigma}_{\text{зал}}^2$	0,00931
Розрахункове значення рівняння регресії, $F_{\text{розр}}$	141,67
Критерій Фішера, $F_{\text{табл}}$	2,28
Середня помилка апроксимації, E	1,41684
Критичне значення коефіцієнта Стьюдента, $t_{\text{крит}}$	2,086

Результати проведених розрахунків представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Характеристики результативного показника і факторів, що впливають

Характеристика	Значення				
	y	x_1	x_2	x_3	x_4
Середньоарифметичне значення	5,724	5,761	5,476	21,681	3,224
Середньоквадратична помилка	1,148	0,474	0,432	0,723	0,311
Дисперсія	1,319	0,224	0,187	0,523	0,097
Коефіцієнт варіації	20,06	8,22	7,895	3,334	9,656

Продовження таблиці 5

Коефіцієнт рівняння	1,825	-0,339	-0,342	0,086	0,576
Середньоквадратична помилка коефіцієнтів регресії	-	0,044	0,049	0,029	0,068
Суттєвість коефіцієнтів регресії	-	7,625	11,744	2,953	8,517

Скористаємося отриманим рівнянням регресії для визначення оптимальних конструктивних параметрів елементів робочого органу сепарації.

Побудуємо графік залежності висоти пружного елемента від площі його основи (рис. 10). Розглянемо найбільш несприятливий випадок, коли швидкість руху установки максимальна $v_{уст} = 3,8$ км/год (швидкість, при якій на вдосконаленому картоплекопачу в умовах зниженої вологості спостерігалася технологічна відмова по досліджуваному показнику АТВ) і середнім значенням врожайності бульб картоплі в регіоні $Y_{макс} = 25$ т/га [13]. В результаті було отримано наступний графік.

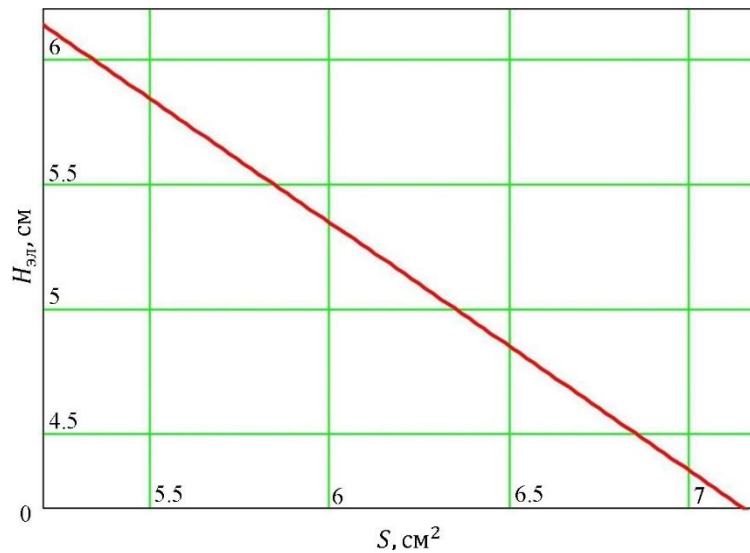


Рисунок 10. Графік залежності висоти пружного елемента від площі його основи.

Виходячи з графіка, представленого на рисунку 10, для дотримання регламентованого значення пошкоджень бульб (у важких умовах він становить 10% [13]) і мінімізації площі основи пружного елемента обґрунтованим рішенням є прийняття максимально допустимої його висоти рівною $H_{ел} = 6$ см, значення якої визначається конструктивними особливостями збиральної техніки.

Визначивши максимальну висоту необхідно уточнити мінімальне значення площі основи пружного елемента. В цьому випадку скористаємося виразом (1) і побудуємо наступний графік залежностей (рис. 11).

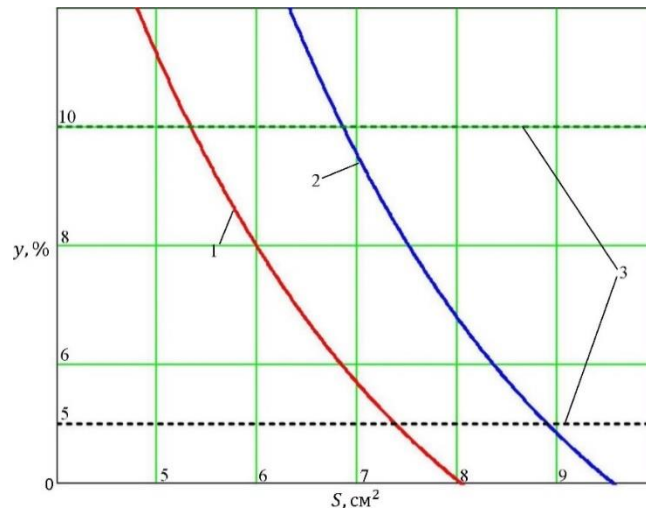


Рисунок 11. Графік залежності ушкоджень бульб від площі основи пружних елементів (в залежності від врожайності бульб):
 1 – врожайність бульб становить 25 т/га; 2 – врожайність бульб становить 31 т/га;
 3 – допустиме значення пошкоджень бульб.

Для цього були використані наступні значення незалежних факторів: максимальна швидкість руху установки $v_{уст} = 3,8$ км/год, висота пружного елемента $H_{ел} = 6$ см, а також деякі значення врожайності бульб (середня і максимальна врожайності бульб в регіоні [13]).

Найбільший інтерес представляє область, обмежена кривими 1 і 2, так як дана постановка завдання найбільш наближена до реальних умов. В цьому випадку для забезпечення максимально допустимого значення пошкоджень бульб необхідно використовувати пружні елементи з площею основи в межах від $5,34$ см² до $6,86$ см² при середньому значенні діапазону варіювання, рівного $6,1$ см². Розбіжність з результатами теоретичних досліджень склало 2,69%, що відповідає межах похибки вимірювань.

На рисунку 12 представлені результати лабораторно-польових випробувань серійного картоплекопач КТН-2В, а також експериментальної установки, оснащеної вдосконаленим робочим органом сепарації. Застосування пружних елементів трапецієподібної форми в конструкції робочого органу сепарації дозволило домогтися зниження пошкоджень бульб при максимально швидкісному режимі на 30,27% (з 10,14% на серійному КТН-2В до 7,07% на вдосконаленому картоплекопачу). Похибка вимірювань не перевищувала 2%, що відповідає вимогам.

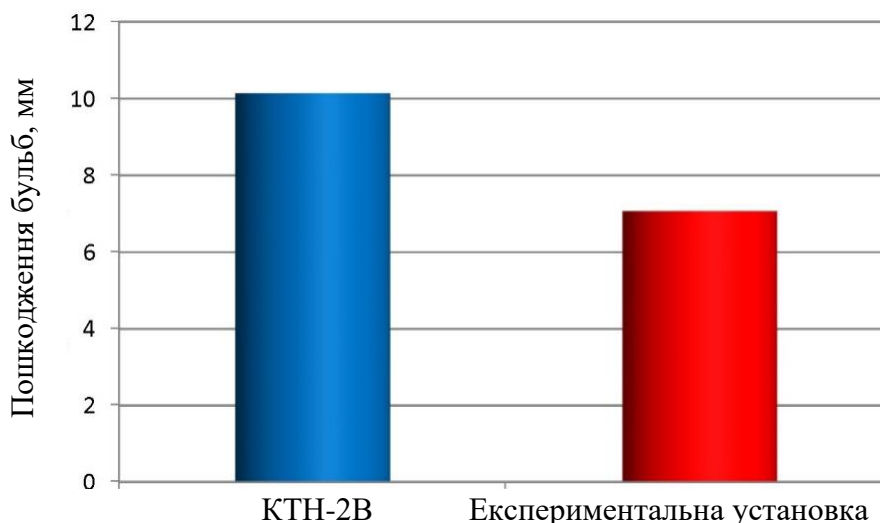


Рисунок 12. Результати випробувань серійного і вдосконаленого картоплекопача. Отримані в ході досліджень дані підтверджують раціональність застосування

розробленого робочого органу сепарації, що дозволяє знизити показник ушкоджень бульб в умовах зниженої вологості до значень агротехнічних норм.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

У майбутньому планується провести польові випробування розробленого робочого органу, щоб перевірити його ефективність у реальних умовах. Також буде здійснено дослідження можливості вдосконалення системи сепарації та оптимізації енергетичних витрат на різних етапах роботи машини.

8. Висновки

Лабораторні випробування підтвердили високу ефективність розробленого підкопуючо-сепаруючого робочого органу картоплезбиральної машини. Він забезпечує високий рівень підкопування картоплі та сепарації її від ґрунту і домішок, з мінімальними втратами продукції. Розроблений орган має низькі енерговитрати та високу зносостійкість, що робить його перспективним для використання в сучасних картоплезбиральних машинах.

1. Лабораторні дослідження довели наявність тягового зусилля зубчастого диска з приводом при заданому кінематичному режимі його роботи.

2. Уточнена раціональна величина частоти обертання диска, що працює в активному режимі, значення якої прийнято рівним 48,63 об/хв при швидкості картоплезбиральної машини 3 км/ч.

3. Встановлено раціональна величина ширини ґрунтозачепів зубчастого диска, що працює в пасивному режимі. При глибині ходу диска $H = 200$ мм її значення становить 10,76 мм.

4. В ході польових досліджень встановлено, що вдосконалений робочий орган сепарації картоплезбиральних машин знижує пошкодження бульб при важких умовах роботи в середньому на 30,27%, при цьому забезпечується виконання агротехнічних вимог за іншими показниками.

5. За результатами проведених лабораторно-польових досліджень отримана математична модель, яка характеризує взаємозв'язок ушкоджень бульб від конструктивних параметрів розробленого робочого органу сепарації, а також від робочої швидкості установки і показника врожайності бульб.

6. Уточнено конструктивні параметри пружних елементів робочого органу сепарації: його висота дорівнює 6 см, а площа основи склала 5,94 см².

На основі отриманих результатів можна рекомендувати подальше удосконалення конструкції робочого органу для адаптації його до польових умов та забезпечення максимальної ефективності при зборі картоплі.

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-tehnologichnykh 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. [in Ukrainian].

11) Hrushetskyi, S.M. (2019, February). *Ohliad doslidzhen ta analiz konstruktyvno-tehnologichnykh skhem hrudkoruiniuchykh 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].

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. [in Ukrainian].

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. <https://doi.org/10.35633/INMATEH-59-11>.

14) Firman, Ju.P., Hrushetskyi, S.N. (2015). *Kinematicheskij 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 Inżynierii Rolniczej*, vol. 21. № 4, 27-35. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2017-0033>.

16) Bonchik, V.S., Fedirko, P.P. (2015). Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovaniy 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. <https://doi.org/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>.

Laboratory tests of the developed working body of a potato harvester for digging and separation

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

Oleksandr Adamchuk

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: The article presents the results of laboratory tests of the developed digging-separating working body of a potato harvester. The purpose of the study was to assess the efficiency and functionality of the working body, which combines digging potatoes from the soil and separating root crops from impurities (stones, weeds and other particles). During the tests, the main parameters of the body design, dynamic characteristics, separation efficiency, as well as the influence of different types of soils on the quality of work were analyzed. Special attention was paid to energy consumption and wear resistance of materials. The results of the studies allow us to draw conclusions about the feasibility of using the proposed working body in real operating conditions, as well as to identify the necessary directions for further improving its design.

Keywords: laboratory tests, working body, potato harvester, digging, separation, efficiency, mechanical damage, energy consumption, wear resistance, separation of impurities, soil, potatoes, product losses, working body design, field tests.
