

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення ефективності технологічної операції збирання цукрових
буряків при удосконаленні доочисника головок коренеплодів

Виконав(ла): студент(ка) 4 курсу, групи МГс
спеціальності _____

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

Халупа Я.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Цьонь Г.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Сташків М.Я.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет _____ інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра _____ технічної механіки та сільськогосподарських машин
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня _____ **бакалавр**
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю _____ **208 Агроінженерія**
(шифр і назва спеціальності)

студенту _____ **Халупі Ярославу Ігоровичу**
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ **Підвищення ефективності технологічної операції збирання цукрових буряків при удосконаленні доочисника головок коренеплодів**

Керівник роботи _____ **Цьонь Ганна Богданівна, к.т.н.**
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «22» 01 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22.06.2026

3. Вихідні дані до роботи: _____
робоча швидкість машини, 2,5 м/с; ширина захвату машини, 2,7 м; густина насаджень, 10...12 шт./м²; питомий опір різанню, $q = 4...6$ кН/м; швидкість полотна (стрічки), 10,2 м/с.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технологій вирощування цукрового буряку.

2. Рекомендації з покращення технології доочистки головок коренеплодів.

3. Проектна частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Мета і завдання дослідження; Гичковидальюча машина. Схема принципова.

Опора ротора (базова). Опора ротора (модифікована). Схема функціональна.

Загальні висновки.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності технологічної операції збирання цукрових буряків шляхом удосконалення доочисника головок коренеплодів та розробки гичковидаляючої машини з покращеними техніко-експлуатаційними показниками.

Актуальність теми обумовлена важливим значенням цукрових буряків як провідної технічної культури, що є основною сировиною для цукрової промисловості України. У сучасних умовах особливого значення набуває підвищення ефективності процесів механізованого збирання, оскільки саме на цьому етапі спостерігаються значні втрати врожаю та погіршення якості коренеплодів. Якість доочищення головок буряків безпосередньо впливає на вміст домішок у сировині, ефективність її переробки та економічні показники виробництва.

Метою роботи є підвищення якості виконання технологічного процесу збирання цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції доочисника головок коренеплодів і визначення раціональних параметрів роботи машини. Для досягнення поставленої мети виконано комплекс наукових і інженерних завдань, що включають аналіз сучасних технологій вирощування та збирання буряків, дослідження існуючих технічних засобів, обґрунтування технологічної схеми гичковидаляючого агрегату, а також проведення інженерних розрахунків основних вузлів і механізмів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес збирання цукрових буряків, а предметом дослідження – конструкція та параметри робочих органів доочисника головок коренеплодів і гичковидаляючого механізму.

У роботі проаналізовано біологічні особливості цукрового буряку, умови його вирощування та технології збирання врожаю, зокрема потоковий, перевалочний і комбінований способи. Розглянуто способи видалення гички та встановлено, що найефективнішим є зрізання гички до викопування з подальшим доочищенням головок спеціальними робочими органами.

Проведено огляд сучасних машин-аналогів, у тому числі і зарубіжних багаторядних агрегатів, що дозволило визначити напрямки вдосконалення технічних засобів.

У проєктній частині запропоновано конструкцію гичковидальної машини стрічкового типу з ланцюговим доочисником, яка реалізує двостадійний процес: попереднє зрізання гички та остаточне очищення головок коренеплодів. Розроблена машина забезпечує обробіток трьох рядків за один прохід із шириною захвату 2,7 м і агрегується з тракторами типу МТЗ-80/82. Виконано розрахунок потужності приводу, зубчато-пасової передачі, валів і підшипникових вузлів, що підтверджує надійність та працездатність конструкції в заданих умовах експлуатації.

Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення якості очищення головок буряків (повнота видалення гички не менше 90 %), зменшення втрат і пошкоджень коренеплодів, а також зниження енергетичних і експлуатаційних витрат. Машина характеризується високою технологічною надійністю, простотою конструкції та можливістю ефективної роботи в різних ґрунтово-кліматичних умовах.

У роботі також розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, зокрема виробничі небезпеки при роботі доочисника та заходи щодо їх запобігання, що сприяє підвищенню безпечності експлуатації техніки.

Практичне значення роботи полягає у розробці удосконаленої конструкції доочисника головок коренеплодів, яка може бути впроваджена у виробництво для підвищення ефективності механізованого збирання цукрових буряків та зменшення втрат урожаю.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

Ключові слова: цукровий буряк, доочисник головок, гичковидальна машина, технологічний процес, робочі органи, модернізація, збирання, охорона праці.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ	7
1.1 Біологічні властивості та господарське значення вирощування цукрового буряку	7
1.2 Аналіз технологій збирання цукрових буряків	11
1.3 Огляд машин-аналогів для збирання гички.....	16
2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДООЧИСТКИ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ	20
2.1 Основні вимоги до машини при виконанні технологічної операції	20
2.2 Обґрунтування технологічної схеми.....	24
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	27
3.1 Визначення потужності на привод гичковидаляючого механізму	27
3.2 Розрахунок зубчато-пасової передачі та валів приводу різального апарату ...	31
3.3 Компонування вузлів	35
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	39
4.1 Виробничі небезпеки при виконанні доочищення головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом	39
4.2 Заходи охорони праці для запобігання небезпек при доочищенні головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом	42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	45
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

ВСТУП

Цукрові буряки є однією з провідних технічних культур аграрного сектору, що мають важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки та розвитку переробної промисловості. Ефективність їх вирощування значною мірою визначається рівнем механізації та досконалістю технологій збирання, оскільки саме на цьому етапі відбуваються значні втрати врожаю і погіршення його якості. Сучасні умови господарювання вимагають підвищення продуктивності машин, зменшення втрат коренеплодів, а також збереження їх цілісності та технологічних властивостей.

Однією з ключових операцій у процесі механізованого збирання цукрових буряків є доочищення головок коренеплодів від залишків гички та ґрунту. Недостатня якість виконання цієї операції призводить до збільшення домішок у сировині, зниження ефективності подальшої переробки та додаткових витрат на очищення. Водночас надмірне або нерівномірне зрізання головок спричиняє втрати цукристої частини коренеплодів, що негативно впливає на загальний економічний результат виробництва.

Сучасні бурякозбиральні машини оснащуються різними конструкціями доочисників, проте їх робота не завжди відповідає агротехнічним вимогам через складність умов експлуатації, нерівномірність рельєфу поля та варіативність біологічних параметрів рослин. Це обумовлює необхідність удосконалення конструкцій робочих органів доочисників, оптимізації їх параметрів і режимів роботи з метою підвищення якості обробки коренеплодів та зменшення втрат.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення ефективності технологічної операції збирання цукрових буряків шляхом удосконалення доочисника головок коренеплодів, що дозволить забезпечити більш стабільну якість очищення, знизити пошкодження коренеплодів та підвищити економічну ефективність виробництва.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

1.1 Біологічні властивості та господарське значення вирощування цукрового буряку

Цукровий буряк (*Beta vulgaris* L. var. *altissima*) є однією з найважливіших технічних культур, що відіграє провідну роль у забезпеченні цукрової промисловості сировиною. Його біологічні особливості, вимоги до умов вирощування та висока економічна цінність зумовлюють значну увагу до вдосконалення технологій його виробництва.

Цукровий буряк є дворічною рослиною родини лободових (*Chenopodiaceae*). У перший рік життя формує коренеплід і листову розетку, а на другий – генеративні органи, утворюючи квітконосні стебла і насіння. У виробничих умовах культура вирощується як однорічна для отримання коренеплодів, що містять значну кількість сахарози.

Коренева система буряку стрижнева, добре розвинена та проникає в ґрунт на глибину до 2–3 м, що забезпечує рослині здатність використовувати вологу з глибоких шарів ґрунту. Основна маса коріння зосереджена у шарі до 60 см. Це зумовлює відносну посухостійкість культури, хоча максимальна продуктивність досягається за достатнього рівня вологозабезпечення.



Рисунок 1.1 – Розвиток кореневої системи цукрового буряка

Коренеплід формується в результаті потовщення гіпокотилія і головного кореня та складається з головки, шийки і власне кореня. У верхній частині (головці) розміщені листкові рубці та генеративні бруньки. Саме ця зона є найчутливішою під час механізованого збирання, оскільки її пошкодження або надмірне зрізання призводить до втрат цукру.

Листковий апарат буряку представлений великою кількістю листків (40–60 і більше), які утворюють потужну асиміляційну поверхню. Фотосинтетична активність листків значною мірою визначає накопичення органічної маси і вміст цукру в коренеплодах. Вегетаційний період становить 150–180 днів залежно від сорту та умов вирощування.

Цукровий буряк є рослиною довгого дня, світлолюбною і вимогливою до інтенсивності освітлення. Недостатнє освітлення знижує інтенсивність фотосинтезу та призводить до зменшення вмісту цукру. Оптимальна температура для проростання насіння становить 6–8 °С, тоді як для інтенсивного росту і розвитку рослин – 18–22 °С. При температурі нижче 0 °С сходи можуть пошкоджуватися, а тривалі періоди холодної погоди здатні викликати стрілкування.

Важливою біологічною особливістю є висока вимогливість культури до родючості ґрунтів. Найкращими для вирощування є структурні чорноземи з нейтральною або слабколужною реакцією. Рослина інтенсивно поглинає поживні речовини, особливо азот, фосфор і калій, що обумовлює необхідність внесення значних доз добрив.

Як було зазначено, що цукровий буряк характеризується підвищеною вимогливістю до родючості ґрунту, що значною мірою визначає рівень його врожайності. Найбільш сприятливими для вирощування цієї культури є глибокі, добре структуровані ґрунти з високим вмістом органічної речовини, зокрема чорноземи, темно-сірі опідзолені та дерново-лучні. Менш продуктивними вважаються сірі та світло-сірі опідзолені ґрунти, на яких формуються нижчі врожаї. За гранулометричним складом оптимальними є суглинкові ґрунти, тоді як на бідних піщаних або надто важких глинистих

грунтах ріст і розвиток рослин суттєво пригнічуються.

Важливим показником є щільність ґрунту, яка для чорноземів повинна знаходитись у межах 1,0–1,2 г/см³, для сірих і світло-каштанових – 1,2–1,3 г/см³, а для дерново-підзолистих – 1,3–1,4 г/см³. Перевищення цих значень негативно впливає на розвиток рослин: спостерігається затримка досягання, а також деформація коренеплодів. Надмірне ущільнення ґрунту й утворення плужної підшви призводять до зниження врожайності та можуть спричинити розгалуження (роздвоєння) коренеплодів.

Культура також чутлива до кислотності ґрунту і погано розвивається за її підвищених значень, тому позитивно реагує на проведення вапнування. Оптимальним для вирощування цукрових буряків є рівень рН у межах 6,5–7,5. Водночас рослина відзначається відносно високою солестійкістю, що дозволяє використовувати її як один із біологічних засобів покращення засолених ґрунтів.



Рисунок 1.2 – Посіви цукрових буряків

Цукровий буряк також характеризується високою чутливістю до ущільнення ґрунту та забур'яненості, що негативно впливає на формування коренеплодів і знижує врожайність. Тому важливу роль відіграє система

обробітку ґрунту та догляду за посівами.



Рисунок 1.3 – Площа цукрового буряка

Цукровий буряк є основною сировиною для виробництва цукру в країнах помірного клімату. Вміст цукру в коренеплодах становить у середньому 16–20 %, що забезпечує високу вихідну продуктивність при переробці. Крім цукру, з буряків отримують побічну продукцію: жом і мелясу, які широко використовуються в кормовиробництві та інших галузях промисловості.

Жом є цінним кормом для тварин завдяки високому вмісту клітковини і легкозасвоюваних вуглеводів. Меляса використовується як сировина для виробництва спирту, дріжджів, органічних кислот і кормових добавок. Таким чином, використання цукрового буряку є комплексним і безвідходним, що значно підвищує його економічну ефективність.

Ця культура має велике значення в сівозмінах, оскільки сприяє покращенню фітосанітарного стану ґрунту та підвищенню врожайності наступних культур. Глибока коренева система сприяє розпушуванню ґрунту, покращенню його структури і водно-повітряного режиму. Після вирощування буряку поле залишається добре очищеним від бур'янів, що робить його цінним попередником для зернових культур.

Вирощування цукрового буряку має важливе соціально-економічне

значення. Воно забезпечує роботою значну кількість населення у сільському господарстві та переробній промисловості. Розвиток бурякоцукрового підкомплексу сприяє формуванню сталих економічних зв'язків між виробниками сировини та цукровими заводами.

Ефективність виробництва буряку значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, зокрема збирання. Високі втрати врожаю, пошкодження коренеплодів і забруднення сировини під час механізованого збирання можуть суттєво знижувати економічні показники. Особливе значення цьому питанню надається у контексті вдосконалення робочих органів бурякозбиральних машин, таких як доочисники головок коренеплодів.

Сучасні тенденції розвитку аграрного виробництва спрямовані на підвищення врожайності та якості продукції за одночасного зниження витрат ресурсів. У цьому контексті важливим є врахування біологічних властивостей культури при розробці нових технологічних і технічних рішень, що дозволяють максимально реалізувати генетичний потенціал рослин.

Отже, цукровий буряк є важливою високопродуктивною культурою з вагомим господарським значенням. Його біологічні особливості визначають вимоги до технології вирощування і збирання, а також впливають на ефективність використання технічних засобів. Раціональне поєднання агротехнічних заходів і вдосконалення машинних технологій забезпечує підвищення ефективності виробництва та конкурентоспроможності галузі.

1.2 Аналіз технологій збирання цукрових буряків

У зв'язку з тривалістю процесу переробки цукрових буряків виникає потреба в тимчасовому зберіганні частини вирощеної продукції. Залежно від організації логістики та виробничих умов застосовують кілька основних технологічних підходів до збирання врожаю:

потоківий спосіб – передбачає одночасне транспортування коренеплодів

від бурякозбирального комбайна безпосередньо на переробне підприємство;



Рисунок 1.4 – Поточковий спосіб збирання цукрових буряків

перевалочний спосіб – коренеплоди певний час зберігаються у господарстві (у кагатах) і подаються на завод безпосередньо перед переробкою;



Рисунок 1.5 – Перевалочний спосіб збирання цукрових буряків

потоково-перевалочний спосіб – поєднує обидва підходи: частина врожаю одразу транспортується, а частина тимчасово складається через обмеження транспортних можливостей або виробничих потужностей. При

цьому термін зберігання має бути обмежений через погіршення якості сировини.

Кожен із зазначених способів має власні переваги та недоліки, а їх вибір визначається конкретними умовами господарства: віддаленістю цукрового заводу, наявністю транспортних засобів, станом коренеплодів, можливістю їх зберігання та іншими чинниками.

На ефективність виробництва цукру істотно впливає вміст гички у воросі коренеплодів. Відомо, що гичка містить значну кількість азотистих сполук, які негативно впливають на технологічний процес переробки та знижують вихід цукру. У зв'язку з цим особливого значення набуває якісне відокремлення гички від коренеплодів.

На сучасному етапі розвитку техніки сформувалися два основні способи механізованого видалення гички:

зрізання гички до викопування (на пні) – гичку видаляють ще до підкопування коренеплоду;

видалення гички після викопування (в комбайні) – спочатку коренеплід витягується із ґрунту, після чого здійснюється обрізання гички.

Перший варіант є більш поширеним, оскільки забезпечує стабільніші умови виконання технологічної операції. Другий спосіб використовується здебільшого у машинах терebilьного типу, проте він ускладнений необхідністю вирівнювання головок коренеплодів, що негативно впливає на стабільність процесу. Нерівномірний стан гички часто призводить до обривання коренеплодів, а досягнення необхідної чистоти очищення лише за рахунок обрізання є складним. Як результат, рівень залишкової гички перевищує нормативні значення (понад 5 %), що обмежує поширеність цього способу.

Зрізання гички на пні, навпаки, отримало найбільше практичне застосування і використовується у більшості сучасних машин, хоча конструкції робочих органів можуть відрізнятися залежно від технічних вимог та умов роботи.

Серед найпоширеніших технологічних схем видалення гички можна

виділити такі:

Обрізання гички на фіксованому рівні без копіювання поверхні (безкопирний спосіб) із застосуванням роторних робочих органів з подальшим доочищенням головок гнучкими елементами.



Рисунок 1.6 – Обрізання гички на фіксованому рівні

Використання сегментного ножа зі зворотно-поступальним рухом із одночасним копіюванням поверхні головок, після чого здійснюється додаткове дообрізання пасивним ножем та очищення.

Безпосереднє копіювання поверхні головки коренеплоду з подальшим обрізанням гички по її контуру та доочищенням за допомогою спеціальних робочих органів (одно- або двовальних).

Конструкція гичкозбиральних машин значною мірою залежить від способу використання зрізаної маси. Якщо гичка використовується як корм, її необхідно збирати, транспортувати й накопичувати. В іншому випадку її можуть рівномірно розподіляти по полю як органічне добриво, що спрощує конструкцію машини та підвищує її надійність.

Варто зазначити, що досягти необхідної чистоти головок лише шляхом зрізання гички практично неможливо. Саме тому застосовуються доочисники головок коренеплодів. Принцип їх роботи базується на відмінності механічних

властивостей залишків гички та поверхні коренеплоду. Конструктивні рішення доочисників можуть бути різноманітними, що відкриває широкі можливості для їх удосконалення.

Найбільшого поширення набули одно- та двовальні доочисники з еластичними (гумовими або комбінованими) робочими елементами, які обертаються назустріч руху агрегату. Основною проблемою є забезпечення достатнього впливу для видалення залишків гички без пошкодження самого коренеплоду. Надмірне навантаження може призвести до вибивання або травмування коренеплодів, що знижує їх якість.

Доочисники можуть працювати як у складі комплексу з гичкозрізувальними машинами, так і окремо.

Перед викопуванням коренеплодів часто здійснюють попереднє рихлення міжрядь з метою послаблення зв'язку коренеплодів із ґрунтом. Однак за умов легких або сипких ґрунтів ця операція може бути необов'язковою.

Викопування коренеплодів здійснюється за двома основними схемами:

Підкопування, підбирання коренеплодів робочими органами та їх подача на сепаруючі пристрої з подальшим вивантаженням у бункер або транспортний засіб.

Підкопування з укладанням коренеплодів у валок і наступним підбиранням спеціальними підбирачами.

Другий спосіб доцільно використовувати при значному забрудненні вороху ґрунтом, оскільки він забезпечує природне підсушування та доочищення коренеплодів. Проте він потребує додаткового обладнання – підбирача, що ускладнює загальну конструкцію машинного комплексу.

Збирання цукрових буряків здійснюється переважно самохідними машинами, технологічний процес яких є подібним. Основні відмінності полягають у конструкції викопуючих робочих органів, які поділяються на лемішні, дискові (ротаційні), вібраційні та комбіновані.

Серед них найбільш універсальними та широко застосовуваними є дискові викопуючі органи, що забезпечують ефективне підкопування

коренеплодів за різних умов роботи.

1.3 Огляд машин-аналогів для збирання гички

Гичкозбиральні машини є важливим елементом у технології механізованого збирання цукрових буряків, оскільки саме якість видалення листової маси безпосередньо визначає ефективність подальших процесів – доочищення та викопування коренеплодів. Рівень розвитку цих машин відображає загальні тенденції механізації буряківництва, спрямовані на підвищення продуктивності та зниження втрат цукроносної маси.

Серед вітчизняних конструкцій найбільш поширеними є машини типу БМ-6 та її модифікація БМ-6А, які призначені для зрізання гички на посівах із міжряддям 45 см. Дані машини є причіпними та агрегатуються з тракторами тягового класу 1,4–2.

Конструктивно машина складається з рами, копіювальних пристроїв, ріжучого апарата, системи транспортерів і очисника головок коренеплодів. Робочі органи приводяться в дію від вала відбору потужності трактора. Під час роботи копіювальні пристрої забезпечують підтримання необхідної висоти зрізу гички, адаптуючись до рельєфу поля та розміщення головок коренеплодів.

Технологічний процес включає зрізання гички ножами, транспортування її по системі конвеєрів і подачу в транспортний засіб або розкидання по полю. Додатково встановлений очисник головок коренеплодів із гумовими бичами видаляє залишки листової маси.

Однак ефективність роботи таких машин залежить від рівномірності розміщення коренеплодів у рядку. При значній нерівномірності або заглибленні головок у ґрунт погіршується якість зрізання, що призводить до збільшення кількості залишків гички та можливих втрат цукристої маси.

Фото вітчизняної машини БМ-6, рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Гичкозбиральна машина типу БМ-6

Зарубіжні машини для збирання гички.

У країнах із розвиненим буряківництвом (Німеччина, Франція, США, Нідерланди) рівень механізації перевищує 90–95 %, а техніка характеризується високою продуктивністю і багатофункціональністю. Найбільш поширеними є багаторядні машини (2-, 3-, 6-рядні), які забезпечують одночасне виконання кількох технологічних операцій.

Сучасні гичкозрізувальні апарати здебільшого мають комбіновану структуру і включають:

- роторні або барабанні механізми для попереднього подрібнення листя;
- ножі для точного зрізання головки;
- доочисники з гумовими або металевими елементами.

Наприклад, у машинах європейських виробників застосовуються ротори з гнучкими бичами, які створюють вакуумний ефект і ефективно видаляють листову масу з поверхні головок.



Рисунок 1.8 – Гичкозрізувачі для цукрових буряків від компанії Amity Technology (США)

Конструктивні особливості гичкозрізувальних систем.

В сучасних машинах найбільшого поширення набули такі типи робочих органів:

Роторні (бичові) – здійснюють зрізання і одночасне часткове очищення;

Ножові (сегментні або дискові) – забезпечують точне відокремлення гички;

Комбіновані системи – поєднують попереднє подрібнення і чистовий зріз.

Завдяки поєднанню різних типів робочих органів досягається більш висока якість очищення при зменшенні пошкодження коренеплодів.

Сучасні бурякозбиральні комбайни включають гичкозрізувальні пристрої як перший етап технологічного процесу. Спочатку відбувається видалення гички, після чого виконуються викопування та очищення коренеплодів.

Незважаючи на вдосконалення гичкозрізувальних систем, одним зрізанням неможливо досягти повного очищення. Тому використовуються доочисники, принцип роботи яких базується на різниці міцності рослинних залишків та поверхні коренеплоду.



Рисунок 1.9 – Бурякозбиральний комбайн HOLMER TERRA DOS 5

Найбільш застосовувані конструкції:

одновальні та двовальні роторні доочисники;

робочі органи з гумовими або комбінованими елементами;

розміщення валів поперек або під кутом до рядка.

Під час роботи лопаті або бичі, обертаючись, видаляють залишки гички, проте при надмірному зусиллі можливе пошкодження або навіть вибивання коренеплодів із ґрунту.

Таким чином, розвиток машин для збирання гички відбувається у напрямку:

підвищення точності зрізання;

зниження пошкодження коренеплодів;

інтеграції кількох операцій в одному агрегаті;

підвищення продуктивності та автоматизації процесів.

Попри значну кількість конструктивних рішень, універсальна машина, яка повністю відповідала б усім агротехнічним вимогам, досі не створена. Це зумовлює актуальність подальших досліджень, зокрема у напрямі удосконалення доочисників головок коренеплодів.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДООЧИСТКИ ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ

2.1 Основні вимоги до машини при виконанні технологічної операції

Очисник головок коренеплодів (ОГК) призначений для видалення гички з трьох рядків цукрових буряків за умови міжряддя 45 см та агрегатується з тракторами типу МТЗ-80 і МТЗ-82. Його застосування доцільне в умовах інтенсивного буряківництва, зокрема в господарствах Західного регіону та Лісостепу України, де спостерігаються сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування даної культури.

Робота машини передбачає одночасне оброблення трьох рядків за один прохід при ширині міжрядь 450 мм. Ефективність виконання технологічного процесу забезпечується за робочої швидкості в межах 1,5...2,5 м/с та вологості ґрунту 16...30 %, що відповідає типовим агротехнічним вимогам до збирання коренеплодів.

Конструкція ОГК передбачає привід робочих органів від валу відбору потужності трактора через редуктор, що забезпечує надійну передачу крутного моменту. Машина повинна забезпечувати можливість виконання збирання гички як у поєднанні зі збиранням коренеплодів, так і окремим технологічним процесом у встановлені агротехнічні строки. Важливою умовою є досягнення високої якості виконання роботи без застосування ручної праці: втрати у зрізаних головках коренеплодів не повинні перевищувати 3 %, сумарні втрати – 2 %, рівень забрудненості – не більше 10 %, а пошкодження коренеплодів – до 2 %, при цьому повнота видалення гички має становити щонайменше 90 %.

Машина повинна характеризуватися високою технологічною надійністю з коефіцієнтом не нижче 0,95 та забезпечувати стабільну роботу в широкому діапазоні виробничих умов, включаючи змінну врожайність, параметри посівів, фізичні властивості ґрунту і гички, а також підвищений рівень засміченості полів. Передбачається її ефективна робота навіть за складних умов, зокрема при

вологості ґрунту понад 26 %, твердості 290...580 Н і врожайності 450...700 ц/га. Конструкція повинна бути універсальною та придатною до використання у різних технологічних схемах збирання, що забезпечує адаптивність до змін виробничих умов.

Особлива увага приділяється інтенсифікації процесу збирання шляхом оптимізації швидкісних режимів і пропускної здатності, а також зменшенню метало- та енергоємності завдяки спрощенню конструкції. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню загальної надійності та забезпеченню коефіцієнта технічної готовності на рівні не менше 0,95. Розрахунковий термін служби машини до списання повинен становити не менше 7 років за умови річного навантаження до 200 га, а час переведення з робочого положення в транспортне і навпаки не має перевищувати 0,5 хв.

З економічної точки зору розроблювана машина порівнюється з базовою моделлю БМ-6Б, що працює від ВВП трактора у складі агрегатів з тракторами Т-70С і МТЗ-80. Очікується, що впровадження нової конструкції дозволить досягти зниження прямих експлуатаційних витрат щонайменше на 35 %.

У межах формування технічного завдання на проектування розглядається гнчководальючий механізм стрічкового типу з ланцюговим шнеком, який призначений для зрізування гички з коренеплодів з подальшим її відведенням за межі рядків і наступним доочищенням від черешків за допомогою ланцюгового очисника. Основною метою розробки є підвищення ефективності процесу збирання цукрових буряків шляхом поєднання в одній відносно простій за конструкцією машині двох технологічних операцій – зрізування гички та її доочищення.

Запропоноване технічне рішення дозволяє підвищити продуктивність праці, зменшити втрати гички та пошкодження коренеплодів у порівнянні з існуючими аналогами, такими як БМ-6Б та МБК-2,7. Завдяки зниженій металоємності конструкції передбачена можливість використання машини як навісного обладнання у складі коренезбиральних агрегатів, що забезпечує скорочення кількості проходів техніки по полю. У результаті впровадження

запропонованого рішення досягається зниження енергоємності процесу, що безпосередньо впливає на зменшення експлуатаційних витрат і підвищення загальної ефективності виробництва.

Таблиця 2.1 – Технічні вимоги до машини

Назва	Нова модель	Базова модель
Конструктивна ширина захвату, м	2,7	2,7
Основна ширина міжрядь, см	45	45
Ефективна потужність, кВт		45
Робоча швидкість, м/с	1,5...2,5	1,2...2,0
Транспортна швидкість, км/год	до 20	до 20
Продуктивність за 1 год робочого часу, га	1,2..2,4	1,35...2,1
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1	1
Тип ножа	активний	активний
Очисник головок коренеплодів	ланцюговий активний	навісний активний еластичні бічні
Комбінованість	0,75	0,75
Коефіцієнт використання експлуатаційного часу, не менше	0,75	0,75
Коефіцієнт технологічного обслуговування, не менше	0,9	0,9
Коефіцієнт надійності допоміжного технологічного процесу, не менше	0,99	0,99
Пошкодження культур не більше, %	3	3
Маса агрегату, чиста, кг	630,0	3030
Габаритні розміри, не більше, мм		
довжина	1300	8000
ширина	2800	4500
висота	980	3650
Показники надійності		
Середньозмінний час технічного обслуговування не менше, год	0,8	0,8
Коефіцієнт готовності, не менше за оперативним часом з врахуванням оперативного часу	0,98 0,95	0,98 0,95
Питома сумарна оперативна трудомісткість технологічного обслуговування	0,01	0,01

Вибір технології та засобів механізації збирання цукрових буряків визначається, насамперед, розмірами посівних площ, а також ґрунтово-кліматичними умовами вирощування культури. Розроблювана гичковидальюча машина стрічкового типу з ланцюговим очисником реалізує двостадійний спосіб видалення гички. На першій стадії здійснюється зрізування основної маси гички, тоді як на другій стадії відбувається остаточне очищення головок коренеплодів від залишків гички та черешків за допомогою ланцюгового очисника, який забезпечує їх видалення шляхом механічного вибивання.

Особливістю першого етапу є те, що робочі органи налаштовуються за допомогою опорних коліс на певний рівень високого зрізу, що дозволяє зрізати гичку на однаковій висоті відносно поверхні ґрунту без індивідуального копіювання положення кожного коренеплоду. Натомість друга стадія процесу характеризується необхідністю копіювання поверхні головок коренеплодів, оскільки саме на цьому етапі здійснюється видалення залишкової гички та черешків з урахуванням їх фактичного розташування і геометрії.

Застосування двостадійної технології, з одного боку, підвищує якість очищення коренеплодів, однак, з іншого – зумовлює залежність ефективності технологічного процесу від низки факторів, пов'язаних із параметрами плантації перед збиранням. До таких факторів належать відхилення коренеплодів від осі рядка, відстань між рослинами та рівномірність їх розміщення, ширина міжрядь, рівень врожайності, фізичний стан гички, а також ступінь забур'яненості поля. Водночас використання даного способу дозволяє дещо спростити вимоги до технології вирощування цукрових буряків, зокрема щодо трудомістких операцій формування густоти насаджень.

При розгляді властивостей оброблюваного матеріалу слід враховувати, що гичка та коренеплоди належать до класу ґрунтово-в'язко-пластичних матеріалів. Це означає, що їх деформаційні властивості залежать не лише від величини прикладеного навантаження, але й від тривалості його дії. Така особливість має суттєве значення при обґрунтуванні параметрів роботи машини, зокрема під час вибору режимів різання гички та її транспортування й

відведення. Основні фізико-механічні характеристики досліджуваного матеріалу подаються у відповідній таблиці.

Таблиця 2.2 – Характеристика оброблюваного матеріалу

Назва	Значення
Питомий опір різанню, кН/м - гички цукрових буряків - корнплода цукрового буряка	1...4 3...6
Густота насаджень, тис.шт/га	100...120
Товщина пучки гички, мм - середня - мін. макс.	44,3 14...74,6
Діаметр корнеплода, мм - середній - мін. макс	80 30 ...140
Врожайність, ц/га - гички цукрових буряків - коренеплодів цукрових буряків	140...280 250... 500
Вологість ґрунту, %	10,8...24,6
Твердість ґрунту, кг/см ²	7,6...19,2

2.2 Обґрунтування технологічної схеми

Кінематична схема машини визначає структуру передачі енергії та руху від джерела приводу до робочих органів. У даній конструкції джерелом енергії є вал відбору потужності трактора, від якого крутний момент передається до гичковидаляючого агрегату через телескопічний карданний вал. Номінальна частота обертання валу відбору потужності становить 540 об/хв.

Далі передача руху здійснюється послідовно через систему редукторів. Спочатку крутний момент надходить на конічний редуктор з передатним числом, близьким до одиниці, який змінює напрямок передавання руху без значної зміни частоти обертання. Після цього через проміжний вал енергія передається до другого конічного редуктора з передатним числом 1,5,

внаслідок чого відбувається підвищення частоти обертання. На виході формується частота обертання близько 810 об/хв, яка передається на вал проміжної опори.

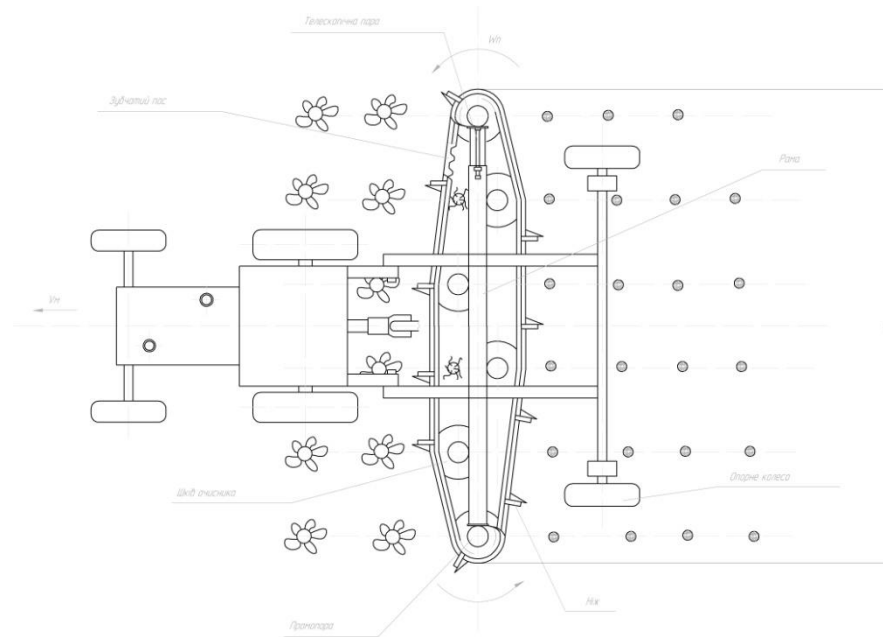


Рисунок 2.1 – Гичковидаляюча машина

Для захисту елементів приводу від перевантажень між редуктором і проміжною опорою встановлено фрикційну запобіжну муфту, що забезпечує обмеження переданого крутного моменту. Від проміжної опори рух передається до робочих органів доочисника за допомогою зубчасто-пасової передачі, яка відповідає вимогам стандартів щодо надійності та довговічності.

Шків доочисників мають діаметр близько 0,276 м, що у поєднанні з частотою обертання забезпечує необхідну лінійну швидкість паса на рівні приблизно 7,2 м/с. Такий режим роботи дозволяє створити ефективну взаємодію робочих елементів доочисника з поверхнею коренеплідів. Робочі органи доочисника розташовані поперечно до напрямку руху машини, при цьому одночасно функціонує кілька (зокрема шість) очищувальних секцій, що забезпечує обробку всієї ширини захвату.

Принципова схема машини відображає загальні принципи її функціонування, структуру основних вузлів та їхню взаємодію, а також є базою для подальшого конструкторського опрацювання. Вона дозволяє оцінити

відповідність машини агротехнічним вимогам, що висуваються до механізованого збирання цукрових буряків.

Основними вимогами до такого процесу є своєчасність виконання робіт, мінімізація втрат урожаю та забезпечення високої якості отриманої сировини. Зокрема, допустимий рівень втрат коренеплодів повинен бути обмежений, а частка пошкоджених або неправильно обрізаних коренеплодів – мінімізована. Важливим показником також є ступінь забруднення вороху як ґрунтовими, так і рослинними домішками.

Запропонована машина призначена для виконання двох основних операцій: зрізання гички та доочищення головок коренеплодів. Робочий процес починається зі зрізання гички ножовими елементами, закріпленими на зубчастому пасі. Далі зрізана маса транспортується за допомогою цього ж паса, оснащеного скребками, у напрямку від рядка. Така конструкція дозволяє ефективно видаляти рослинну масу із зони обробки.

Ширина захвату машини становить близько 2,8 м, що відповідає обробці кількох рядків за один прохід. Агрегат спирається на опорні колеса, які забезпечують стабільність руху та підтримання заданої висоти робочих органів відносно поверхні ґрунту.

Привід робочих органів здійснюється від валу відбору потужності через систему редукторів, встановлених на рамі машини. Два конічних редуктори змінюють напрям передавання руху та забезпечують необхідні кінематичні параметри. Для стабільної роботи важливим є правильне регулювання натягу зубчастого паса, що реалізується за допомогою телескопічного механізму, встановленого в зоні проміжної опори.

Крім того, передбачена можливість регулювання положення робочих органів у вертикальній площині, що дозволяє адаптувати машину до різних польових умов, зокрема до нерівномірності рельєфу та різної висоти розташування головок коренеплодів. Завдяки цьому забезпечується підвищення якості зрізання та ефективність доочищення.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Визначення потужності на привод гичковидаляючого механізму

Потужність, яка витрачається на привод шестирядкового агрегату буде рівна

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4, \quad (3.1)$$

де N_1 - потужність, яка витрачається на привод ріжучого апарата, кВт;

N_2 - потужність, яка витрачається на відведення гички вбік, кВт;

N_3 - потужність, яка витрачається на очищення головок буряків від черешків, кВт;

N_4 - потужність, яка витрачається на тягове зусилля, кВт.

Потужність на зрізання гички визначається за формулою

$$N_1 = A \cdot B \cdot V_M \cdot i, \quad (3.2)$$

де A - робота на зріз гички з одного буряка, Дж;

B - ширина захвату машини, м;

$B=2.7$ м;

V_M - робоча швидкість машини, м/с;

$V_M=2.5$ м/с;

i - густина насаджень;

$i=10...12$ шт/м².

Робота A на зріз гички з одного буряка рівна

$$A = P \cdot S, \quad (3.3)$$

де P - сила різання, Н;

$$P = q \cdot \ell_p \quad (3.4)$$

S - довжина шляху, який пройдено, м;

q - питомий опір різанню, згідно [38-40] $q = 4 \dots 6$ кН./м;

ℓ_p - робоча частина леза ножа, яка приймає участь в процесі різання,

$\ell_p = 0.008$ м. Практично $\ell_p = d_c$ - діаметру середнього кореня (пучка гички) цукрового буряка.

Підставивши значення, отримаємо

$$N_1 = \frac{3,14 \cdot 0,008^2}{4} \cdot 5 \cdot 2,7 \cdot 2,5 \cdot 12 = 2,1 \text{ кВт.}$$

Потужність на відведення гички вбік машини рівна

$$N_2 = \frac{m_\Gamma \cdot V_n^2}{2} \cdot \frac{Q_\Gamma}{m_\Gamma} = \frac{Q_\Gamma \cdot V_n^2}{2}, \text{ кВт,} \quad (3.5)$$

де m_Γ - маса гички, яка відводиться стрічкою, кг;

$V_n = 10.2$ м/с – швидкість полотна (стрічки);

Q_Γ – продуктивна здатність машини, кг/с,

$$Q_\Gamma = B \cdot V_M \cdot A_\Gamma, \quad (3.6)$$

тоді

$$Q_\Gamma = 2,7 \cdot 2,5 \cdot 2,4 = 16,2 \text{ кг/с;}$$

$B = 2.7$ м – ширина захвату гичковидаляючої машини;

$V_M = 2.5$ м/с – робоча швидкість машини;

$A_T = 2.4$ кг/м² – врожайність гички цукрових буряків.

Тоді

$$N_2 = \frac{16.2 \cdot 10.2^2}{2} = 843 \text{ Вт} \approx 0.9 \text{ кВт.}$$

Потужність на очищення буряків від черешків рівна

$$N_3 = A \cdot B \cdot V_M \cdot i, \text{ кВт,} \quad (3.7)$$

де $A = 43,7$ Дж – робота на видалення черешків;

$V_M = 2,5$ м/с – робоча швидкість машини;

$i = 10 \dots 12$ шт./м² – густина насаджень рослин.

$$N_3 = 43,7 \cdot 2,7 \cdot 2,5 \cdot 12 = 3569 \text{ Вт} \approx 3.6 \text{ кВт.}$$

Потужність тягового зусилля трактора на пересування гичковидальної машини буде рівна

$$N_4 = k \cdot B \cdot V_M, \text{ кВт,} \quad (3.8)$$

де k - питомий опір гичкозрізаючих машин,

$k = 1200$ Н/м.

Тоді

$$N_4 = 1200 \cdot 2.7 \cdot 2.5 = 8100 \text{ Вт} \approx 8.1 \text{ кВт.}$$

Сумарна теоретична потужність на привод гичковидальної машини рівна

$$N_T = 2.1 + 0.9 + 3.6 + 8.1 = 14.7 \text{ кВт.}$$

Розрахункова потужність, необхідна для приводу гичковидаляючої машини, визначається з урахуванням комплексу технологічних і експлуатаційних чинників, що впливають на енергетичні витрати процесу. При її визначенні обов'язково враховується ступінь забур'яненості посівів, який суттєво ускладнює роботу робочих органів та призводить до збільшення опору різанню і переміщенню рослинної маси. Важливу роль відіграють також погодні умови, зокрема підвищена вологість ґрунту або наявність налипань, що викликає додаткові навантаження на робочі органи і приводні механізми.

Крім того, при розрахунках враховується коефіцієнт перевантаження, який характеризує можливі короточасні пікові навантаження, що виникають у процесі роботи машини, наприклад, при потраплянні ущільнених ділянок або сторонніх домішок у робочу зону. Не менш важливим є облік втрат потужності в механічних передачах, які виникають унаслідок тертя в підшипниках, шестеренних, ланцюгових або ремінних передачах, а також через деформації елементів приводу.

З урахуванням зазначених чинників розрахункова потужність приводу визначається як узагальнений показник, що забезпечує надійну і стабільну роботу гичковидаляючої машини в реальних польових умовах експлуатації та гарантує достатній енергетичний запас для подолання змінних навантажень у процесі виконання технологічної операції.

$$N_p = C_p (N_1 + N_2 + N_3) + N_4, \text{ кВт,} \quad (3.9)$$

де $C_p = \frac{c}{\eta} = \frac{2.1}{0.75} = 2.75$ - поправочний коефіцієнт, що враховує різноманітні

ускладнення при збиранні гички;

$\eta = 0.75$ - ККД механічної передачі гичковидаляючої машини з урахуванням втрат при передачі енергії від ВВП трактора до робочих органів машини через

редуктори, муфти та підшипники;

$c = 2.1$ - коефіцієнт запасу.

$$N_p = 2,75(2,1 + 0,9 + 3,6) + 8,1 = 18,2 + 8,1 = 26,3 \text{ кВт.}$$

3.2 Розрахунок зубчато-пасової передачі та валів приводу різального апарату

Розрахунок виконується із застосуванням системи MathCad.

Вихідні дані для розрахунку:

$M = 220,6$ Нм – обертовий момент, який передається зубчатим пасом;

$n = 810$ хв⁻¹ – частота обертання шківів;

$M = 220,6$ Нм – обертовий момент на валу;

$n = 810$ хв⁻¹ – частота обертання вала;

Колова сила

$$F_t = \frac{2M}{d}, \text{ Н;} \quad (3.10)$$

Тоді значення

$$F_t = \frac{2 \cdot 220,6}{0,24} = 1838 \text{ Н.}$$

Радіальна сила

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha, \text{ Н.} \quad (3.11)$$

Тоді

$$F_r = 1838 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 662 \text{ Н.}$$

Для виготовлення вала вибираємо:

сталь 11ХНЗЛ;

термообробка – цементування, гартування, низький відпуск [36];

твердість 260 НВ.

Механічні характеристики сталі приймаючи, що діаметр заготовки не перевищить 80 мм:

границя міцності при розтягуванні $\sigma_{мор} = 980$ МПа;

границя текучості при розтягуванні $\sigma_T = 700$ МПа;

границя текучості при крученні $\tau_T = 490$ МПа;

границя витривалості при згині $\sigma_{-1} = 420$ МПа;

границя витривалості при згині $\tau_{-1} = 210$ МПа.

Діаметр вихідного кінця вала

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi[\tau]}}, \quad (3.12)$$

тоді

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 220.6 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 28.5}} = 31.08 \text{ мм},$$

де $[\tau] = (0.025 \dots 0.03) \sigma_{мор} = 0,03 \cdot 950 = 28,5$ МПа – умовна напруга при згині.

Приймаємо

$$[\tau] = 28,5 \text{ МПа}.$$

Приймаємо циліндричний кінець валу: $d = 30$ мм, довжиною $\ell_d = 58$ мм.

Конструкція вала представлена у графічній частині роботи. На циліндричний кінець вала $d = 30$ мм встановлюється муфта, яка до опори в буртик сусіднього відрізка.

Діаметр наступного відрізка вала, на якому встановлюється підшипник кочення, визначається за відношенням

$$d_n = d + 2t, \quad (3.13)$$

тоді

$$d_n = 30 + 2 \cdot 7.5 = 45 \text{ мм},$$

де $t = 7.5$ мм – буртик (його висота) сусіднього відрізка вала.

Попередньо вибираємо для вала кулькові радіальні підшипники легкої серії 209 за ГОСТ 8338-75 із параметрами: $d \times D \times B = 45 \times 85 \times 19$ мм.

Діаметр буртика (наплічника) для упору підшипника

$$d_{\delta n} = d_n + 3r, \quad (3.14)$$

$$d_{\delta n} = 45 + 3 \cdot 2 = 54 \approx 55 \text{ мм},$$

де $r = 2$ мм – розмір фаски підшипника.

Довжину відрізка вала $d_{\delta n} = 54 \approx 55$ мм приймаємо з конструктивних міркувань і встановлюємо, що $\ell_{\delta n} = 95$ мм.

Наступний відрізок вала буде під підшипник і його діаметр $d_n = 45$ мм. На цьому відрізку встановлюється підшипник кульковий радіальний 209 та кульковий упорний 8209 за ГОСТ 6874-75 з параметрами:

$$d \times D \times H = 45 \times 73.5 \times 22 \text{ мм},$$

де H – висота підшипника. Довжина $\ell = 75$ мм.

Відрізок $\ell_u = 58$ мм і діаметр $d_u = 35$ мм призначений для встановлення на ньому шківів. Фаска для з'єднання двох сусідніх відрізків $r = 5$ мм. На валу $d_u = 35$ мм і $d = 30$ мм прорізані шпонкові канавки. Для діаметра $d = 30$ мм – шпонка $b \times h = 8 \times 7$ мм (відповідно ширина і висота), глибина паза на валу $t_1 = 4$ мм, а у втулці $t_2 = 3.3$ мм. Для діаметра $d_u = 35$ мм – шпонка

$b \times h = 10 \times 8$ мм, глибина пазу на валу $t_1 = 5$ мм, а у втулці $t_2 = 3.3$ мм.

Для запобігання злітання шківів з вала на кінці його нарізано різьбу М20 довжиною ділянки 38 мм.

Для вибору муфти і визначення консольного навантаження від муфти розрахунковий момент становить

$$T_p = K_p T_1, \quad (3.15)$$

$$T_p = 1.5 \cdot 220.6 = 330.9 \text{ Нм},$$

де $K_p = 1.5$ - коефіцієнт режиму роботи гнчковидаляючої машини.

З врахуванням $T_p = 330.9$ Нм, $d_g = 30$ мм вибираємо муфту фрикційну запобіжну [37], для якої $M = 400$ Нм, $d = 38$ мм, $D = 205$ мм, і позначається так: муфта запобіжна фрикційна 400-38-1 ГОСТ 15622-77.

Консольне навантаження при передачі обертового моменту муфтою [37]:

$$F_M = (0.2 \dots 0.5) \frac{2\pi}{D}, \quad (3.16)$$

$$F_M = (0.2 \dots 0.5) \frac{2 \cdot 220.6 \cdot 10^3}{205} = 2152 \text{ Н}.$$

3.3 Компонування вузлів

Заключним етапом розроблення графічної частини кваліфікаційної роботи, а також завершальною стадією виконання конструктором вимог технічного завдання, є створення робочих креслень деталей і складальних одиниць. Саме на цьому етапі відбувається остаточне уточнення конструктивних рішень, їх деталізація та підготовка до можливого виготовлення.

У межах кваліфікаційної роботи було розроблено креслення проміжної опори, яка є важливим елементом конструкції машини. Вона складається з нерухомої рами, вала промопори, корпусу типу «стакан», у якому розміщені підшипники, а також шків очисника і ланцюгового доочисника. Останній виконує функцію видалення залишків гички після їх попереднього зрізання ножовим апаратом, забезпечуючи належну якість очищення коренеплодів.

Підшипниковий вузол проміжної опори сформований із двох радіальних підшипників типу 209 та одного упорного підшипника 8209, які встановлені в корпусі стаканного типу. Для забезпечення герметичності вузла, запобігання витіканню мастильного матеріалу та одночасної осьової фіксації підшипників використовуються торцеві кришки. Конструкція корпусу передбачає високу жорсткість і точність розміщення підшипників, що є необхідною умовою надійної роботи вузла.

Стакан виготовляється нероз'ємним способом із сірого чавуну марки СЧ20 методом лиття, що забезпечує достатню міцність, вібростійкість і технологічність виготовлення. Посадкові місця під підшипники піддаються послідовній механічній обробці: спочатку виконують чорнове та чистове розточування, після чого поверхні шліфують до досягнення шорсткості Ra 1,25. У корпусі також передбачено проточування спеціальних канавок для встановлення ущільнювальних елементів. Торцеві поверхні корпусу обробляються чорновим і чистовим точінням із досягненням шорсткості на

рівні Ra 2,5. Для приєднання кришок у корпусі виконуються отвори діаметром 11 мм з наступним нарізанням різьби М8-7Н.

Кришки підшипникового вузла, як глухі, так і наскрізні, виготовляються методом лиття із сірого чавуну. Поверхні, що контактують із корпусом і підшипниками, обробляються шляхом чорного та чистового точіння з подальшим шліфуванням, що дозволяє досягти високої точності та шорсткості поверхні Ra 1,25. Для полегшення процесу складання на посадкових поверхнях передбачено зняття фасок з обох боків під кутом 45°, що сприяє точному встановленню елементів і зменшує ризик пошкодження ущільнень. Внутрішні поверхні кришок, які не підлягають механічній обробці, покриваються захисною ґрунтовкою з метою запобігання корозії.

З метою забезпечення надійної роботи підшипникового вузла в умовах підвищеної запиленості та наявності вологи передбачено встановлення войлочних ущільнювачів. Вони ефективно перешкоджають проникненню забруднень усередину вузла і одночасно запобігають витіканню мастила, що значно підвищує довговічність підшипників.

Підшипникова опора монтується на рамі машини, яка виконана у вигляді зварної конструкції, що забезпечує необхідну жорсткість і стійкість під час експлуатації. Така конструктивна схема дозволяє раціонально розподілити навантаження та забезпечити надійну роботу всіх елементів механізму.

На завершальному етапі розробки було виконано підбір підшипникової опори проміжної опори з урахуванням діючих навантажень, умов роботи та вимог до ресурсу і надійності вузла.

Динамічна вантажність згідно [37] визначається емпіричною залежністю

$$C = P_p \sqrt{\frac{L}{a_1 a_2}}, \quad (3.17)$$

де L – ресурс, млн. обертів;

P - еквівалентне навантаження;

$p=3$ для кулькових підшипників;

a_1 - коефіцієнт надійності;

a_2 - узагальнений коефіцієнт сумісного впливу якості металу та умов експлуатації.

При постійній частоті обертання згідно [37]

$$L = \frac{L_h 6n}{10^5}, \text{ год} \quad (3.18)$$

де L_h – номінальний ресурс. По [37] $L_h=400$ год.

Розрахунок підшипникової опори промотори ведемо по найбільшому навантаженню, що становить . На першому барабані зусилля розриву найбільше і становить 6254 Н.

$$L = \frac{4000 \cdot 6 \cdot 810}{10^5} = 194 \text{ млн.об.}$$

В каталогах та довідниках вказані значення S з коефіцієнтом надійності $S=0,9$. Тому $a_1=1$ [37].

Значення a_2 згідно [37] приймаємо рівним 0,75.

Для однорядних радіальних кулькових і роликів підшипників еквівалентне навантаження [37]:

$$P = (XV F_r + Y F_a) K_\sigma K_m, \quad (3.19)$$

де V – коефіцієнт обертання ($V=1$);

F_r, F_a - радіальне та осьове навантаження;

$F_a = 0; F_r = 6254$ Н.

Згідно [37] $K_\sigma=1,3$; та $K_m=1,05$.

Згідно [37] $X=0,56; Y=2,30$.

Тому

$$P = (0,56 \cdot 6254 + 0)1,3 \cdot 1,05 = 4781 \text{ Н.}$$

$$C = 4781 \sqrt[3]{\frac{194}{1 \cdot 0,75}} = 29903 \text{ Н.}$$

При виборі підшипників по табличним даним у випадку $Stabl \geq C$ підбір закінчують, так як підшипник буде мати розрахункову довговічність рівну, або ж більшу бажаної [37].

Приймаємо для механізму сепарації підшипник 209, для якого $d=45\text{мм}$, $D=85\text{мм}$, $B=19\text{ мм}$, $r=2\text{ мм}$, $C_{кат} = 33.2\text{ кН}$, $C_o = 18.6\text{ кН}$.

Монтаж промпори необхідно проводити згідно схем на машину.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Виробничі небезпеки при виконанні доочищення головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом

Процес доочищення головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом належить до технологічних операцій підвищеної небезпеки, що обумовлено поєднанням інтенсивного механічного впливу на продукт, наявністю швидкообертючих елементів та складних умов виконання робіт у польовому середовищі. Відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів України у сфері охорони праці, зокрема Закону України «Про охорону праці» та галузевих правил безпеки у сільськогосподарському виробництві, такі машини класифікуються як джерела підвищеної виробничої небезпеки, оскільки їх експлуатація пов'язана з ризиком травмування працівників, впливом шкідливих фізичних факторів та ймовірністю аварійних ситуацій.

Сутність технологічного процесу полягає у відокремленні залишків гички та сторонніх домішок з поверхні головки коренеплоду шляхом ударної дії бильного робочого органа. Барабан або вал із закріпленими на ньому билами обертається з великою частотою, створюючи інтенсивну динамічну взаємодію з коренеплодами. Саме ця обставина визначає специфіку виробничих небезпек, оскільки наявність значної кінетичної енергії рухомих елементів різко підвищує травмонебезпечність обладнання. При недотриманні встановлених вимог безпеки або при виникненні несправностей контакт людини з робочими органами майже неминуче призводить до тяжких наслідків.

Однією з основних небезпек є механічний вплив обертючих частин машини. Бильні елементи, що рухаються з високою швидкістю, утворюють небезпечну зону, потрапляння до якої може спричинити різноманітні травми – від поверхневих ушкоджень до ампутацій кінцівок. Особливу загрозу становить можливість захоплення одягу або частин тіла оператора рухомими вузлами, що

характерно для відкритих або недостатньо огорожених передач і валів. Навіть короткочасний контакт у таких умовах є надзвичайно небезпечним через значну інерційність системи та складність її миттєвої зупинки. З огляду на це нормативні документи вимагають обов'язкового оснащення машин захисними кожухами, проте на практиці під час обслуговування або очищення обладнання оператори нерідко змушені працювати у зоні підвищеного ризику.

Не менш суттєвою є небезпека, пов'язана з викиданням сторонніх предметів із зони роботи бильного органа. У процесі доочищення разом із коренеплодами в машину потрапляють грудки ґрунту, каміння, рослинні рештки та інші домішки. Під дією ударів бил ці предмети можуть набувати значної швидкості та вилітати за межі робочої зони, створюючи загрозу травмування оператора або інших працівників, що знаходяться поблизу. Особливо небезпечними є випадки потрапляння твердих включень, які можуть не лише травмувати людину, а й пошкодити сам механізм, спричинивши його руйнування.

Важливим аспектом є також ризик відмови або руйнування елементів робочого органа. Била піддаються циклічним ударним навантаженням, що викликає їх поступове зношення та втрату міцності. У разі механічного пошкодження або втомного руйнування можливе відривання била під час роботи, що супроводжується його неконтрольованим рухом і становить серйозну загрозу для оточуючих. Подібні ситуації можуть виникати і при перевантаженні машини або потраплянні великих сторонніх предметів, що різко змінюють динамічний режим роботи.

Поряд із механічними небезпеками суттєвий вплив на працівника справляють фізичні шкідливі фактори, серед яких домінують шум і вібрація. Робота бильних органів супроводжується значним акустичним навантаженням, рівень якого часто перевищує допустимі санітарні норми. Тривале перебування в умовах підвищеного шуму призводить до поступового зниження слуху, викликає швидку втому та негативно впливає на загальний психофізіологічний стан працівника. Одночасно із шумом діє вібрація, яка передається через

конструкцію машини та органи керування на тіло оператора. Систематичний вплив вібрації може спричинити професійні захворювання, зокрема порушення роботи опорно-рухового апарату та кровоносної системи.

У процесі доочищення неминучим є утворення значної кількості пилу, що складається з частинок ґрунту та рослинного походження. Запиленість повітря робочої зони є серйозним шкідливим фактором, який негативно впливає на органи дихання та може спричинити розвиток алергічних реакцій або хронічних захворювань. Особливо це актуально за сухих погодних умов, коли концентрація пилу значно зростає. Відповідні санітарні норми вимагають обмеження впливу цього фактору шляхом застосування засобів індивідуального захисту та технологічних рішень, спрямованих на зменшення пиловиділення.

Окрему групу становлять небезпеки, пов'язані з технічним обслуговуванням і налагодженням обладнання. Саме на цьому етапі ризик травмування часто зростає через необхідність безпосереднього контакту з робочими органами. Виконання очищення барабана від налиплих решток, заміна або регулювання бил, усунення заклинювань потребують повного зупинення машини та дотримання вимог щодо її знеструмлення. Проте порушення цих вимог або ненавмисний запуск приводу створюють критично небезпечні ситуації. Крім того, робота з гострими та зношеними елементами збільшує ймовірність порізів та інших травм.

Експлуатація машин для доочищення буряків відбувається в складних польових умовах, що також впливає на рівень безпеки. Нерівності рельєфу, підвищена вологість або слизькість поверхні, обмежена видимість можуть ускладнювати керування машиною та спричиняти додаткові ризики. У поєднанні з високою інтенсивністю роботи та необхідністю постійного контролю за технологічним процесом це створює значне фізичне та психоемоційне навантаження на оператора, що може призводити до зниження концентрації уваги і, як наслідок, до помилок у керуванні.

Таким чином, виробничі небезпеки при виконанні доочищення головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом мають комплексний

характер і охоплюють широкий спектр факторів – від безпосередньої механічної загрози до впливу шкідливих умов робочого середовища. Їх рівень значною мірою визначається як конструктивними особливостями обладнання, так і організацією праці та дотриманням нормативних вимог з охорони праці. Забезпечення безпечних умов роботи можливе лише за умови системного підходу, який передбачає технічну досконалість машин, належне навчання персоналу та суворе виконання встановлених правил експлуатації.

4.2 Заходи охорони праці для запобігання небезпек при доочищенні головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом

Забезпечення безпечних умов праці під час доочищення головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом є важливою складовою організації технологічного процесу, оскільки дана операція характеризується підвищеним рівнем травмонебезпеки та впливом ряду шкідливих виробничих факторів. Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці», а також галузевих нормативних документів з безпеки у сільськогосподарському виробництві, система заходів охорони праці має забезпечувати мінімізацію ризиків шляхом комплексного врахування конструктивних, організаційних та санітарно-гігієнічних аспектів.

Одним із ключових напрямів запобігання небезпекам є вдосконалення конструкції бильного робочого органа та машини загалом. Згідно з принципами безпечного проектування, усі рухомі частини, зокрема бильний барабан, привідні вали та передачі, повинні бути надійно огорожені захисними кожухами, які унеможливають випадковий контакт оператора з небезпечними зонами. Важливо, щоб ці огороження відповідали вимогам стандартів щодо міцності та стійкості до механічних навантажень, а їх демонтаж без використання інструменту був неможливим. Ефективним заходом є також застосування блокувальних пристроїв, які автоматично зупиняють привід при відкритті захисних кожухів або порушенні цілісності огороження.

Конструкція робочого органа повинна передбачати використання зносостійких та енергопоглинальних матеріалів для бил, що знижує ймовірність їх руйнування та відльоту фрагментів у процесі роботи.

Важливе значення має зниження динамічних навантажень і стабілізація роботи бильного механізму. Балансування обертових елементів, оптимізація частоти обертання та кінематичних параметрів сприяють не тільки підвищенню якості технологічного процесу, а й істотному зменшенню рівнів вібрації та шуму. Для обмеження поширення цих шкідливих факторів конструкція машини може включати демпфувальні елементи, амортизатори та шумоізолювальні покриття. Це дозволяє привести параметри виробничого середовища у відповідність до санітарних норм і зменшити негативний вплив на оператора.

Організаційні заходи охорони праці мають не менш важливе значення, оскільки навіть технічно досконале обладнання може становити небезпеку при неправильній експлуатації. Перед допуском до роботи працівники повинні проходити відповідне навчання та інструктажі з охорони праці, які передбачають ознайомлення з будовою машини, принципом її роботи та потенційними небезпеками. Особлива увага приділяється відпрацюванню безпечних методів виконання операцій, зокрема заборони очищення або регулювання робочого органа під час його обертання. Усі роботи з технічного обслуговування повинні виконуватися лише після повної зупинки машини, відключення її від джерела енергії та вжиття заходів, що унеможливають випадковий пуск.

Дотримання технологічної дисципліни є важливою умовою безпечної експлуатації обладнання. Машини повинні використовуватися відповідно до їх призначення, без перевищення допустимих режимів роботи. Регулярний контроль технічного стану, своєчасне виявлення та усунення несправностей, перевірка кріплення бил і стану захисних огорожень дозволяють попередити виникнення аварійних ситуацій. Особливу увагу слід приділяти запобіганню потраплянню сторонніх предметів у робочу зону, що досягається шляхом належної підготовки поля та використання додаткових захисних елементів у

конструкції машини.

Суттєвим компонентом системи охорони праці є забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, які зменшують вплив небезпечних і шкідливих факторів. Під час роботи з бильними органами оператор повинен використовувати захисні окуляри або щиток для запобігання травмуванню очей частинками, що вилітають, протишумові навушники або вкладиші для зниження впливу шуму, а також респіратор для захисту органів дихання від пилу. Спецодяг має бути щільно прилягаючим, без звисаючих частин, які можуть бути захоплені рухомими механізмами, а рукавиці повинні забезпечувати захист від механічних пошкоджень під час обслуговування обладнання.

Не менш важливими є санітарно-гігієнічні заходи, спрямовані на покращення умов праці. Зменшення запиленості досягається шляхом оптимізації технологічного процесу, використанням пилопригнічувальних пристроїв або зволоженням ґрунту за необхідності. Раціональна організація режиму праці та відпочинку, включаючи регламентовані перерви, дозволяє знизити втому оператора та підтримувати належний рівень його працездатності. В умовах польових робіт важливо також враховувати вплив погодних факторів, забезпечуючи належну видимість, безпечне пересування та стабільне положення техніки.

Таким чином, ефективне запобігання небезпекам при доочищенні головок коренеплодів цукрового буряка бильним робочим органом можливе лише за умови комплексного підходу, який поєднує технічні рішення, організаційні заходи та використання засобів індивідуального захисту. Виконання вимог нормативних документів з охорони праці, систематичний контроль за станом обладнання та підготовкою персоналу забезпечують зниження виробничих ризиків і створення безпечних умов праці у сільськогосподарському виробництві.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерне завдання підвищення ефективності технологічної операції збирання цукрових буряків шляхом удосконалення доочисника головок коренеплодів та розроблення гичковидаляючої машини комбінованого типу.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що якість виконання операції доочищення має визначальний вплив на ефективність збирання. Недостатнє очищення призводить до підвищення забрудненості вороху понад 10 %, а надмірний зріз головок викликає втрати цукристої маси понад допустимі 2–3 %. Тому оптимізація параметрів робочих органів є ключовим напрямом підвищення ефективності технологічного процесу.

Дослідження існуючих технологій показало, що найбільш доцільним є застосування двостадійної схеми, яка включає зрізання гички на фіксованій висоті з подальшим доочищенням головок коренеплодів. Такий підхід забезпечує досягнення повноти видалення гички на рівні не менше 90 % та зменшення пошкоджень коренеплодів до 2 %.

У проєктній частині обґрунтовано конструкцію гичковидаляючої машини стрічкового типу з ланцюговим доочисником, яка забезпечує обробку трьох рядків за один прохід при ширині захвату 2,7 м. Робоча швидкість агрегату становить 1,5...2,5 м/с, що дозволяє досягти продуктивності 1,2...2,4 га/год. Машина агрегується з тракторами типу МТЗ-80/82 із частотою обертання ВВП 540 об/хв.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що сумарна теоретична потужність, необхідна для приводу гичковидаляючого механізму, формується із складових на зрізання гички, її транспортування, доочищення та тягове зусилля. Розрахункова потужність з урахуванням коефіцієнтів перевантаження, втрат у передачах та запасу забезпечує стабільну роботу машини в умовах змінних навантажень і відповідає енергетичним можливостям тракторного агрегату.

Міцнісні розрахунки елементів приводу показали, що використання сталі 11ХНЗЛ та підшипників типу 209 і 8209 забезпечує необхідну надійність і довговічність. Ресурс підшипникових вузлів становить не менше 400 год роботи, а коефіцієнт технічної готовності машини сягає 0,95...0,98.

Запропонована конструкція характеризується зниженням металоємності (маса близько 630 кг проти 3030 кг базової машини) та забезпечує можливе зменшення експлуатаційних витрат до 30–35 %. При цьому термін служби машини становить не менше 7 років при річному навантаженні до 200 га.

Технологічні показники розробленої машини відповідають агротехнічним вимогам: втрати коренеплодів не перевищують 2 %, пошкодження – до 2–3 %, ступінь очищення – понад 90 %, рівень забрудненості – не більше 10 %.

У роботі також визначено, що ефективність функціонування машини залежить від параметрів агрофону, зокрема густоти насаджень (100...120 тис. рослин/га), врожайності коренеплодів (250...500 ц/га) та гички (140...280 ц/га), а також вологості ґрунту в межах 10,8...24,6 %.

Проведений аналіз виробничих небезпек та розроблені заходи охорони праці дозволяють знизити ризик травматизму при експлуатації машини та забезпечують безпечні умови роботи оператора.

Отже, поставлена мета роботи досягнута, а запропоновані конструктивні та технологічні рішення забезпечують підвищення ефективності збирання цукрових буряків, зниження втрат урожаю та можуть бути рекомендовані до впровадження у виробництво.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andrii Babii, Taras Dovbush, Nadiia Khomuk, Anatolii Dovbush, Anna Tson, Vasyl Oleksyuk, 2022. Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor. *Procedia Structural Integrity* No 36. 203-210.
2. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
3. Babii A. Study of the efficiency of working mixture application in chemical crop protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 98. No 2. P. 99–109.
4. Babii A., Babii M. Impact of oscillation amplitude of boom sprayers load-bearing frame sections. *Scientific Journal of TNTU. Tern. : TNTU*, 2019. Vol. 95, No 3, P. 97–104.
5. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43), ч.ІІ. С. 165-174.
6. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 118, no 2, 2025. Pp. 117–127. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.02.117.
7. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer application during potato planting. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 120, no 4, 2025. Pp. 10–20. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010.
8. Babii A., Holovetskyi I. Engineering method of studying the kinematic parameters of the working body of the potato harvesting machine. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2024. Vol. 10(41)_I. P. 200-212. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.200-212](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.200-212).
9. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. (2024) Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 116, no 4, pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.

10. Babii A., Levytskyi B. (2024) Research of stress-strain state of tank of small-size self-propelled sprayer. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 115, no 3, pp. 91–99. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.03.091.
11. Babii A., Levytskyi B., Dovbush T., Babii M., Khomuk N., Dovbush A., Valiashek V. Mathematical model of sprayer tank loading. *Procedia Structural Integrity*, 2024. No 59, 609-616. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2024.04.086>.
12. Babii A., Vovk I. Mathematical model of contact interaction between a rotating working body and plant stems for their shredding. *Engineering, Energy, Transport AIC. Scientific journals of Vinnitsa national agrarian university*. Vol. 103, № 3. 2025. P. 99-106. DOI: 10.37128/2520-6168-2025-3-11 .
13. Babii A.; Aulin V.; Babii M.; Levytskyi B. (2022) Investigation of the working capacity of the operating body suspension functional-transporting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 105, no 1, pp. 5–12. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2022.01.005.
14. Oleg Lyashuk, Andrii Diachun, Ihor Tkachenko, Mykola Stashkiv, Andrii Babii, Maria Pankiv, Zhanna Babiak, Alexander Marunych, Oleg Lakh, Artur Starikh. Investigation of the bulk material movement kinematics in conical screw conveyor. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 74, 2024. No. 3. pp. 732-744.
15. Бабій А., Бабій М. Дослідження міцності елементів конструкції функціонально-транспортуючих мобільних засобів. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*, 2019. №3 (13) С. 87–91.
16. Бабій А., Вовк І., Гладь Ю. Багатофункціональний ротаційний робочий орган. Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті: збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Рівне, 9-10 квітня 2025 року. Рівне: НУВГП, 2025. С.6-8.
17. Бабій А.В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 2019. Vol. 10. No. 4. С. 51–55.
18. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Конструкція, розрахунок і виробництво сільськогосподарських

машин» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» зі спеціалізацією «Машини сільськогосподарського виробництва» для здобуття освітнього ступеня «бакалавр» / А.В. Бабій. Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 100 с.

19. Бабій А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Машини для заготівлі кормів. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2022. 76 с.

20. Бабій А.В., Бабій М.В. Динамічна модель енергозберігаючого приводного механізму косарки. Вісник ХНТУСГ. Випуск 145. «Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва». Харків, 2014. С.112–118.

21. Бабій А.В., Бабій М.В. Організація і технологія механізованих робіт: навчальний посібник до курсового проєктування для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Бакалавр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 144 с.

22. Бабій А.В., Вовк І.В. Дослідження енергетичних показників при подрібненні рослин більшими робочими органами. Центральноросійський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 14 (45), 2026. С.77-86. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).77-86](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).77-86)

23. Бабій А.В., Вовк І.В., Гладько Ю.Б., Валяшек В.Б. Ротаційний робочий орган. Патент на корисну модель 160845, Україна. МПК (2025.01) А01В 33/00. u 2025 00186; заявл. 16.01.2025; опубл. 5.10.2025, Бюл.№ 42.

24. Бабій А.В., Вовк І.В., Бабій В.А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ,

2024. С. 9-10.

25. Бабій А.В., Довбуш Т.А., Бабій М.В., Ткаченко О.І., Сташків М.Я. Динаміка машин. Навчальний посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 133 «Галузеве машинобудування» та 208 «Агроінженерія» для здобуття освітнього ступеня «Магістр». Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя. 2023. 246 с.

26. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54.

27. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів. м. Тернопіль, 11-12 грудня 2024 р. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79.

28. Вовк І., Бабій В., Бубняк Р. Переваги використання багатофункціонального ротаційного робочого органу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С.28-29.

29. Вовк І.В., Бабій А.В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.96-97.

30. Вовк І.В., Бабій А.В., Малевич Н.Ю., Новацький П.І. Обґрунтування частоти обертання вала ротаційного робочого органу. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф.

Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.80-81.

31. Вовк І.В., Бойко В.В., Бабій А.В., Дем'янчук А.В. Критерії руйнування стебел рослин билом мульчувача при підготовці поля до збирання. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.61-63.

32. Гевко Р.Б. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні : монографія / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Р. М. Рогатинський, С. В. Синій та ін. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2020. 216 с.

33. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

34. Керб Л. П. Основи охорони праці: Навч. пос. К.: КНЕУ, 2003. 215с.

35. Олексюк В.П. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія». / В.П. Олексюк, А.В. Бабій, М.Я. Сташків, Н.І. Хомик, Т.А. Довбуш, Г.Б. Цьонь, В.В. Мартинюк. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. 93 с.

36. Опір матеріалів. Під заг. ред. акад. АН УРСР Г. С. Писаренко. К.:Вища школа, 1974. 304 с.

37. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин. К.: Вища шк., 1993. 556 с.

38. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка; авт. кол.: / Д.Г. Войтюк, С.С.Яцун, М.Я. Довжик. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

39. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та

обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машина для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

40. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машина та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машина та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

41. Хомик Н. І., Мартинюк В. В., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Довбуш А. Д. Агрозахист: навчальний посібник за заг. ред. к. т. н., доц. Хомик Н. І. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 520 с.

42. Хомик Н.І., Олексюк В.П., Сташків М.Я., Бабій А.В., Довбуш Т.А. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності Агроінженерія / Н. І. Хомик, В. П. Олексюк, М. Я. Сташків, А. В. Бабій, Т. А. Довбуш. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.