

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.356:491

НУБІП України

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Сільськогосподарських машин
та системотехніки
ім. акад. П.М. Василенка

В. Братішко
(підпис)

Гуменюк Ю.О.
(ПБ)
(підпис)

“ ” 2022 р. “ ” 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Дослідження параметрів роботи роторного картоплекопача»

НУБІП України

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

НУБІП України

Гарант освітньої програми:

Доктор технічних наук, с.н.с

В.В. Братішко

НУБІП України

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

Д. с.-г. н., професор

Теслюк В.В.

Виконав

Войтович С.С.

НУБІП України

КМІВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.356:491

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Сільськогосподарських машин та
системотехніки

ім акад. П.М. Василенка

к.т.н., доцент _____ Гуменюк Ю.О.

“ ____ ” _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Войтовичу Сергію Сергійовичу

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма: «Агроінженерія»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської роботи: «Дослідження параметрів роботи роторного картоплекопача»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «21» грудня 2021 р. № 2218 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру «25» жовтня 2022 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: Первинні документи базового господарства, техніко-технологічні процеси вирощування картоплі, наукові й довідникові джерела, результати досліджень за темою.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Основні вимоги до розроблюваного картоплекопача і умови його експлуатації.
2. Обґрунтування параметрів розроблюваного картоплекопача і конструкції роторного сепаратора.
3. Обґрунтування до побудови схем картоплекопача.
4. Дослідження параметрів об'єкту розробки.
5. Визначення економічної ефективності застосування роторного картоплекопача.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2022 р.

Керівник магістерської роботи

Геслюк В.В.

Завдання прийняв до виконання

Войтович С.С.

НУБІП України

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Магістерська робота вміщує вступ, розрахунково-пояснювальну записку - 5 розділів, висновків, списку використаних джерел 51 назву 16 слайдів презентації. Основний зміст магістерської роботи викладений на 83 сторінках машинописного тексту, містить 11 рисунків і 8 таблиць.

НУБІП України

Магістерська робота присвячена вдосконаленню технологічного процесу викопування картоплі.

НУБІП України

У першому розділі наведено основні вимоги до розроблюваного картоплекопача і умови його експлуатації.

У другому розділі наведено обґрунтування параметрів розроблюваного картоплекопача і конструкції роторного сепаратора.

НУБІП України

У третьому розділі наведено обґрунтування до побудови схем картоплекопача.

У четвертому розділі наведено опис проведення дослідження параметрів об'єкту розробки.

НУБІП України

У п'ятому розділі наведено розрахунки економічної ефективності розробки.

Використання розробленого копача коренебульбоплодів картоплі дозволить підвищити ефективність вирощування бульб картоплі за рахунок виключення ручної праці для очищення бульбоплодів від бадилля картоплиння.

НУБІП України

Одержані результати можуть бути використані спеціалістами СКБ для подальшого удосконалення коренезбиральних машин.

Ключові слова: ЗБИРАННЯ, КАРТОПЛЕКОПАЧ, ОПЕРАЦІЯ, ЛЕМІЩ, РОТОР, СЕПАРАТОР, ВОРОХ, ГРУНТ, БУЛЬБОПЛОДИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

НУБІП України

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОВОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА І УМОВИ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	8
1.1. Характеристика картоплекопача і вихідні вимоги.....	8
1.2. Властивості оброблюваного матеріалу.....	10
1.3. Аналіз конструктивно-технологічних схем основних машин картоплекопачів.....	14
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЮВАНОВОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА І КОНСТРУКЦІЇ РОТОРНОГО СЕПАРАТОРА.....	18
2.1. Обґрунтування доцільності застосування розробки.....	18
2.2. Технологічний розрахунок.....	21
2.3. Конструктивний розрахунок.....	22
2.4. Визначення сил опору повороту ротора.....	28
2.5. Енергетичний розрахунок.....	35
2.6. Визначення діаметра вала ротора.....	36
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ДО ПОБУДОВИ СХЕМ КАРТОПЛЕКОПАЧА..	38
3.1. Обґрунтування функціональної схеми.....	38
3.2. Обґрунтування кінематичної схеми.....	39
3.3. Обґрунтування принципіальної схеми.....	39
РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ.....	40
4.1. Дослідження умов руху бульбоносного вороху на коливній поверхні.....	40
4.2. Дослідження руху бульби при поперечних коливаннях елеватора.....	52
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	61
5.1. Доцільність та значення впровадження розроблюваного картоплекопача.....	61
5.2. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.....	61
5.3. Визначення економічної ефективності застосування розроблюваного картоплекопача.....	63
5.4. Визначення ціни розроблюваного роторного сепаратора.....	64

5.5. Визначення економічної ефективності застосування розроблюваного
роторного сепаратора.....

66

ВИСНОВКИ.....

75

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

77

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

НУБІП України

Картопля відіграє значну роль у задоволенні потреб населення України у харчовій та промисловій сировині. Картоплекопач КСТ-1,4 широко застосовується для його розкопок в Україні [1]. Аналіз його структурно-технологічної схеми показує, що він має один серйозний недолік - під час відділення бульб від відвалу в елеваторі відбувається підйом з елеваторної частини цілісного ґрунту бульбами, які падають на поверхню і посипаються, що призводить до різкого збільшення втрат врожаю. Ще одним недоліком є те, що такий картоплекопач викопує всю масу ґрунту по ширині ряду і подає на сепарацію, що знижує продуктивність сепаратора. Крім того, такий картоплекопач скидає викопану картоплю смугою 1,2 м, а отже, він має високі металоємності та енергоспоживання.

Слід зазначити, що після реформування аграрного сектору країни, визначення економічно доцільної спеціалізації, в т.ч. зокрема розпаду великих господарств та утворення на їх основі дрібних фермерських господарств та індивідуальних фермерських господарств, основний центр виробництва картоплі перемістився до особистих фермерських господарств, де основні площі вирощування картоплі знаходяться в межах 30 ... 50 га.

Але в цих господарствах виникла нова проблема - відсутність технічних засобів для збирання картоплі. Практика показує, що в невеликих господарствах картоплю копають напівмеханізованим способом, що включає оранку рядів та відбір бульб. Однак цей спосіб малопродуктивний, оскільки можна орати лише через один ряд, інакше сусідні ряди посипаються.

Отже, виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що існує необхідність розробити принципово нову конструкцію механічного копача картоплі, який не мав би цих недоліків і забезпечував би зменшення витрати матеріалів на 25 ... 30, а енергоспоживання на 30 ... 35%. Крім того, новий картоплекопач повинен забезпечити укладання бульб на ширину машини, і покласти їх в один рядок. Тому магістерська робота спрямована на розробку

НУБІП України

дворядного механічного копача бульб картоплі, що приводиться в дію валом відбору потужності трактора.

Аналіз технічних засобів, призначених для викопування бульб картоплі, показав, що є шлях для їх подальшого вдосконалення та розробки принципово нової конструкції картоплекопача.

У зв'язку з тим, що розроблений картоплекопач належить до класу спеціалізованих машин, оскільки вона призначена для викопування бульб з двох рядів, дипломний проект обґрунтував основні структурно-кінематичні параметри картоплекопача, визначив споживання енергії на її привід і тим самим довів, що цей картоплекопач може забезпечити якісне викопування картоплі.

У дипломному проекті, зокрема, була розроблена нова конструкція роторного сепаратора, яка значно зменшує матеріаломісткість та енерговитрати картоплекопалки, а використання її у господарствах дозволяє механізувати процес копання бульб картоплі, скоротити час та зменшити кількість матеріалу та фінансові втрати.

- **Мета дослідження:** підвищення ефективності збирання картоплі шляхом розробки та обґрунтування роторного сепаратора.
- **Об'єкт дослідження:** технологічний процес викопування і сепарації картоплі, робочі органи роторного сепаратора.
- **Предмет дослідження:** конструктивно-кінематичні параметри картоплекопача, пошкодження картоплі.
- **Задачі дослідження:**

1. На основі аналізу роботи картоплекопача КСТ-1,4 розробити конструктивно-технологічну схему удосконаленого робочого органу.

2. Визначити основні конструктивно-кінематичні параметри робочого органу на основі аналізу силової взаємодії роторного сепаратора з картоплею.

3. Експериментально визначити пошкодження картоплі залежно від їх швидкості ударної взаємодії з різними поверхнями.

4. Визначити економічну ефективність використання робочого органу.

РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА І УМОВИ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ

НУВБІП України

1.1. Характеристика картоплекопача і вихідні вимоги

Для виконання бульби картоплі в господарствах України широко представлений картоплекопач КСТ-1,4 [1]. Аналіз його конструктивно-технологічної схеми показує, що він задовольняє виконання технологічного процесу, але виявлено суттєвий недолік, який потребує удосконалення, а саме: під час відокремлення бульби від воріт на елеваторі, що виникає з елементарних частин непорушеного складу разом з бульбами, які падають на поверхню полів і припадають до бадилля, внаслідок чого виявлена втрата врожаю. Недоліком є ще те, що такий картоплекопач підкопує всю рослинну масу з ґрунтом по ширині захвату і глибині ходу робочого органу і подає її на сепарацію, що призводить до зменшення продуктивності сепаратора. Крім цього за рахунок ширини такого картоплекопача, конвеєр скидає викопану картоплю смугою 1,2 м, а тому він має високу метало- та енергоємність.

Отже, на основі викладеного можна зробити висновок, що забезпечує потребу розробити принципово нову конструкцію картоплекопача, який не мав зазначених недоліків та забезпечував зменшення матеріаломісткості на 25...30, а енерговитрат на 30...35%. Крім цього нового картоплекопача потрібно створити склад бульби як за шириною захоплення машини, так і вклавши їх один валок.

Розроблюваний картоплекопач передбачено Системою машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва на 2021-2022 р.р., ч. I. Рослинництво. Позиція Р. 61.36. [2].

Картоплекопач використовується у всіх кліматичних зонах України, а також країн ближнього та далекого зарубіжжя. Агротехнічними вимогами до технологічного процесу передбачено:

1. Картоплекопач повинен викопувати картоплю, висаджену гребневим методом або гладким способом з міжряддями в межах 60...70 см на легких та

НУВБІП України

середніх ґрунтах з відносною вологістю 12 ... 24% та на важких вологих ґрунтах з передзбиральною вологістю до 30%.

2. Підготовка придатності поля для роботи картоплезбирального комбайна вимагає відсутність великих каменів (більше 50 мм) із загальною вагою в орному шарі до 8 т / га з попередньо зібраними на поверхні поля рослинних залишків до 6 т / га, в т.ч. бур'яни - до 1,5 т / га.

3. Експлуатується картоплекопальний агрегат з тракторами класу 1,4 т с, тобто марок Т-40, МТЗ-80, 82 і Т-70С з вузькими коліями. Вибір МТА Машино-тракторного агрегату визначається механічним складом ґрунту, його вологістю, твердістю, засміченістю поля рослинними та іншими домішками.

4. Піднімання та опускання картоплекопального агрегату здійснюється за допомогою гідравлічної системи трактора як під час руху агрегату, так і при його зупинці.

5. Агровимогами встановлено, що картоплекопач повинен викопувати бульби на глибині їх залягання до 22 см і ширині підірваного мосту до 40 см.

6. Картоплекопач повинен забезпечити якісне відділення бульб та інвестувати на поверхню не менше 95%. Втрата бульб масою до 20 г не враховується. Ширина смуги бульб не повинна перевищувати 0,5 м, а товщина смуги - 0,1 м.

7. Під час роботи картоплекопальки може бути пошкоджено до 3% бульб (за вагою). Пошкоджені подрібнюють або ріжуть, або обрізають бульби, або мають тріщини в хорді до 2 мм. Пошкодженими є також ті бульби, які порвались і потемніли від ударів м'якоттю глибиною до 5 мм або очищеною шкіркою площею щонайменше менше від загальної поверхні бульби.

8. Леміш повинен забезпечувати рівномірну глибину ходу з відхиленням не більше 2 см від заданого значення.

9. Ротаційний сепаратор повинен просіяти всю дрібну фракцію під час обертання, залишаючи на доп'ятах великі грудочки та рослинний сміття.

10. Опорні колеса не повинні травмувати бульби в рядах картоплі.

1.2. Властивості оброблюваного матеріалу

Картопля - це культура середньої смуги. На нього негативно впливають високі температури та сухе повітря, але за допомогою відповідних агротехнічних методів його вирощують у всіх кліматичних зонах.

Бадилля гине при температурі -1°C , а бульби замерзають при $-1...-2^{\circ}\text{C}$. Мінімальна температура для проростання картоплі становить $5-7^{\circ}\text{C}$, але за таких умов вона проростає дуже повільно, і бульби часто вражаються грибковими захворюваннями [3].

На вибір типу, конструкції та параметрів викопування та розділення робочих органів картоплезбиральних комбайнів впливає розміщення картоплі в ґрунті, форма та розміри бульб, фізико-механічні властивості бульб та бадилля. Але всі ці властивості бульб картоплі не є постійними. Вони можуть варіюватися залежно від сорту картоплі, глибини та прямолінійності посадки, а також техніки сільськогосподарського догляду та ґрунтово-кліматичних умов її вирощування.

У більшості випадків картопля садять з міжряддям 70 см і відстанню між бульбами в ряду близько 30 см. Ця схема посадки забезпечує не менше 50 тис.

Кущів на 1 га. Бульби картоплі мають форму, характерну для кожного сорту. Встановлено [3], що великі круглі бульби легше відокремлювати від ґрунту під час поділу. Розмір бульб пов'язаний із кількістю бульб у гнізді, яка залежить від сорту.

Розмір і форма бульб також залежать від урожайності, температури та водних режимів протягом вегетації, типу ґрунту та інших факторів. Встановлено, що чим вищий урожай, тим більші бульби. Середнє значення розміру і ваги бульб наведено в табл. 1/1.

Просівні робочі органи картоплезбиральних комбайнів, як правило, мають поздовжні просвіти (тріщини) і відокремлені бульби від ґрунту за товщиною.

Тому при встановленні того чи іншого просвіту необхідно враховувати масу бульби, яка буде проходити через просвіт (щілину).

Таблиця 1.1

Середнє значення розмірів і маси бульб різних сортів

Показник	Сорт і значення показників				
	Прикульський	Північна роза	Лорх	Передовик	Берліхінген
Число бульби на кущі	7,9	7,7	13,9	13,1	9,7
Розміри, мм					
- довжина	60,7	63,3	49,4	50,5	59,3
- ширина	52,1	45,7	41,4	37,7	44,2
- товщина	43,5	36,9	34,2	32,7	37,2
Маса, г	92,2	70,7	48,1	47,9	67,1
Урожайність, ц/га	220	162,1	213	208,4	206,6

При підвищенні врожайності число бульби в кущі, як правило, не змінюється, а збільшується їхня середня маса. Насипна щільність бульб картоплі залежить від їхньої крупності в середньому складає 648 кг/м^3 . Щільність бульб коливається в порівняно невеликих межах – $1,04-1,09 \text{ г/см}^3$ в залежності від крупності і сорту, табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Щільність бульб різних сортів картоплі

Сорт	Середня маса бульби, г	Щільність, г/см^3		
		середня	найменша	найбільша
Лорх	59,0	1,071	1,040	1,090
Епран	55,6	1,068	1,050	1,090
Берліхінген	57,6	1,074	1,040	1,090

Проте при проектуванні робочих органів картоплекопачів необхідно враховувати такі фізико-механічні властивості картоплі, як коефіцієнт тертя бульб, їх пружні властивості та зусилля роздавлювання.

Академік В.П. Горячкін встановив три характерних види тертя картоплі: тертя ковзання, тертя кочення і тертя перевертання. Тертя перевертанням відрізняється від тертя кочення тим, що трансфер бульби картоплі під дією рушійної сили проходить вздовж великої осі (довжини) бульби [3]. Але це тертя є нестійким. Значення коефіцієнтів тертя для трьох видів наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнтів тертя бульб по різних поверхнях

Матеріал поверхні	Коефіцієнт тертя		
	Кочення	Перевертання	Ковзання
Гума	0,35-0,37	0,43-0,53	0,70-0,75
Стальний лист	0,32-0,36	0,37-0,45	0,58-0,69
Прогумована стрічка	0,37-0,40	0,50-0,54	0,60-0,78
Поліетилен	-	-	0,40-0,42
Ґрунт	-	-	0,98-1,03

Коефіцієнт тертя кочення бульби по бульбі картоплі складає 0,5...0,6, а тертя ковзання бульб – 0,8.

Особливо важливим при проектуванні сепаратора є врахування міцності бульб. При стиску або ударі бульба може пошкоджуватись. Відомо, що в міру дозрівання бульб і відповідно зменшення вологості вона стає міцнішою. Встановлено [3], що крупніші бульби значно міцніші від малих. При цьому їх міцність залежить від напрямку прикладання сил і сорту. Проте повне руйнування бульби при динамічному ударі об металеву поверхню настає за швидкості співударяння більше 10 м/с, а при швидкості співудару менше 3 м/с пошкоджень

бульб не спостерігається. Значення зусиль роздавлювання бульб наведено в табл. 1.4.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 1.4

Зусилля роздавлювання бульб

Розмір бульб, мм	Сорт					
	Дорх	Епран		Бердхінген		
	Середня маса бульби, г	Середня маса бульби, г	Середня маса бульби, г	Середня маса бульби, г	Середня маса бульби, г	Середня маса бульби, г
	Зусилля, Н					
	Зусилля прикладене по довжині бульби					
50-59	68,8	706,1	73,5	631,6	71,1	603
60-69	96,8	804,2	109,6	702,1	87,2	618,1
	Зусилля прикладене по ширині бульби					
40-49	73	764,9	51,1	574,6	70,3	587,4
50-59	88,5	810,9	78	643,2	74,4	637,4
	Зусилля прикладене по товщині бульби					
40-49	96	836,6	85	720,7	87	627,6
50-59	136	869,8	136	810,9	107	627,6

Систематизовано техніко-технологічну схему операції викопування

картоплі та властивостей матеріалу (рис 1.1.).

НУБІП УКРАЇНИ

НУБІП УКРАЇНИ

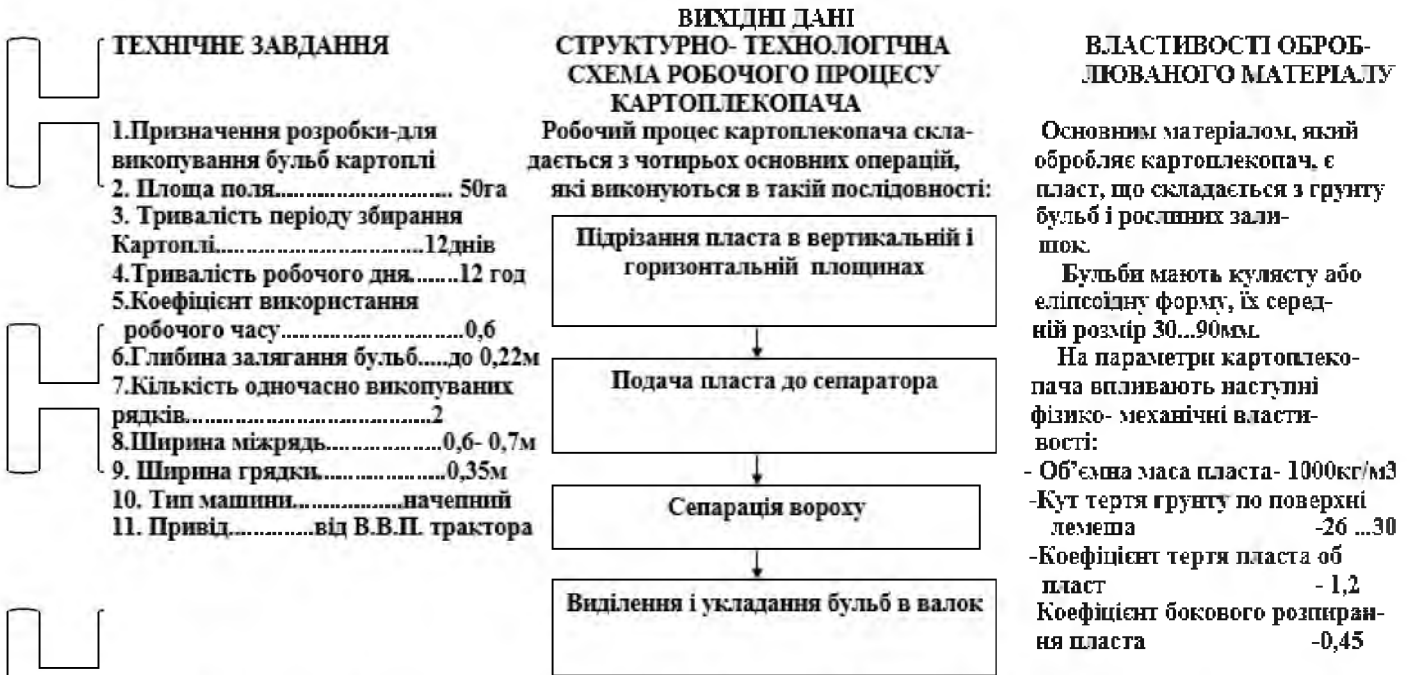


Рис.1.1. Техніко-технологічна схема операції викопування картоплі та властивості оброблюваного матеріалу.

1.3. Аналіз конструктивно-технологічних схем основних машин картоплекопачів

1.3.1 Аналіз машин-аналогів

Для механізованого збирання картоплі розроблено ряд картоплезбиральних машин і знарядь.

Одним з представників найпростіших знарядь є копач, представлений на рис.

1.2. а. Він підкопує рядки картоплі, руйнує зв'язок кущів з ґрунтом і частково виорує бульби на поверхню поля. Копачі агрегатують з садово-городніми тракторами і мотоблоками.

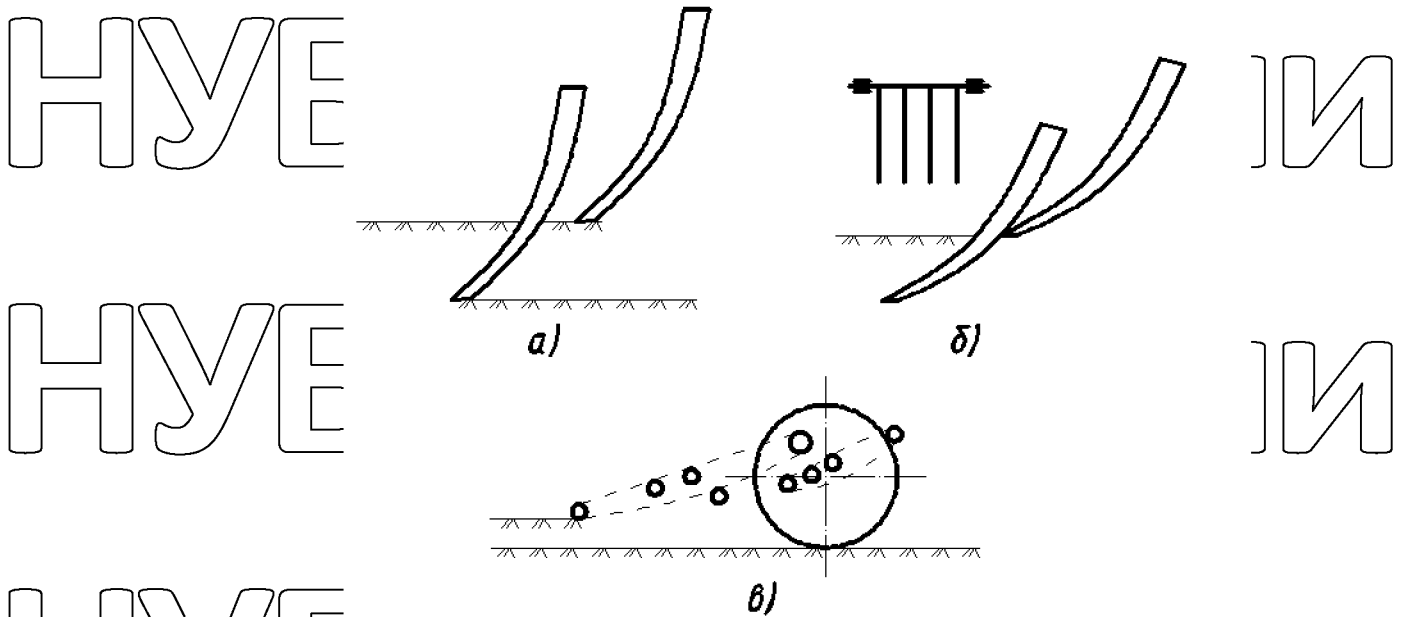


Рис 1.2. Конструктивні схеми копачів-підкопувачів:
 а - копач-підкопувач
 б - копачі кидального (роторного) типу
 в - картоплекопачі елеваторного типу

Підкопувальним робочим органом служить двох пальцевий корпус (типу корпус огортала). При роботі корпус проходить посередині рядка, розкриває його на дві сторони. Затрати праці на підбір бульб після їх підкопування копачем становлять 190-250 люд-год/га. Втрати в ґрунті сягають 30% [3].

Деяко складнішу будову мають копачі кидального (роторного) типу, рис. 1.2. б. Вони викопують куші і розкидають бульби і ґрунт з рядка на бік, перпендикулярно руху копача на відстань за 3,5 м. Картоплекопачі кидального типу випускають, як правило, однорядні, начіпні на трактор [1].

Технологічний процес здійснюється наступним чином. При русі копача леміш підрізає ґрунтовий пласт, який в момент сходу з лемеша подрібнюється і розкладається на поверхню поля гребінками ротора, що обертається. Після проходу копача утворюється смуга шириною 1,5...3 м, на поверхні якої розміщується основна маса бульб. Бригаду підбирачів в кількості 13...18 чол. розміщують так, щоб кожен підбирач мав ділянку довжиною 15...25 м.

Недоліками копачів кидального типу є великі втрати картоплі (число присипаних бульб ґрунтом сягає 25%), необхідність підбору бульб відразу після проходу копача, а також підвищене пошкодження бульб, особливо під час роботи на сухому ґрунті. Затрати праці на підбір бульб після копачів кидального типу на 20...25% вищі, ніж після картоплекопачів просіювального типу.

До переваг копачів кидального типу відноситься можливість їх використання на ґрунтах підвищеної вологості та засміченості дрібним камінням.

Картоплекопачі просіювального типу (рис. 26) [1] підкопують рядки і переміщують під копальний пласт на сепаруючі робочі органи. Сепаруючі робочі органи найчастіше застосовують двох типів – пруткові елеватори (картоплекопачі ТЕК-2, КТН-2В, КТН-2, КСТ-1,4 (рис. 1.3.)) і коливальні (картоплекопачі КТ-2 і КВН-2М). У деяких конструкціях кулачкові та роликіві екрани також використовуються як розділювальні робочі органи.

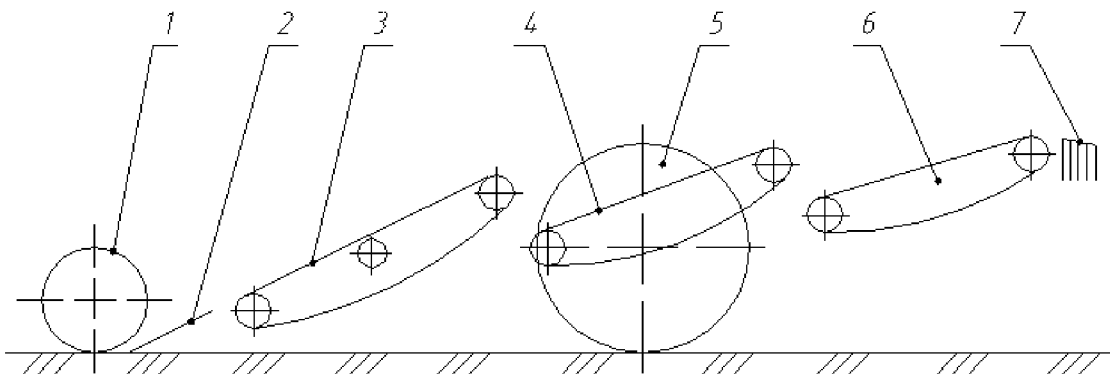


Рисунок 1.3 – Схема технологічна картоплекопача КСТ-1,4:

1 – копіювальне-регульовальне колесо; 2 – підкопувальні леміші (активні); 3 –

елеваторний сепаратор швидкісний; 4 – елеватор-сепаратор основний; 5 – опорні

колеса; 6 – елеватор-сепаратор каскадний; 7 – звужувальні грабдини

Технологічний процес у цих машинах такий. Викопаний шар разом з картопляними кущами потрапляє в елеватор (екран), ґрунт просіюється через щілини між прутами, бульбами, бадиллям і залишки земляних продуктів скидаються за машину на поверхню поля. Потім бульби відбирають робітники. Для роботи в більш складних умовах у картоплекопачах встановлюють 2-3 барні елеватори

(КСТ-1,4), а також оснащують їх загонщиками, розпушувачами та роздільними градами.

Витрати праці на відбір бульб після просівання картоплі становлять 70... 130 людино-годин / га, залежно від культури та ґрунту та кліматичних умов.

Таким чином, на основі аналізу конструкцій аналогічних машин можна зробити висновок, що жодна з них не відповідає повністю агрономічним вимогам.

Єдині зазначені в них недоліки можна усунути, створивши принципово нову конструкцію картоплевикопувальної машини. Одним із варіантів найбільш оптимальної конструкції картоплевикопувальної машини з точки зору зменшення його матеріалу, енергії та підвищення якості просівання картоплі та придатності роботи на вологих та важких ґрунтах може бути схема роторного (метального) копача-сепаратора для збирання картоплі з віссю попереку рядів (рис. 1.4.)

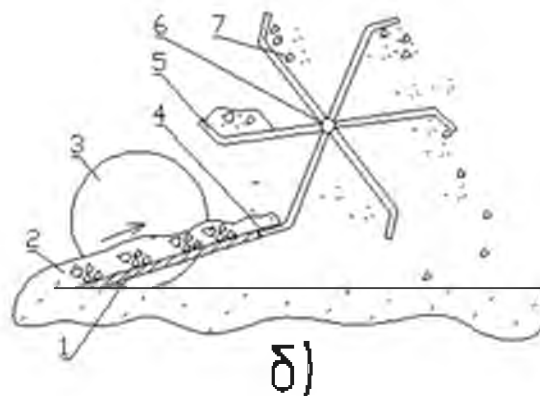
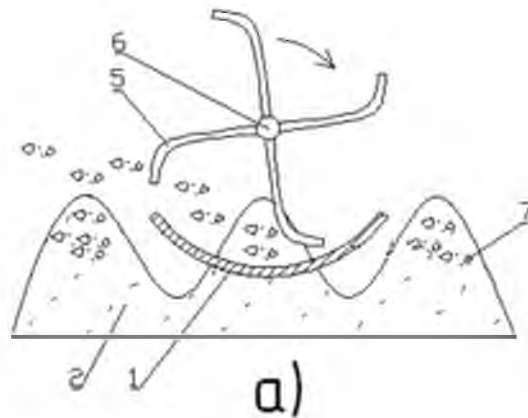


Рис. 1.4. Функціональні схеми роторних картоплекопачів

а) базовий варіант; б) новий варіант

1-леміш, 2-пласт, 3-ніж дисковий, 4-прорізь, 5-палець лопаті, 6-вал, 7-бульба

НУБІП України

Таке розташування ротора забезпечить інтенсивне відокремлення ґрунту, відбір бульб картоплі та опускання його за ряди на поверхню поля смугою, рівною ширині ряду, або укладанням в один валок. Таку схему запропоновано в даній

роботі з обґрунтуванням параметрів і дослідженням технологічних показників.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБЛЮВАННОГО КАРТОПЛЕКОПАЧА І КОНСТРУКЦІЇ РОТОРНОГО СЕПАРАТОРА

2.1. Обґрунтування доцільності застосування розробки

Як показує аналіз існуючих картоплекопачів у фермерських і в колективних господарствах, найбільш широко застосовують картоплекопачі елеваторного типу.

Їх робота заснована на принципі інтенсивного струшування видобутої формації, яка подається в барний ліфт безперервним потоком. Але такі картоплекопачі допускають значні втрати. Це пов'язано з тим, що під час коливань елеватора бульби проходять між його стрижнями, падають на поверхню поля і присипають просіяним ґрунтом, а потім додатково посипають грудками та рослинним сміттям, що опускаються в кінці елеватора. Крім того, такі картоплезбиральні машини мають високу енерго- та матеріальну витрату, а також складну конструкцію.

Ці недоліки можна усунути, посиливши процес руйнування пласта та поділу відвалу, перетворивши постійний потік пласта в дискретний. Для цього найдоцільніше застосувати ротор, який встановлюється на леміші. При цьому в робочому процесі беруть участь два потоки - постійний (рух пласта на поверхні лемеша) та дискретний (відбір проб пласта допаями від лемеша).

Конструктивно технологічна та кінематична схема пропонуємого роторного копача сепаратора відображена на рис. 2.1.

Аналіз робочого процесу такого картоплекопача показує, що шар під час підйому від плуга відривається від основної маси і падає вниз, де підхоплюється лопатями ротора і по круговій траєкторії перекочується через вісь обертання. У цьому випадку ґрунт і дрібні частинки відвалу просіюються через стержні лопаті на поверхні поля, а бульби, бадилля і великі рослинні залишки викидаються через вісь обертання ротора. Але в процесі підйому шару від лемеша і переходу до лопаті частина бульб падає на поверхню поля (оскільки лопатка не встигає підійти до лемеша) і присипається ґрунтом, що веде до зростання збитків.

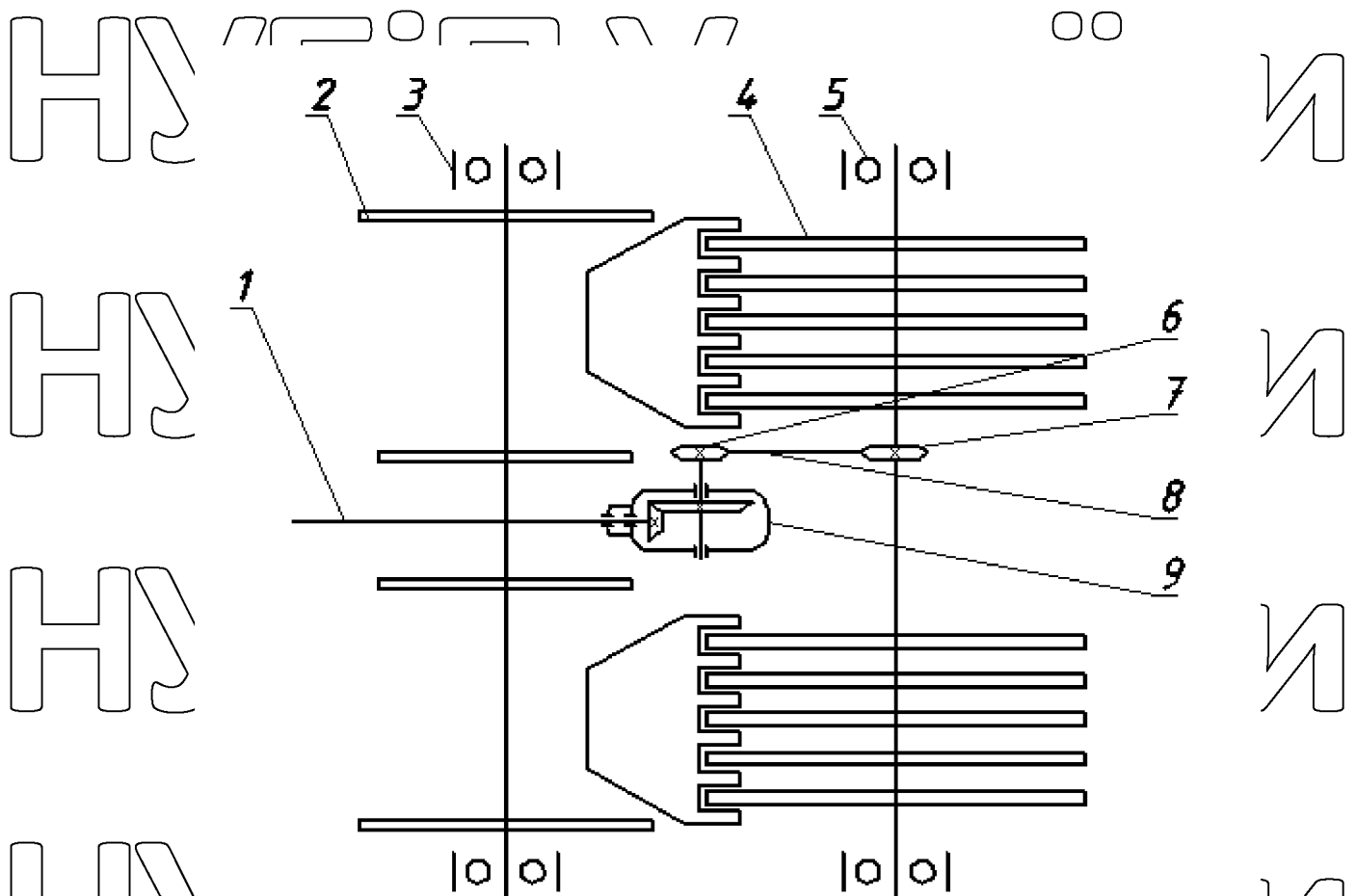


Рис. 2.1. Конструктивно технологічна та кінематична схема роторного картоплекопача-сепаратора

1-вал; 2-ніж дисковий; 3,5-підшипники; 4-ротор; 6,7-зірочка; 8-ланцюг роликів, 9-редуктор кінцевий

Очевидно, що в конструкції такого картоплекопача буде доцільніше використовувати леміш із продовженням (рис. 2.1.), виконаним у вигляді стрижнів, через які проходять стрижні леза.

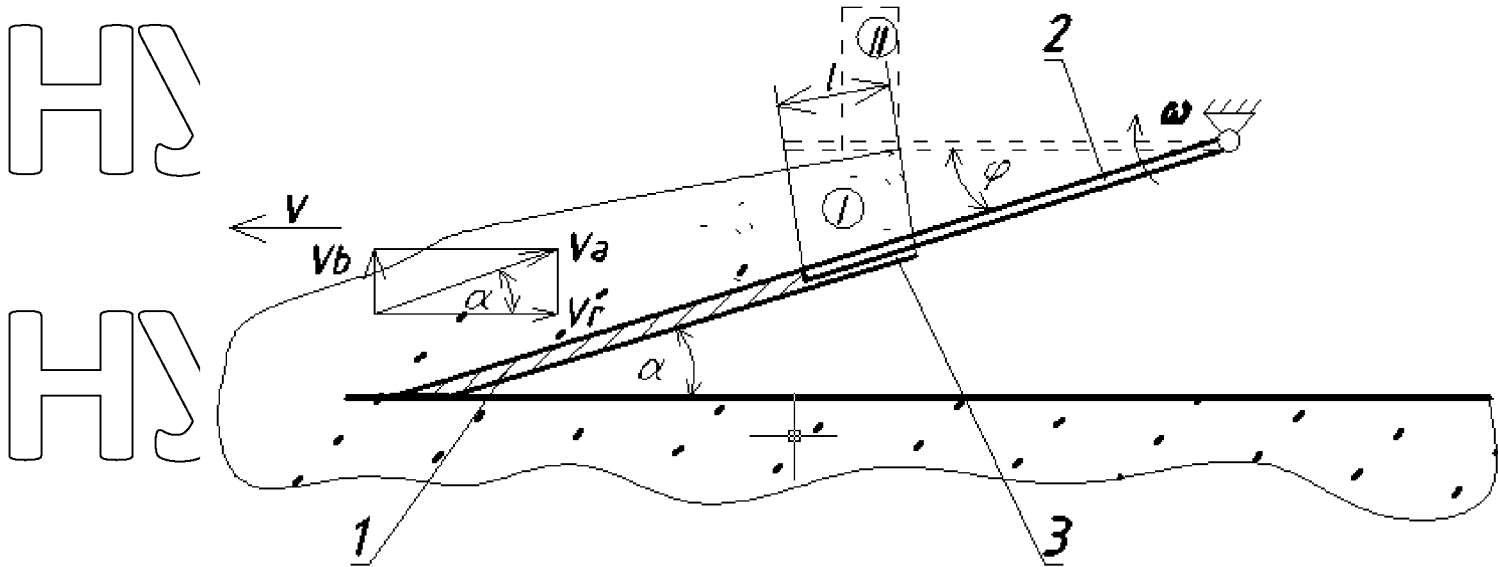


Рис. 2. 1. Леміш з подовженням

Це рішення дозволяє утримувати шар під час його видалення з лемеша лопатками ротора та сприятиме частковому просіванню (відділенню) відвалу.

Водночас слід зазначити, що леміш повинен мати кут установки не більше 24° , інакше фронтальний опір ґрунту та енергетичні витрати різко зростають. У цьому випадку діаметр ротора буде недостатнім, що негативно вплине на відокремлення купи. Тому необхідно розробити такий картоплекопач, який буде мати невеликий кут α установки лемеша до горизонту і великий діаметр D ротора. Для задоволення цієї умови необхідно використовувати ротор із зігнутими лопатками. Але раніше такий картоплекопач не вивчався, і в літературі немає даних для визначення сил опору, що перешкоджають обертанню ротора при взятті шару лемешів. Тому в роботі буде розроблений саме такий картоплекопач, схема якого наведена на рис. 2. 2.

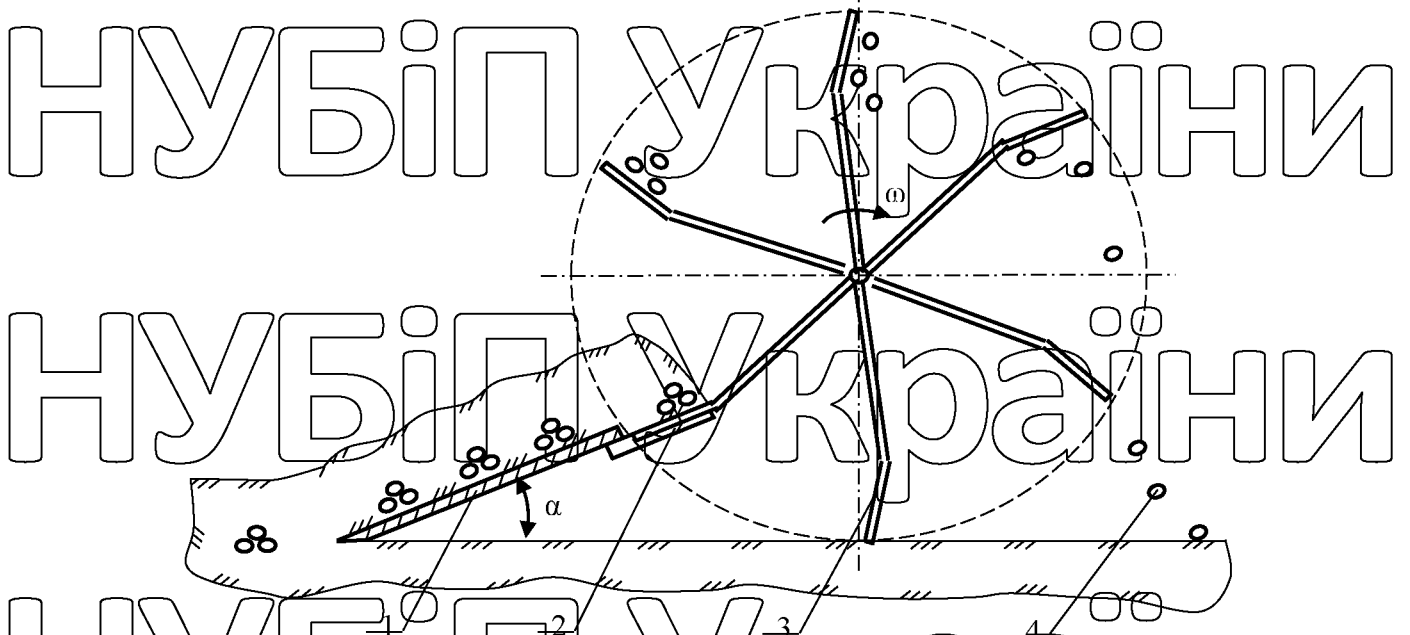


Рис. 2.2. Схема роторного картоплекопача:

1 – леміш; 2 – подовжувач лемеша; 3 – лопать ротора; 4 – бульба

2.2. Технологічний розрахунок

Для визначення основних конструктивно-технологічних параметрів картоплекопача виконується технологічний розрахунок, що дозволяє визначити його продуктивність, що є основним показником та базою для подальших розрахунків.

Виходячи з конкретних умов праці картоплекопача та його призначення (для якого господарства), погодинну продуктивність можна визначити за наступним:

$$Q = \frac{S}{D \cdot T}, \text{га/год.}$$

де, S – площа посадки картоплі, згідно завдання $S = 50$ га;

D – максимально-допустима тривалість збирання картоплі, згідно

завдання $D = 12$ днів;

T – максимально-допустима тривалість робочого дня на період збирання картоплі, згідно завдання $T = 12$ год.

Отже,

$Q = \frac{50}{12 \cdot 12} = 0,42; \text{ га/год.}$

Знаючи годинну продуктивність, можна визначити швидкість руху картоплекопача в загінці за формулою:

$V = \frac{Q \cdot 10^4}{B \cdot \tau}, \text{ м/год.}$

де $Q = 0,42$ га/год. – годинна продуктивність картоплекопача;

B – ширина міжрядь, згідно завдання $B = 0,7$ м. Оскільки картоплекопач викопує одночасно два рядки, то приймаємо для розрахунків $B = 1,4$ м;

τ – коефіцієнт використання змінного часу, згідно завдання $\tau = 0,6$

Отже,

$V = \frac{0,42 \cdot 10^4}{1,4 \cdot 0,6} = 5000 \frac{\text{м}}{\text{год}} = 1,39 \text{ м/с.}$

2.3. Конструктивний розрахунок

Основними параметрами розроблюваного в дипломному проекті вузла – роторного сепаратора, є його діаметр, кут загину лопатей та частота обертання ротора. Визначимо ці параметри в такій послідовності.

2.3.1. Визначення діаметра ротора

Аналіз технічного процесу передачі пласта на лопаті ротора [5] показує, що на відміну від елеваторного копача, у якого потік після пласта є безперервним і він легко описується математичними виразами, в розроблюваному картоплекопачі цей потік сходу з лемеша переривається і далі набуває дискретного характеру, оскільки періодично (порційно) забирається лопатями ротора. Ця особливість вимагає обґрунтування теоретичних передумов до визначення основних параметрів картоплекопача.

Крім цього, особливості конструкції лемеша, а саме наявність перехідної гребінки, сприяє тому, що саме тут починається процес сепарації маси, де ґрунт і дрібні частинки вороху просипаються через прогалини між пальцями (зубами) гребінки.

Отже, з наведеної схеми видно, що від основного пласта кінець лопаті довжиною l може зняти якусь його частинку, яку назвемо часткою. При цьому вважається, що частка відокремлюється від основного пласта по дузі $C'C''$, яку описує зовнішній кінець лопаті з радіусом R . Позначимо через r радіус кола, яке описує частина лопаті незаповнена ворохом, а частину кола – через $S'S''$. В цьому випадку можна вважати, що частка, яку знімає кінець лопаті довжиною l обмежується дугою $C'C''$ і $S'S''$.

Отже, лопать відводить об'єм вороху рівний об'єму, який знаходиться на кінці лопаті довжиною l .

Об'єм вороху, який знаходиться на кінці лопаті можна визначити за формулою:

$$V_K = a \cdot b \cdot l, \quad (2.1)$$

де a і b - відповідно висота і ширина пласта.

Для визначення об'єму вороху, що знімається лопаттю ротора, звернемося до схеми взаємодії лопаті з масою пласта (рис. 5).

Згідно з схемою кожна лопать під час обертання ротора проходить послідовно три фази – 1, 2, 3, межі яких позначено точками AB , BM і MA на довжині кола, що описує лопать. Перша фаза AB відповідає процесу активного наповнення лопатей ворохом і обмежує сектором AOB , рівним кутів ϕ входження лопаті з ворохом і виходу з нього.

Друга фаза BM відповідає процесу транспортування вороху і його відокремлення (сходу) від лопаті і обмежується сектором BOM .

Третя фаза MA відповідає процесу пасивного руху лопаті і відповідає сектору MOA .

Під час обертання ротора його кінець опише кільце шириною:

$$l = R - r \quad (2.2)$$

площа якого визначається за відомою формулою:

$$S = \pi(R^2 - r^2), \quad (2.3)$$

де l – ширина кільця; R – радіус кола, яке описує зовнішній кінець лопаті; r – радіус кола, яке описує частка лопаті, незаповнена ворохом.

З виразу (2) можна записати, що:

$$r = (R - l). \quad (2.4)$$

Якщо врахувати, що кінець лопаті шириною b описує кільце площею S , то за один оберт він перемістить об'єм вороху, рівний:

$$V = S \cdot b. \quad (2.5)$$

Останній вираз з врахуванням формули (2) і (3) після спрощень можна записати в такому вигляді:

$$V = \pi \cdot l \cdot b \cdot (2R - l). \quad (2.6)$$

Але лопать відводить за один свій оберт тільки деяку порцію вороху, яка формується на кінці лемеша з подовжувачем і обмежується сектором AOB , рівним кутів φ входження і виходу лопаті з вороху, рис. 5.

Отже, об'єм вороху, який відводить кінець лопаті за один оберт і з врахуванням останнього виразу, визначатиметься виходячи з того, що об'єми, які відповідають кутам 2π та φ , і співвідносяться між собою так, як ці кути, тобто

$$\frac{V}{V_1} = \frac{2\pi}{\varphi} \quad (2.7)$$

де V_1 – об'єм вороху, який відводиться однією лопаттю.

Отже, з останнього виразу можемо записати, що

$$V_1 = \frac{V\varphi}{2\pi}, \quad (2.8)$$

а з врахуванням виразу (6) остаточно об'єм, який відводиться однією лопаттю запишеться, так:

$$V_1 = \frac{\varphi \cdot l \cdot b \cdot (2R - l)}{2} \quad (2.9)$$

Але необхідно зазначити, що значна частина ґрунту просівається кризь між прутковій прогалини в лопаті і лемеші, і фактичний об'єм вороху, який перекидається лопатями ротора, зменшується. Для характеристики цього явища введено спеціальний термін “коефіцієнт сепарації”, який позначається символом ε .

Отже, з врахуванням цього коефіцієнта і прирівнявши об'єм на кінці лемеша і об'єм, що знімається лопаттю ротора, можна записати:

$$a \cdot b \cdot l = \frac{\varphi \cdot l \cdot b \cdot (2R - l) \cdot \varepsilon}{2}$$

звідки знайдено діаметр ротора:

$$D = 2R = \frac{2a}{\varphi \cdot \varepsilon} + l \quad (2.10)$$

Кут φ залежить від кількості лопатей Z і визначається за формулою:

$$\varphi = \frac{2\pi}{Z}, \text{ град} \quad (2.11)$$

Отже, з врахуванням формули (11) діаметр ротора визначається за такою формулою:

$$D = \frac{Z \cdot a}{\pi \cdot \varepsilon} + l \quad (2.12)$$

Підставимо в останню формулу такі значення: $Z = 6$ шт. – кількість лопатей; $a = 0,22$ м – глибина залягання бульб (прийнято максимальне значення); $\varepsilon = 0,7$ – коефіцієнт сепарації (прийнято згідно експериментальних даних проведених кафедрою СГМ [5]); $\pi = 3,14$; $l \approx 0,10$ м – довжина кінця ротора, яка відводить ворох.

Отже,

$$D = \frac{6 \cdot 0,22}{3,14 \cdot 0,7} + 0,1 = 0,7 \text{ м}$$

2.3.2. Визначення частоти обертання ротора

Одним з головних факторів, який впливає на якість сепарації вороху, є частота обертання ротора [5]. Оскільки принципи роботи розроблювального картоплекопача ґрунтується на створенні кидального моменту, то значна кількість вороху відділяється від бульб в польоті, тобто після сходу з лопаті ротора. При цьому сепарація відбувається за рахунок неоднакових траєкторій польоту вороху і бульб. Так, бульби, які мають меншу пружність і більшу масу, ніж ворох, то вони падають на поверхню поля після падіння вороху, оскільки траєкторія польоту вороху значно менша як по висоті, так і по довжині. При цьому збільшення частоти обертання ротора хоч і підвищує якість сепарації, але веде до зростання енерговитрат. Тому частота обертання повинна бути як найменшою, але вона повинна синхронно змінюватись з швидкістю руху картоплекопача. Для визначення частоти обертання ротора розглянемо наведену на рис. 7 схему процесу

подачі маси на кінець лемеша і її зняття ротором. Для простоти вважаємо, що лопать лежить в одній площині з лемешем і пласт переміщується до ротора з швидкістю V_a .

Якщо прийняти будь-яку частинку маси пласта за матеріальну точку, то швидкість руху цієї точки є результуючої горизонтальної \vec{V}_r і вертикальної \vec{V}_b швидкостей, рис. 7. При цьому горизонтальна складова \vec{V}_r рівна за величиною, але протилежно направлена швидкості руху картоплекопача V , тобто $V_r = -V$.

На основі викладеного можна записати, що

$$V_a = V_r \cos \alpha = V \cos \alpha,$$

де α – кут нахилу лемеша до горизонту, град.

Отже, при переміщенні пласта з швидкістю V_a він за час t пройде деякий шлях l рівний довжині гребінки. На підставі викладеного можна записати, що час t переміщення пласта на кінці лемеша буде визначатись за відомою формулою:

$$t = \frac{l}{V_a}, \quad (2.27)$$

де l – довжина гребінки; V_a – швидкість переміщення пласта по поверхні лемеша.

З рис. 7 також видно, що за цей час лопать обертаючись з кутовою швидкістю ω , повернеться на деякий кут φ і пройде з положення 1 в положення 2 і зніме з кінця лемеша частину пласта, після чого повинна підійти наступна лопать і цикл знімання повториться. Отже, на основі викладеного можна записати, що час t повороту лопаті (відведення частини пласта з кінця лемеша) буде визначатись за відомою формулою:

$$t = \frac{\varphi}{\omega} \quad (2.28)$$

де φ – кут повороту лопаті з пластом; ω – кутова швидкість обертання ротора.

Оскільки в виразах (27) і (28) розглядається один і той же час t рівний часу переміщення пласта на кінці лемеша і його відведення лопатею ротора, то прирівнявши праві частини цих виразів отримаємо, що:

$$\omega = \frac{V_a \cdot \varphi}{l} \quad (2.29)$$

Враховуючи те, що $\omega = 2\pi n$ ($\pi = 3,14$; n – частота обертання ротора), а

$$\varphi = \frac{2\pi}{z}$$

де z – кількість лопатей, з виразу (29) можна знайти частоту обертання ротора:

$$n = \frac{V_a}{l^* z} \quad (2.30)$$

а враховуючи те, що $V_a = V \cos \alpha$ (V – швидкість руху картоплекопача, α – кут установки лемеша) вираз (30) остаточно можна записати так:

$$n = \frac{V \cos \alpha}{l^* z} \quad (2.31)$$

Аналіз отриманого виразу (31) показує, що частота обертання ротора пропорційно залежить як від технологічних параметрів (V , α) картоплекопача так

і конструктивних параметрів (l, z) ротора. Із збільшенням швидкості руху V картоплекопача і кута установки α лемеша частота n обертання ротора зростає, а при збільшенні робочої довжини l лопаті і кількості z лопатей ротора, вона зменшується і навпаки. Тому при розрахунку теоретичної частини обертання ротора необхідно приймати максимальні значення l і z . При цьому максимально допустима швидкість руху картоплекопача сягає $1,5$ м/с, а кут α установки лемеша згідно даних [3] не повинен перевищувати 24° . Змінюючи числові значення l і z і підставляючи їх в вираз (31) з врахуванням того, що швидкість руху картоплекопача може змінюватись в діапазоні від $0,5$ м/с до $1,5$ м/с, а $\alpha=23^\circ$, отримаємо теоретичне значення частоти обертання ротора.

Приймаємо $z=6$ шт., $l=0,1$ м, $\alpha=23^\circ$, а швидкість картоплекопача визначена в п.2.3 $V=1,39$ м/с (п.2.2).

Тепер підставимо ці значення у формулу (31) і отримаємо частоту обертання ротора:

$$n = \frac{1.39 \cos 23^\circ}{0.1 \cdot 6} = 2.1306 / c = 127.806 / хв$$

Отже, кутова швидкість ротора буде становити згідно відомої формули:

$$\omega = 2\pi \cdot n = 2 \cdot 3.14 \cdot 2.13 = 13.38 \text{ рад} / c$$

а швидкість обертання лопаті становитиме:

$$V_k = \omega R = 13.38 \cdot 0.35 = 4.68 \text{ м} / c,$$

де $R=0,35$ – радіус ротора.

2.4. Визначення сил опору повороту ротора

Для того, щоб визначити такі сили, розглянемо на рис. 2.3. умову рівноваги сил, що діють на леміш і лопать ротора при заборі пласта.

З наведеної схеми видно, що без врахування опору деформаціям на поверхню лемеша (клина) діють такі сили: R_1 – реакція недеформованого ґрунту, який знаходиться попереду лемеша; I – динамічний тиск, обумовлений силою

інерції пласта; G_n – сила ваги пласта; R – результуюча елементарних нормальних сил і сил тертя на робочій поверхні лемеша.

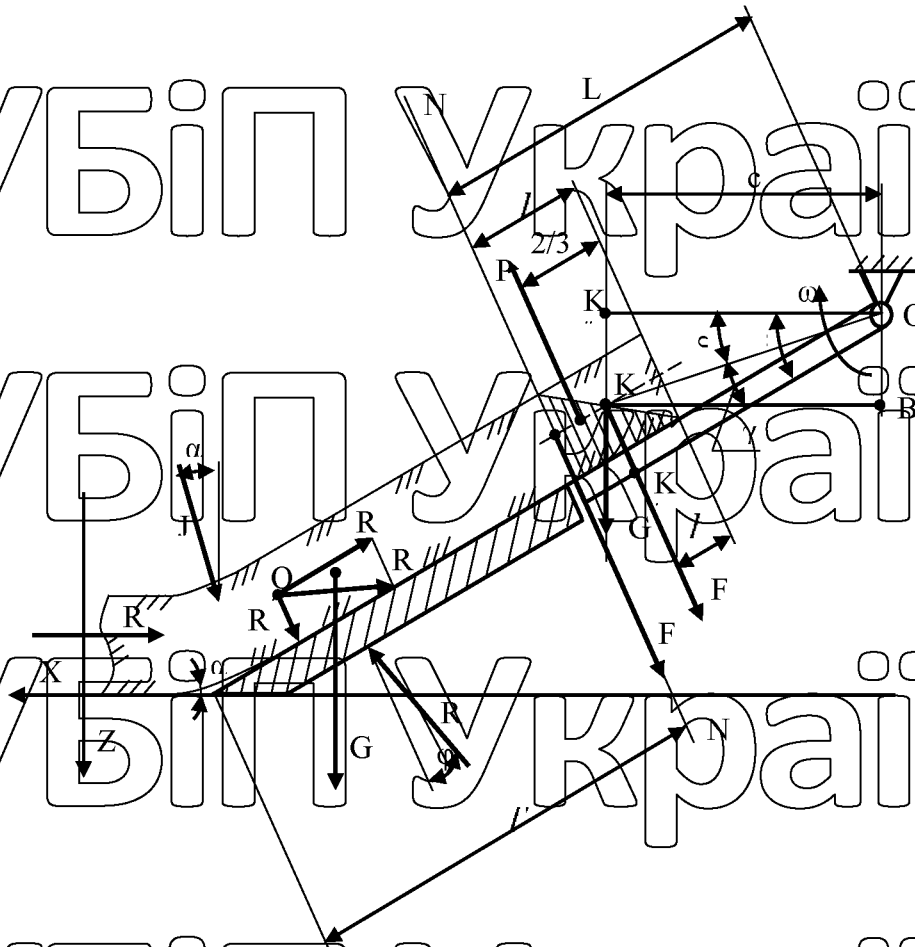


Рис. 2.3. Схема сил, що діють на лопать ротора при зніманні пласта з лемеша картоплекопача

Аналіз цих сил показує, що сила R_n є силою підйому пласта, яка заставляє пласт переміщатись по поверхні лемеша до лопаті. При цьому в момент повороту лопаті, тобто відриву частини пласта від моноліту, який знаходиться на кінці лопаті довжиною l , цей пласт внаслідок тертя частинок ґрунту викликати силу опору.

З метою спрощення, межу, по якій проходитиме відрив частини пласта від основного моноліту, покажемо на рис. 2.3. лінією N-N. Перенесемо реакцію

недеформованого ґрунту R_1 в точку O_1 і розкладемо її на дві складові направлені по нормалі до поверхні лемеша – силу R_{1n} і паралельно поверхні лемеша – силу R_{1t} . Отже, з наведеної схеми видно, що при заповзанні пласта на поверхню лемеша сила R_{1n} буде притискувати цей пласт до лемеша, а сила R_{1t} буде його переміщувати до лопати. При цьому сила R_{1t} підпиратиме пласт і по лінії N-N виникатиме сила тертя F .

На основі викладеного можна зробити висновок, що на лопать з ворохом діятиме сила ваги G і сила тертя F пласта об порцію відокремлюваного пласта та сила тертя $F_{пл}$ пальців лопаті об частинки вороху, що просіюються крізь прорізи гребінки лемеша. Для подолання цих сил необхідно прикласти якусь силу P рівну по величині сумі сил G , F і $F_{пл}$, але протилежно їм направлену.

При цьому точка прикладання сили P буде лежати в центрі трикутника (епюра навантаження кінця лопаті), тобто від його вершини на відстань $\frac{2}{3}l$ і направлена вгору по нормалі до поверхні лопаті.

Для визначення цієї сили складемо рівняння моментів точки O :

$$\sum M_O = 0;$$

$$F \cdot L + G \cdot c + F_{пл} \cdot (L - \frac{1}{2}) - D(L - \frac{1}{3}l) = 0,$$

звідки можна записати, що

$$P = \frac{G \cdot c + F \cdot L + F_{пл} \cdot (L - \frac{1}{2})}{L - \frac{1}{3}l}. \quad (2.32)$$

Масу пласта можна визначити за відомою формулою:

$$G = a \cdot b \cdot l \cdot \rho \cdot g, \quad (2.33)$$

де a і b – відповідно товщина і ширина пласта; l – довжина робочої частини лопаті; ρ – об'ємна маса вороху; g – прискорення вільного падіння тіла.

Довжину плеча c знайдемо з трикутників KOB , $KK'O$ і $KK'O$, але спочатку знайдемо сторони KK' і $K'O$ трикутника $KK'O$, припускаючи що центр розміщення

сили G буде знаходитись в центрі пласта, який з метою спрощення розрахунків вважаємо, що він має прямокутну форму.

В цьому випадку можемо записати, що:

$$KK' = \frac{a}{2}, \quad (2.34)$$

$$K'O = L - \frac{1}{2}l. \quad (2.35)$$

Тоді з $\Delta KOK'$ знайдемо, що

$$KO = \sqrt{(KK')^2 + (K'O)^2} \quad (2.36)$$

$$\gamma = \arctg \frac{KK'}{K'O} = \arctg \frac{a}{2(L - \frac{1}{2}l)} \quad (2.37)$$

З рис.8 видно, що

$$\angle K'OK' = \alpha \quad (2.38)$$

Отже, з врахуванням виразів (37) і (38), і рис. 8 можна записати, що

$$\beta = \alpha - \gamma = \alpha - \arctg \frac{a}{2(L - \frac{1}{2}l)}. \quad (2.39)$$

З $\Delta KOK'$ видно, що

$$c = KO \cos \beta$$

Останній вираз з врахуванням виразу (36) та виразів (34), (35) і (39) прийме

вигляд:

$$c = \sqrt{\frac{a^2}{4} + (L - \frac{1}{2}l)^2} \cdot \cos \left(\alpha - \arctg \frac{a}{2(L - \frac{1}{2}l)} \right). \quad (2.40)$$

Сила тертя F визначається за відомою формулою:

$$F = f \cdot R_1 \cos \alpha, \quad (2.41)$$

де f – коефіцієнт тертя пласта об поверхню відокремлюваного пласта; α – кут установки лемеша; R_1 – реакція недеформованого ґрунту, який знаходиться попереду лемеша.

Автори [1] рекомендують реакцію недеформованого ґрунту визначати за формулою:

$$R_1 = G_n \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) + J \left[\cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - \sin \frac{\alpha}{2} \right], \quad (2.42)$$

тут φ – кут тертя ґрунту об поверхню лемеша; J – динамічний тиск, обумовлений силою інерції пласта [1]:

$$J = 2ab \cdot \rho \cdot V^2 \sin \frac{\alpha}{2}, \quad (2.43)$$

тут V – швидкість руху картоплекопача;

G_n – сила ваги пласта піднятого лемешем. Цю силу визначають за формулою (33), підставляючи в ній замість l довжину лемеха L .

З врахуванням викладеного і формул (42) і (43), формулу (40) остаточно можна записати в такому вигляді:

$$F = f \cdot a \cdot b \cdot \rho \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \times \left[L \cdot g + 2V^2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} \right]. \quad (2.44)$$

Для визначення сили тертя пальців об ґрунт при проходженні крізь щілини лемеша звернемось до рис.9 на якому зображено поперечний переріз з пласта 1 на кінці лемеша 2 в момент проходження пальців 3 лопатей ротора крізь щілини 4 (прорізи).

З рис.9 видно, що у випадку слабо зв'язаного пласта, його частини будуть просіюватись між пальцями і перемичками (що утворюють прорізи в лемеші) і під дією сил вертикального тиску P_v вони будуть чинити на пальці бічний тиск силою P_b .

Сила вертикального і бічного тиску визначається за формулами [6]:

$$P_6 = S \cdot l \cdot a \cdot \rho \cdot g \quad (2.45)$$

$$P_6 = \varepsilon' \cdot P_6 \quad (2.46)$$

де S – ширина зазору між перемичкою і пальцем лопати; l – довжина робочої частини пальця, яка знімає пласт; a – товщина пласта; g – прискорення вільного падіння, ε' – коефіцієнт бокового розпирання пласта.

З рис. 9 видно, що при обертанні ротора точки контакту пальців з пластом будуть лежати на прямих $K-K$ і в цих точках виникатиме сила тертя $F_{\text{шт}}$, яку в загальному вигляді можна визначити за відомою формулою:

$$F_{\text{шт}} = f \cdot P_6 \quad (2.47)$$

Враховуючи те, що сила тертя $F_{\text{шт}}$ виникає з обох сторін пальця, а також конструктивні особливості виконання лопати, у якій кількість пальців n може бути рівною кількості щілин m , або більшою, тобто $m = n - 2$, сила тертя пальців лопаті з врахуванням виразів (2.45), (2.46) і (2.47) буде визначатись у першому випадку за формулою:

$$F_{\text{шт}} = 2f \cdot \varepsilon' \cdot S \cdot l \cdot a \cdot \rho \cdot n \quad (2.48)$$

а в другому випадку за такою формулою:

$$F_{\text{шт}} = 2f \cdot \varepsilon' \cdot S \cdot l \cdot a \cdot \rho \cdot (n - 1) \quad (2.49)$$

Тепер підставимо в вираз (32) замість G , F і $F_{\text{шт}}$ їх значення (33), (44) і (48), і отримаємо вираз для сили опору повороту лопаті ротора:

$$P = \frac{a \cdot \rho}{L - \frac{1}{3}l} \left[l \left[b \cdot g \cdot c + 2f \cdot \varepsilon' \cdot S \cdot n \left(L - \frac{l}{2} \right) \right] + \right. \\ \left. + L \cdot f \cdot b \cos \alpha \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \times \right. \\ \left. \times \left[l' \cdot g + 2V^2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)} \right) \right] \right] \quad (2.50)$$

Аналіз отриманого виразу показує, що сила опору ротора залежить як від конструктивних ($L, l, \varepsilon, c \cdot S \cdot n$), так і від технологічних (a, b, α, V) параметрів, а також і від фізико-механічних властивостей пласта ($\rho, f, \varphi, \varepsilon'$).

Підставляючи в вираз (2.50) різні значення параметрів, можна визначити силу опору повороту лопаті ротора.

Спочатку визначимо за формулою (40) невідоме значення c при таких даних:

$$a = 0,22 \text{ м}, l = 0,1 \text{ м}, \alpha = 23^\circ, L = 0,35.$$

$$c = \sqrt{\frac{0,22^2}{4} + \left(0,35 - \frac{0,1}{2}\right)^2} \cdot \cos \left[23^\circ - \arctg \frac{0,22}{2 \left(0,35 - \frac{0,1}{2}\right)} \right] = 0,318 \text{ м}$$

Отже, при $a = 0,22 \text{ м}$; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $L = 0,35 \text{ м}$; $l = 0,1 \text{ м}$; $b = 0,35 \text{ м}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $c = 0,318 \text{ м}$; $f = 1,2$; $\varepsilon = 0,45$; $s = 0,0008 \text{ м}$; $n = 10 \text{ шт}$; $\alpha = 23^\circ$; $\varphi = 26^\circ 30'$; $l' = 0,3 \text{ м}$; $V = 1,39 \text{ м/с}$ сила опору повороту лопаті становитиме:

$$P = \frac{0,22 \cdot 1000}{0,35 - \frac{0,1}{2}} \left\{ 0,1 \left[0,35 \cdot 9,81 \cdot 0,318 + 2 \cdot 1,2 \cdot 0,45 \cdot 0,0008 \cdot 10 \times \right. \right.$$

$$\left. \times \left(0,35 - \frac{0,1}{2} \right) \right] + 0,35 \cdot 1,2 + 0,35 + \cos 23^\circ \cdot \operatorname{tg}(23^\circ + 26^\circ 30') \times$$

$$\left. \times \left[0,3 \cdot 9,81 + 2 \cdot 1,39^2 \cdot \sin \frac{23^\circ}{2} \left(\cos \frac{23^\circ}{2} - \frac{\sin \frac{23^\circ}{2}}{\operatorname{tg}(23^\circ + 26^\circ 30')} \right) \right] \right\} =$$

$$= \frac{220}{0,3167} \left\{ 0,1 [1,09 + 0,026] + 0,169 \cdot [2,943 + 0,77(0,9799 - 0,1703)] \right\} = 496 \text{ Н}$$

Знаючи колову силу P можна визначити зусилля, яке діє на один пруток лопаті за формулою

$$P_n = \frac{P}{z}, \text{ Н}$$

Де $P = 496 \text{ н}$ – сила, яка необхідна для повороту лопаті (колова сила);

$Z = 10$ шт. – число прутків в лопаті.

Отже

$$P_n = \frac{496}{10} = 49,6 \text{ н.}$$

Тепер визначимо діаметр прутка лопаті за формулою [7]

$$d_n = 1,13 \sqrt{\frac{P_n n'}{[\tau_3]}}$$

де n' – згідно рекомендацій [7] $n' = 5 \dots 8$, тому приймаємо $n' = 8$;

$[\tau_3]$ – допустиме напруження на згин прутка лопаті, МПа. Для виготовлення прутка приймаємо сталь Ст. 40 для якої $[\tau_3] = 25 \text{ МПа}$.

Отже

$$d_n = 1,13 \sqrt{\frac{49,6 \cdot 8}{25 \cdot 10^7}} = 1,13 \cdot 0,0125 = 0,0142 \text{ м,}$$

Приймаємо з найближчого ряду сортаменту прокату прутки з діаметром

$d_n = 16 \text{ мм}$.

2.5. Енергетичний розрахунок

Енергетичний розрахунок проводиться з метою визначення потужності необхідної для приводу ротора. Розрізняють розрахункову потужність і загальну потужність.

Отже, розрахункову потужність необхідну для приводу ротора визначимо за такою формулою:

$$N = \frac{PVz}{1000}, \text{ кВт}$$

де $P = 496 \text{ Н}$ – сила, яка необхідна для повороту лопаті (колова сила);

$V = 4,68 \text{ м/с}$ – колова швидкість обертання ротора;

$Z = 2$ шт. – число роторів, яке рівне числу рядків, що викопуються за один прохід копача

Отже

$$N = \frac{496 \cdot 4.68 \cdot 2}{1000} = 4.64 \text{ кВт}$$

Загальну потужність визначимо з врахуванням втрат, що виникають в механізмі приводу за такою формулою:

$$N_o = \frac{N \cdot K}{\eta_1^2 \cdot \eta_2}, \text{ кВт}$$

де $N = 4.64$ кВт – потужність, яка необхідна для переміщення відокремленого пласта (розрахункова потужність);

K – коефіцієнт перевантаження ротора в момент пуску. Згідно даних [7] K

$= 15...20\%$, приймаємо, що допустиме перевантаження не перевищуватиме 17% , тобто $K=1,17$;

$\eta_1=0,99$ – ККД підшипників ротора;

$\eta_2=0,99$ – ККД ланцюгової передачі.

Отже, потужність необхідна для приводу ротора картоплекопача становитиме:

$$N_o = \frac{4,64 \cdot 1,17}{0,99^2 \cdot 0,99} = 5,59 \text{ кВт}$$

можна вважати, що $N = 5,6$ кВт.

2.6. Визначення діаметра вала ротора

Приймаємо симетричне розміщення лопатей на валу і намічаємо на середині вала місце під приводну зірочку. В цьому випадку діаметр вала під зірочкою визначається за формулою [7]:

$d_3 = \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0.2[\tau]_к}} \text{ мм}$
 де $M_{кр}$ – крутний момент на валу ротора, який визначається за такою формулою:

$M_{кр} = \frac{N_0}{\omega}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$
 тут $N_0 = 5,6 \text{ кВт}$ – потужність, яка затрачується на привід ротора,
 $\omega = 13,38 \text{ рад/с}$ – кутова швидкість обертання ротора;

$M_{кр} = \frac{5,60 \cdot 10^3}{13,38} = 4185 \text{ Н} \cdot \text{ м},$
 $[\tau]_к$ – допустиме напруження кручення вала, Н/м^2 . Приймаємо для виготовлення вала сталь 35, для якої $[\tau]_к = 25 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$.

Отже, $d_3 = \sqrt[3]{\frac{95.81}{0.2 * 30 * 10^6}} = 0.025 \text{ м}$
 Таким чином на основі розрахунків і з врахуванням того, що для кріплення пальців ротора на валу будуть нарізатись шліци, що послабить міцність вала, то приймаємо діаметр вала під підшипниками $d'' = 35 \text{ мм}$, під лопатями $d'' = 45 \text{ мм}$ і під зірочкою $d''' = 55 \text{ мм}$.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ДО ПОБУДОВИ СХЕМ

КАРТОПЛЕКОПАЧА

НУБІП України

3.1. Обґрунтування функціональної схеми

З наведеної на рис.1.1 схеми структурно-технологічного процесу картоплекопача видно, що він є простою машиною, в якій всі операції виконуються послідовно. Тому функціональну схему картоплекопача найбільш доцільно виконувати так, як це показано на рис.1.1.

Відповідно до наведеної схеми технологічний процес відбувається наступним чином. При переміщенні картоплекопача його лемінь 1 підрізає пласт 2 в горизонтальній площині і під дією підпору перемищає пласт по поверхні лемеша до його кінця. З метою зменшення сили опору відриву пласта від моноліту по боках кожного лемеша встановлено по два дискових ножі 3, які відрізають пласт в вертикальній площині. При цьому ножі 5 встановлені один від одного на відстані 0,4 м, що зменшує об'єм маси, яка потім буде просіюватись. Таким чином вирізаний пласт по лемешу подається на його перфорований кінець.

Через прорізи 4 на кінці лемеша вільно проходять пальці ротора 5, які відокремлюють частину пласта від його основної частини і по коловій траєкторії перекидають ворох через вал ротора 6. при цьому крізь простір між пальцями кожної лопати ротора просіюються частинки вороху, а бульби 7 залишаються і перекидаються через вал ротора і скидаються на поверхню поля. Після проходження картоплекопача на поверхні поля формується два рядки бульб, які потім підбирають робітники.

Особливість розробленого картоплекопача полягає в тому, що оскільки весь ворох просіюється крізь пальці гребінки (лопати), ще до моменту переходу лопаті за вісь обертання, то бульби весь час скидаються на поверхню поля без присипання ворохом.

НУБІП України

3.2. Обґрунтування кінематичної схеми

З точки зору складання раціональної кінематичної схеми картоплекопача найбільш доцільним є застосування такого приводного механізму, який би забезпечив надійну і просту передачу крутного моменту на вал ротора. Оскільки картоплекопач є начіпною машиною, то за джерело енергії приймаємо вал відбору потужності трактора, але так як ВВП і вал ротора розмішені під кутом 90° один до одного, то для передачі крутного моменту буде встановлено конічний редуктор. Для швидкого з'єднання вала редуктора з валом ротора передбачається установка ланцюгової передачі. Таке рішення є цілком виправданим, оскільки зменшується трудомісткість установки ротора і спрощується сама конструкція картоплекопача. З метою зменшення сил тертя, які виникають в опорах валів, передбачаємо установку кулькових підшипників. Кінематична схема картоплекопача наведена на рис.2.1.

3.3. Обґрунтування принципіальної схеми

Принципіальна схема є основою для розробки креслень, за якими виготовляються деталі розроблюваної машини. Тому на цій стадії проектування особливу увагу необхідно звертати саме на процес розробки принципіальної схеми, пам'ятаючи весь час про забезпечення простоти і надійності машини.

Аналіз функціональної і кінематичної схем показує, що в цілому картоплекопач є простою машиною, в якій основним робочим органом є леміш і ротор. Оскільки картоплекопач навіщується на трактор, то для забезпечення стабільності глибини ходу лемешів рама картоплекопача повинна спиратись на два опорних колеса. Враховуючи ту обставину, що ґрунт піддається руйнуванню і просіданню на сепараторі, то конструктивне виконання сепаратора буде виконане у вигляді ротора, який розміщується ззаду лемешів. Таке розміщення робочих органів дозволяє отримати компактну конструкцію картоплекопача та легкий доступ до робочих органів під час їх обслуговування та ремонту. При цьому розміщення ротора поперек рядків забезпечує укладання бульб паралельними рядами.

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТУ РОЗРОБКИ

НУБІП України

4.1. Дослідження умов руху бульбоносного вороху на коливній поверхні

Картоплевикопувач (див. графічну частину роботи), який удосконалюється у даній магістерській роботі, для підкопування бульбоносного шару модернізований трьома лемешами – два крайні і один середній. Лівий і правий викопувальні лемеші закріплені на кронштейнах, а середній – на середній стінці.

Лемеші, під час роботи, здійснюють початкову сепарацію підкопаного вороху. Для транспортування й активної сепарації вороху з бульбами застосовується основний елеватор. Елеватор – це два секційних пруткових транспортери, прутки якого з'єднані між собою сталевими штампованими ланками з кроком 41,5 мм. Елеватор приводиться у рух від зірочок ведучого вала, що з'єднаний з валом гідродвигуна.

З метою покращення і прискорення процесу сепарації вороху встановлені струшувачі еліптичної форми. Кінцеву сепарацію вороху виконує каскадний елеватор, який змонтований у задній частині картоплекопача. Елеватор складається з полотна з прутками, ведучого вала із привідними зірочками, направляючих котків і струшувачів.

Картоплекопач опирається на опорні колеса, за допомогою яких він транспортується і копіює рельєф поля під час роботи.

Особливість конструкції даного картоплекопача у комплектуванні котком-грудкороздавлювачем, що встановлений попереду підкопуючих лемешів. Він руйнує бульбоносний пласт, і водночас є копіювальним обладнанням. Руйнування ґрунтових гребенів проходить у двох площинах. Перше руйнування – у площині напрямку руху самого котка і перпендикулярної до котка площини, друге – здійснюється за рахунок коливання котка вздовж своєї осі, що передається від гідровібратора.

Удосконалення траєкторії руху котка, тобто забезпечення додаткової поперечної дії, допомагає ефективнішому руйнуванню ґрунтової кірки, великих грудок, відриву бульб картоплі від бадилля.

Після попередньої дії опорного котка-грудкороздавлювача рядки землі з бульбою підкопуються лемешами, руйнуються і подаються на основний елеватор, лінійна швидкість руху якого вища, ніж у серійних картоплекопачах, оскільки передбачено попереднє руйнування картопляного вороху котками-грудкороздавлювачами. На цьому транспортері сепаруючого типу ґрунтопласт вдруге руйнується за рахунок коливання самого транспортера та еліптичних зірочок, після чого він подається на каскадний елеватор, на якому закінчується сепарація ґрунту. Ворох, що пройшов через каскадний елеватор, доруйновується відбивачами, які встановлені у хвостовій частині картоплекопача.

Інтенсивність роботи елеваторів можна плавно змінювати витратою оливи, яка подається до гідродвигуна за допомогою дроселя, причому на легких ґрунтах інтенсивність можна збільшити, на важких зменшити.

Привід обох сепарувальних елеваторів відбувається від ГСВП трактора класу 1,4 за допомогою планетарних редукторів і гідродвигунів МПП-80.

Процес відділення бульб від вороху у будь-якому картоплекопачі, тобто первинна сепарація, полягає у руйнуванні ґрунту і просіванні через «живий» перетин робочої поверхні пруткового сепарувального транспортера або грохота.

Ефективність робочого процесу пруткового транспоруючо-сепаруючого елеватора характеризується коефіцієнтом сепарації η . Складність процесів, що відбуваються на робочій поверхні сепаруючого транспортера, не унеможливило їх точно математично описати.

Відсутність універсальної залежності для розрахунку сепаруючого органу і технологічних параметрів його застосування пояснюється розмаїттям пристосувань і заходів, що активізують сепарацію.

За надання бульбоносному шару відносного руху виконується активне очищення «живого» перетину сепаратора під дією руху ґрунту, бадилля та інших складових вороху.

Такий спосіб передбачає рух бульбоносного вороху маси вздовж прутків елеватора. У процесі переміщення вороху грудки «врізаються» між прутками, що супроводжує самоочищення «живого» перетину.

Відносно переміщення бульбоносного вороху може виникнути у випадку нерівномірного руху полотна пруткового транспортера або у випадку співпадання двох рухів: рівномірного вздовж поздовжньої осі картоплекопача і поперечного зворотно-поступального руху.

За умов складного руху елеватора рух бульбоносного шару також носить складний характер: переносний – за транспортування прутками елеватора і відносний – за ковзання вздовж прутків, які здійснюють поперечні коливання. Інерційні сили, які виникають у бульбоносному воросі за умови поперечних коливань прутків елеватора, розпушують і розшаровують ґрунтовий ворох за різними ознаками (питомою вагою, фізико-механічними властивостями і т.п.). Відбувається, так зване, «кипіння» бульбоносного вороху, що сприяє переміщенню дрібних часток до робочої поверхні пруткового елеватора. Тому, поперечні коливання транспортуючої поверхні елеватора підвищують інтенсивність впливу прутків на бульбоносний ворох, а з урахуванням того, що сили взаємодії прутків спричинені фрикційними властивостями прутків і суміші, то небезпека пошкодження бульб відсутня [22, 23].

За умов транспортування елеватором бульбоносного вороху, швидкість його частинок описують виразом [14]

$$V_{\varphi} = V_T - gt(\cos\varphi - \sin\alpha) \quad (4.1)$$

де V_{φ} – швидкість транспортованої частинки;

V_T – швидкість транспортера;

φ – кут тертя частинок по елеватору;

t – час транспортування;

α – кут нахилу елеватора, $\alpha \leq [\alpha]$, допустимий кут нахилу, який

визначається з умови ненагромадження ґрунтової маси у прийомній частині. Ця умова характеризує те, що у переносному русі швидкості пруткового елеватора і частинок вороху, що знаходяться на ньому, є одиначковою.

Відносний рух грудок вороху (ковзання, перекочування, перекочування із ковзанням) може виникнути за певних значеннях амплітуди A і частоти ω

поперечних коливань. Вираз руху грудки можна записати у вигляді [14]

$$\left. \begin{aligned} x &= (A/2) \cos \omega t \\ \dot{x} &= -(A/2) \omega \sin \omega t \\ \ddot{x} &= (A/2) \omega^2 \cos \omega t \end{aligned} \right\}, \quad (4.2)$$

де $A/2$ — ексцентриситет кривошипа коливального механізму.

Аналізуючи рух грудки вздовж прутків (відносний рух), приймаємо, що сили тертя та інерції, що прикладені в одній точці, вологість грудок вороху і поверхні прутків залишаються постійними.

На грудки, розміри яких аналогічні з перетином елеватора, діють сили інерції F_{IH} , тертя F_{TP} і ваги G (рисунок 3.1а). Очевидно, що при $F_{TP} < F_{IH}$ маса буде ковзати зі швидкістю \dot{x}_C . Так як $F_{TP} = f \cdot mg$, $F_{IH} = \ddot{x} \cdot m$, то умова ковзання грудки буде мати вигляд [14]

$$\begin{aligned} \ddot{x} \cdot m &\geq f \cdot mg, & (4.3) \\ \ddot{x} &\geq f \cdot g; & (4.4) \end{aligned}$$

де f — коефіцієнт тертя;

m — маса грудки;

g — прискорення вільного падіння.

Підставляючи значення \ddot{x} із (3.2) і прийнявши $\cos \omega t = 1$, отримали, що

$$\omega > \sqrt{(f \cdot g) / A}. \quad (4.5)$$

Формула (3.5) показує взаємозв'язок між кінематичними параметрами при умові ковзання грудок вздовж прутків.

Ковзання грудок по прутках супроводжується відривом частинок ґрунту.

НУБІП УКРАЇНИ

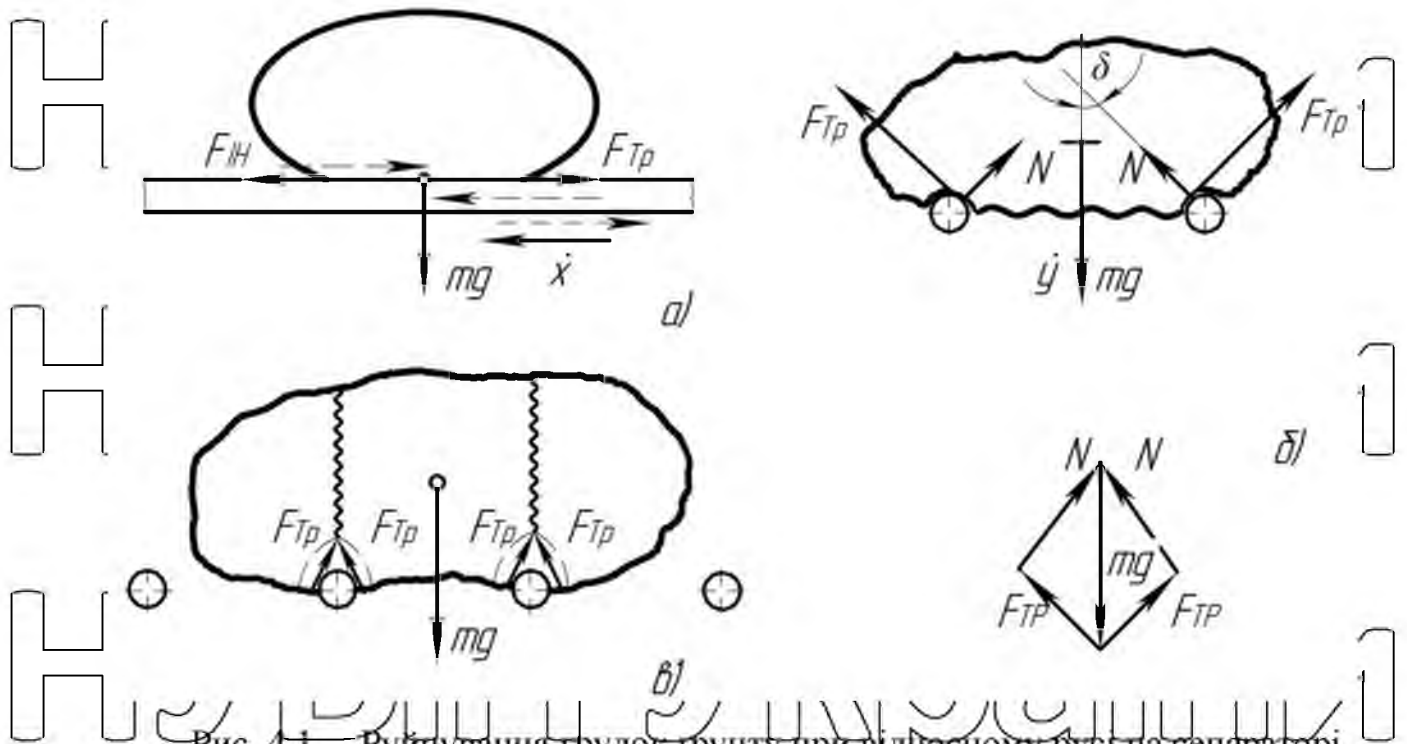


Рис. 4.1 – Руйнування грудок ґрунту при відносному русі на сепараторі

Мікроруйнування грудок сприяють виникненню руху грудки у вертикальному напрямку зі швидкістю \dot{y} . Це можливо при умові

$$mg > F', \quad (4.6)$$

де F' – сума проекції сил тертя і нормальної реакції на вертикальну вісь.

Сила F' – значно залежить від розмірів грудки (рисунок 3.16). При куті у точці контакту між нормальною реакцією N і вертикаллю $\delta \approx 90^\circ$ можливе просіювання грудки. Умову (3.6) можна записати у вигляді

$$g > f \cdot (g/2) / \cos \delta, \quad (4.7)$$

звідки

$$\delta > \arccos \frac{1}{2}$$

Грудки, розміри яких є більші ніж відстані між прутками елеватора, будуть також піддаватися дії прутків, але на відміну від вище приведеного випадку їх просіювання станеться після більш значних руйнувань (рисунок 4.16).

Враховуючи міцнісні властивості бульбоносних сумішей [27-28],
запишемо умови руйнування грудок:

$$[\sigma_{CT}] \leq \frac{F_{CT}}{S_{ГР}}; \quad (4.8)$$

$$[\tau_{ЗС}] \leq \frac{F_{ЗС}}{S_{ГР}}; \quad (4.9)$$

де $[\sigma_{CT}]$ – допустиме напруження стиску грудки,

$$[\sigma_{CT}] = 1,5-2,2 \cdot 10^{-2} \text{ МПа [11];}$$

$[\tau_{ЗС}]$ – допустиме напруження зсуву грудки, $[\tau_{ЗС}] = 1,2-1,5 \cdot 10^{-2} \text{ МПа [11];}$

F_{CT} – сила стиску грудки;

$F_{ЗС}$ – сила зсуву грудки;

$S_{ГР}$ – площа поперечного перетину грудки.

Із виразів (3.8) і (3.9) запишемо вирази для визначення сил стиску і зсуву

$$[\sigma_{CT}] \cdot S_{ГР} \leq F_{CT}; \quad (4.10)$$

$$[\tau_{ЗС}] \cdot S_{ГР} \leq F_{ЗС}. \quad (4.11)$$

Площі контакту грудки визначаємо з урахуванням співвідношення між його
довжиною, товщиною і шириною $S_{ГР} = 0,02 \dots 0,08 \text{ м}^2$. Менше значення площі

характерне грудкам, товщина яких становить 40 мм, більше – для грудок, товщина
яких є більшою 80 мм.

Враховуючи співвідношення (3.10), (3.11), (3.3) і (3.7), буде [14]:

$$[\sigma_{CT}] \cdot S_{ГР} < f \cdot (g/2) / \cos \delta; \quad (4.12)$$

$$[\tau_{ЗС}] \cdot S_{ГР} < \ddot{x} \cdot m - f \cdot mg; \quad (4.13)$$

звідси

$$f_{TP} > \frac{2[\sigma_{CT}] \cdot S_{GP} \cdot \cos \delta}{mg}; \quad (4.14)$$

$$\ddot{x} > \frac{[\tau_{3C}] \cdot S_{GP} + f \cdot mg}{m}; \quad (4.15)$$

або

$$\ddot{x} > \frac{\{[\tau_{3C}] + 2[\sigma_{CT}] \cdot \cos \delta\} \cdot S_{GP}}{m}. \quad (4.16)$$

За формулою (3.16) можна визначити прискорення поперечних коливань

елеватора сепаратора, необхідне для руйнування грудок, розмірами, що перевищують перетин елеватора. Тому за умови $\delta \approx 90^\circ$ вираз (3.16) набуде вигляду

$$\ddot{x} > \{[\tau_{3C}] \cdot S_{GP}\} / m, \quad (4.17)$$

тобто визначальними є дотичні напруження. Слід зауважити, що нерівності (3.16) і (3.17) правильні, якщо виконуються умови (3.4) і (3.5).

Для визначення режиму поперечних коливань сепаратора підставимо

числові значення: $[\sigma_{CT}] = 2,2 \cdot 10^{-2}$ МПа; $[\tau_{3C}] = 1,5 \cdot 10^{-2}$ МПа; $\cos \delta \approx 45^\circ$; $S_{GP} = 6,1$ см²; $m = 150$ гр у формулу (3.16). Одержаний результат задовольняє умову (3.4). Враховуючи (3.5), одержано параметри: амплітуди $A = 0,02$ м; кутової швидкості (частоти) $\omega = 21,2$ рад/с ($n \geq 203$ хв⁻¹).

Розглянемо ефективність роботи пруткового елеватора. Сепарація ґрунту буде складатися із двох незалежних процесів:

- «природне» просіювання ґрунту за транспортування його на елеваторі;

- активізована сепарація – спричинена поперечними коливаннями елеватора.

Перший процес описується вираженням [23]

$$\eta = \frac{a \cdot L^B}{1 + a \cdot L^B} \quad (4.18)$$

Другий процес описується виразом, отриманим у процесі експериментального вивчення процесу сепарації тільки за умов поперечних коливань

$$\eta = \frac{L}{\sqrt{1 + L^3}} \quad (4.19)$$

З формули (3.19) видно, що ефективність сепарації характеризується кількістю ґрунтового вороху на елеваторі, амплітудою і частотою коливань.

Якщо додати обидва процеси, то можна отримати наступні вирази для ділянок елеватора [14]:

$$\begin{aligned} Q' &= Q(1 - \varepsilon_{E1} - \varepsilon_{K1}); \\ Q'' &= Q(1 - \varepsilon_{E1} - \varepsilon_{K1}) \cdot (1 - \varepsilon_{E2} - \varepsilon_{K2}); \\ Q''' &= Q(1 - \varepsilon_{E1} - \varepsilon_{K1}) \cdot (1 - \varepsilon_{E2} - \varepsilon_{K2}) \cdot (1 - \varepsilon_{E3} - \varepsilon_{K3}); \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$Q^n = Q(1 - \varepsilon_{E1} - \varepsilon_{K1}) \cdot (1 - \varepsilon_{E2} - \varepsilon_{K2}) \times \dots \times (1 - \varepsilon_{En} - \varepsilon_{Kn});$$

де Q' – кількість ґрунту, не просіяна на відповідних ділянках, кг;

ε_E – ефективність природної сепарації елеватора;

ε_K – ефективність активізованої сепарації колівача.

Коефіцієнт ефективності сепарації характеризується відношенням ґрунту, просіяного на даній ділянці пруткового елеватора, до кількості ґрунтового вороху, що поступив на нього.

Додаючи природну і активізовану ефективності сепарації, Отримано:

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_K; \quad (4.21)$$

$$q_1 = Q \cdot \varepsilon_1; \quad (4.22)$$

де q_1 – кількість ґрунту, що просіяна на першій ділянці.

Тоді вирази (3.20) запишемо у вигляді [14]:

$$Q' = \frac{Q(1 - \varepsilon_1^2)}{1 + \varepsilon_1};$$

$$Q'' = \frac{Q(1 - \varepsilon_1^2) \cdot (1 - \varepsilon_2^2)}{(1 + \varepsilon_1) \cdot (1 + \varepsilon_2)}; \quad (4.23)$$

$$Q^n = \frac{Q(1 - \varepsilon_1^2) \cdot (1 - \varepsilon_2^2) \cdot \dots \cdot (1 - \varepsilon_n^2)}{(1 + \varepsilon_1) \cdot (1 + \varepsilon_2) \cdot \dots \cdot (1 + \varepsilon_n)}.$$

Коефіцієнт сепарації елеватора знаходиться відношенням кількості вороху, просіяного елеватором, до кількості вороху, що поступила на елеватор

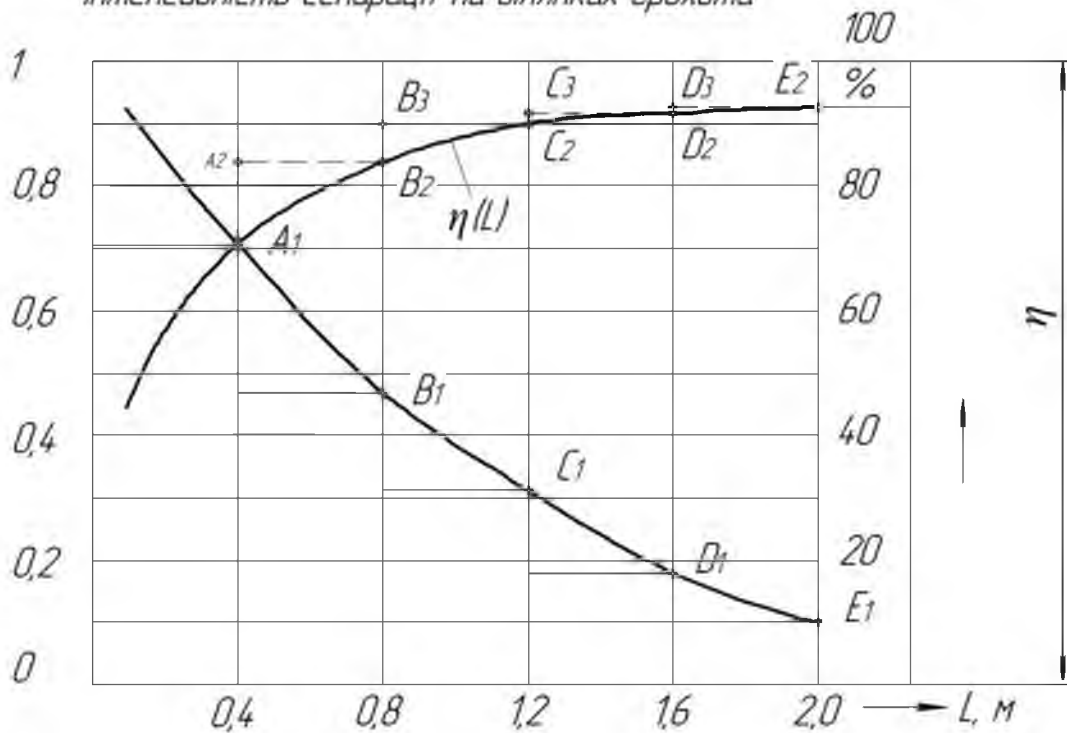
$$\eta = \frac{Q(1 - \varepsilon_1^2) \cdot (1 - \varepsilon_2^2) \cdot \dots \cdot (1 - \varepsilon_n^2)}{(1 + \varepsilon_1) \cdot (1 + \varepsilon_2) \cdot \dots \cdot (1 + \varepsilon_n)}; \quad (4.24)$$

або

$$\eta = 1 - (1 - \varepsilon_1) \cdot (1 - \varepsilon_2) \cdot (1 - \varepsilon_3) \cdot \dots \cdot (1 - \varepsilon_n). \quad (4.25)$$

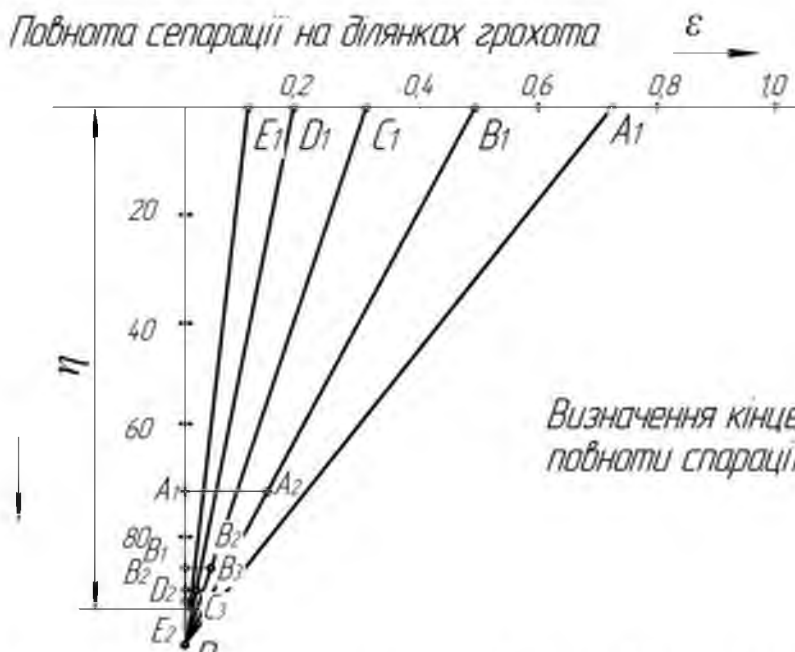
Таким чином, знаючи, ефективність кожної ділянки пруткового елеватора, можна визначити коефіцієнт сепарації η (рисунок 4.2а). Графічний метод визначення повноти сепарації показаний на рисунку 4.2б.

Інтенсивність сепарації на ділянках грохота



a)

Повнота сепарації на ділянках грохота



Визначення кінцевої повноти сепарації

b)

Рисунок 4.2

а) – коефіцієнт сепарації; б) – графічний метод визначення повноти сепарації

Математичні формули огинаючих кривих [14]:

$$\varepsilon_E = \frac{a + L^2(1 + bL)}{CLe^{d(1+eL)}}; \quad (4.26)$$

$$\varepsilon_E = \frac{mL(1 + nL^2)}{e^{CL(1+pL)^2}}. \quad (4.27)$$

Значення коефіцієнтів, що використовуються у формулах (4.26) і (4.27) наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів для визначення повної сепарації

Параметри		Коефіцієнти							
амплітуда	частота обертів	m	n	p	a	b	c	d	e
30	365	0,95	0,065	0,10					
	290	0,75	0,04	-0,118					
	216	0,45	0,02	0,05					
24	365	0,84	0,054	0,125					
	290	0,64	0,02	0,12	0,4	-0,2	3	1,35	0,1
	216	0,46	0	0,05					
18	365	0,68	0,04	0,125					
	290	0,20	0	-0,05					
	216	0,06	0	0,025					

Кількість ґрунту, що сходить з лемеша позначено через відрізок $|BA'|$. Якщо сумарна ефективність сепарації на першій ділянці ε_1 позначена через відрізок $|O_1A'|$, то ґрунт, що залишився позначено відрізком $|AA'|$. На другій ділянці цій кількості ґрунту відповідає відрізок $|O_2B'|$ (див. рисунок 3.2). Так як $|O_1A'| = \varepsilon$, то $|A_1A'| = 1 - \varepsilon_1$. Відповідно до цього, можна записати вирази на решті ділянках.

$$|A_1A_2| = \frac{\varepsilon_2}{|O_2B'|} \cdot (1 - \varepsilon_1);$$

$$|B_2B_3| = \frac{\varepsilon_3}{|O_3C'|} \cdot (1 - \varepsilon_2);$$

$$|C_2C_3| = \frac{\varepsilon_4}{|O_4D'|} \cdot (1 - \varepsilon_3);$$

$$|D_2D_3| = \frac{\varepsilon_5}{|O_5E'|} \cdot (1 - \varepsilon_4).$$

Склавши «східцями» відрізки $|O_1A_1|$, $|A_1A_2|$, $|B_2B_3|$, $|C_2C_3|$, $|D_2D_3|$,

одержують кількість ґрунту, просіяного всіма ділянками елеватора, тобто повноту сепарації.

Так як $|O_1A'| = |O_2B'| = |O_3C'| = |O_4D'| = |O_5E'| = 100\%$, а $\varepsilon_1 + 100\% = \eta_1$, то

коефіцієнт сепарації у даному випадку можна визначити за формулою

$$\eta = \eta_1 + \frac{\varepsilon_2}{|O_2B'|} (1 - \varepsilon_1) + \frac{\varepsilon_3}{|O_3C'|} (1 - \varepsilon_2) + \frac{\varepsilon_4}{|O_4D'|} (1 - \varepsilon_3) + \frac{\varepsilon_5}{|O_5E'|} (1 - \varepsilon_4). \quad (4.28)$$

Це рівняння розв'язують графічно, якщо на координатній площині на одній

осі нанести значення ε_i , а на другій – η повноти сепарації.

Очевидно, що

$$\frac{\varepsilon_2}{|O_2B'|} = \operatorname{tg} \varphi_2; \quad \frac{\varepsilon_3}{|O_3C'|} = \operatorname{tg} \varphi_3; \quad \frac{\varepsilon_4}{|O_4D'|} = \operatorname{tg} \varphi_4; \quad \frac{\varepsilon_5}{|O_5E'|} = \operatorname{tg} \varphi_5.$$

Якщо позначити на осі η точку B (рисунк 3.26), то на відстані $|O_iP| = |O_2B'| = |O_3C'| = \dots = |O_5E'|$ від початку координат можна знайти геометричну суму доданків правої частини формули (3.28): відкладають відрізок

$O_iA_1 = \eta_1$; на осі $O_i\varepsilon$ відкладають відрізок $|O_2B_1| = \varepsilon_2$, з'єднують відрізком точки

P і B ; з т. A_1 на осі $O_i\eta$ проводять перпендикуляр до перетину з B_1P у т. A_2 ; з т.

A_1 відкладають на осі $O_i\eta$ відрізок $|A_1A_2|$ і отримують точку B_2 ; з точки O_i на осі

O, ε відкладають відрізок $|O_2 C_1|$ і з'єднують прямою точки C_1 і P ; з точки B_2 проводять до перетину з $C_1 P$ у точці C_2 перпендикуляр.

Подальша побудова аналогічна. Відрізки $|A_1 A_2|, |B_2 B_3|, |C_2 C_3|, |D_2 D_3|$ і їх геометрична сума на обох графіках дорівнюють одні одним (див. рис. 4.2).

4.2. Дослідження руху бульби при поперечних коливаннях елеватора

Вивчаючи рух бульб на прутковій поверхні елеватора, приймають, що форма бульби близька до еліпсоїда.

Якщо прутки здійснюють коливання у напрямку поздовжньої осі за законом (3.3), то бульба може ковзати по прутку, котитися без ковзання або котитися з ковзанням.

Для випадку, коли бульба ковзає по прутках або одночасно котиться і ковзає, сила зчеплення тіла з площиною дорівнює силі тертя.

Якщо бульба котиться по прутках, то сила зчеплення визначають формою бульби і опором зі сторони прутків.

Точку перетину прутка з рівнодійною сил, викликаних взаємодією прутка з бульбою, приймають за точку контакту (рисунок 4.3а). Тоді умову відсутності

ковзання записують у вигляді [14]

$$\frac{|O'C'|}{\cos \mu'} \cdot \ddot{\phi} = \ddot{x}, \quad (4.29)$$

де $|O'C'|$ – відстань між точкою контакту і центром маси бульби;

$\ddot{\phi}$ – кутове прискорення;

μ' – кут між вертикаллю і рівнодійною;

\ddot{x} – обертове прискорення бульби.

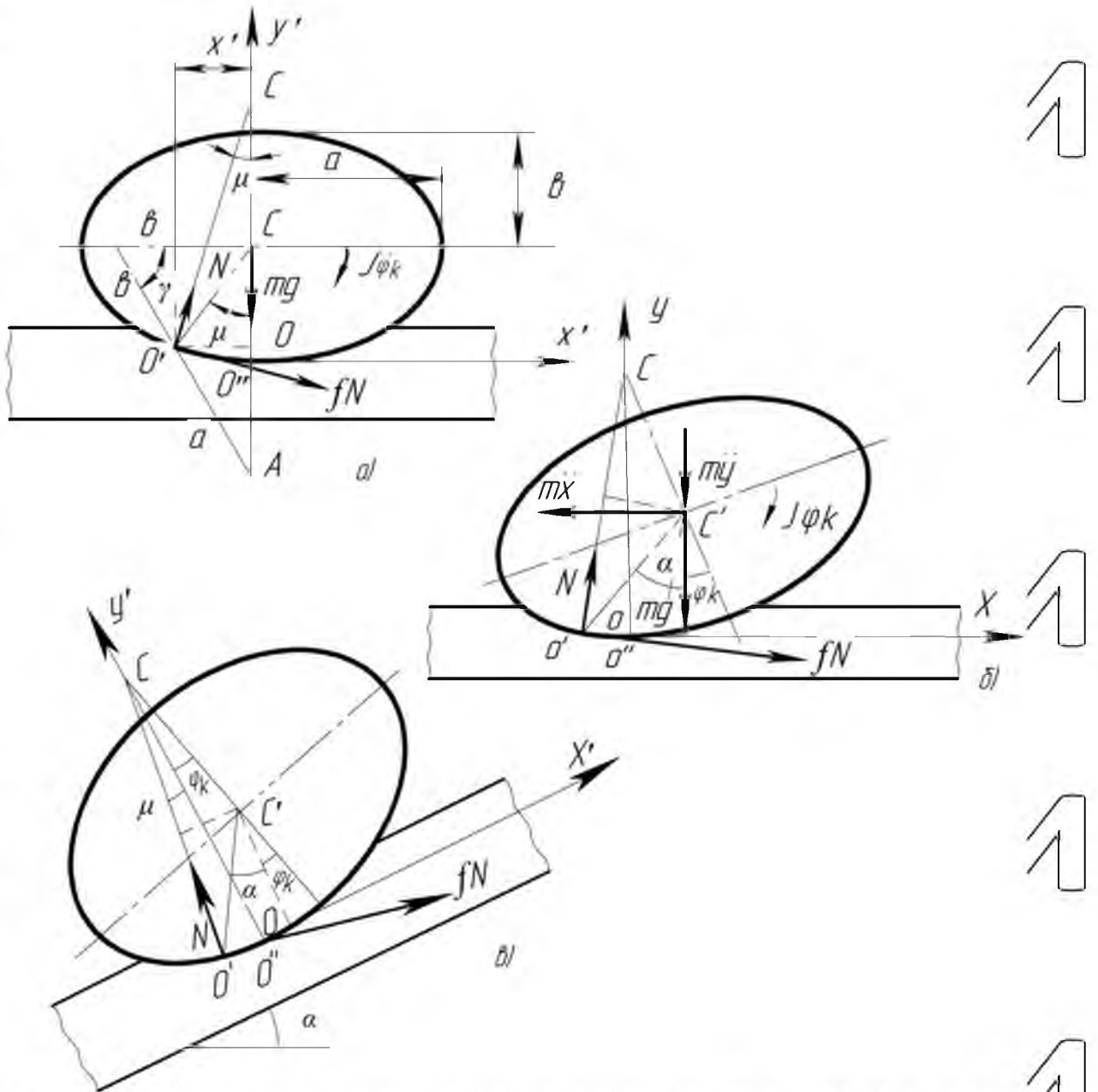


Рисунок 4.3 – Схема розташування бульби на прутках транспортера

З формули (3.29) видно, що точкою повороту є точка O на відстані $\frac{|O'C'|}{\cos \mu'}$ від центра C' або $\frac{|O'C|}{\cos \mu'}$ від центра C .

Можна розглянути характер руху бульб на прутках транспортера у різні моменти часу: при падінні бульби на транспортер, при русі транспортером, при відриві бульби від полотна транспортера та ін. Рух бульб можна розглядати при

умові руху полотна транспортера і при умові, що швидкість полотна дорівнює нулю.

Допустимо, що бульба падає на прутки, у момент, коли швидкість прутків дорівнює нулю.

Рівняння рівноваги у першому періоді взаємодії бульби з прутками. Для цього введено систему координат XOY , осі якої направлені так: OX – паралельно поздовжній осі прутка; OY – перпендикулярно і проходить через точку C (рисунок 3.3б). Рівняння рівноваги мають вигляд [14]

$$N \sin \mu + f_1 N \cos \mu - m\ddot{x} = 0;$$

$$N \cos \mu - f_1 N \sin \mu - m\ddot{y} = 0;$$

$$J\ddot{\phi}_K + mg|O'C'| \sin \alpha + m\ddot{y}|O'C'| \sin \alpha - m|O'C'| \ddot{x} \cos \alpha = 0,$$

де f_1 – коефіцієнт тертя кочення;

N – нормальна реакція прутка;

\ddot{x} – проекція прискорення центра мас бульби на вісь OX ;

\ddot{y} – проекція прискорення центра

мас бульби на вісь OY ;

J – момент інерції бульби;

$\ddot{\phi}_K$ – кутове прискорення бульби.

Аналітично розв'язати систему рівнянь (4.30) складно, так як кут опору перекочуванню μ змінюється залежно від кута повороту бульби ϕ_K . Тому спершу необхідно встановити зв'язок між цими кутами залежно від розмірів бульби.

Можна розглядати бульбу, що рухається вздовж прутка (див. рис. 4.3а). Відношення між його довжиною і товщиною (шириною) постійне

$$\frac{a}{b} = d = const, \quad (4.31)$$

де d – співвідношення між розмірами бульби, залежить від маси бульби і сорту картоплі [28].

Якщо поверхню бульби розглядати як еліпсоїд, то точка O' еліпса знаходиться на відстані $|O'S|$ від центра повороту S і на відстані $|O'C|$ від центра маси бульби C .

Проекція точки O на півосі. Рівняння еліпса:

- у параметричній формі

$$x' = a \cdot \cos \gamma; \quad (4.32)$$

$$y' = b \cdot \sin \gamma; \quad (4.33)$$

- у канонічній формі

$$\frac{x'^2}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1; \quad (4.34)$$

де γ – кут між більшою піввіссю еліпса і гіпотенузою трикутника $AC'B$

(див. рис. 3.3а)

Тоді

$$x' = y' \cdot \operatorname{tg} \mu' = b \cdot \sin \gamma \cdot \operatorname{tg} \mu' \quad (4.35)$$

Враховуючи (3.34), отримаємо

$$\frac{b^2 \cdot \sin^2 \gamma \cdot \operatorname{tg}^2 \mu'}{a^2} + \frac{y'^2}{b^2} = 1. \quad (4.36)$$

Розв'язуючи рівняння (3.32), (3.35) і (3.36) знайдемо

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{a}{b \cdot \operatorname{tg} \mu'}; \quad (4.37)$$

або

$$\gamma = \operatorname{arctg} \frac{a}{b \cdot \operatorname{tg} \mu'}; \quad (4.38)$$

Підставивши значення кута γ з (4.38) у (4.32) отримаємо

$$x' = a \cos \left(\arctg \frac{a}{b \cdot \operatorname{tg} \mu'} \right), \quad (4.39)$$

з іншої сторони

$$x' = 2\psi \cdot b \cdot \sin \mu; \quad (4.40)$$

де ψ – коефіцієнт взаємозв'язку між радіусом $|O'C|$ і піввіссю b .

Прирівнявши (4.39) і (4.40), отримаємо

$$\mu = \arcsin \frac{a \cdot \cos \left(\arctg \frac{a}{b \cdot \operatorname{tg} \mu'} \right)}{2\psi \cdot b}. \quad (4.41)$$

Формула (4.41) показує залежність між кутом μ відхилення радіуса кочення $|O'C|$ від осі $2b$ і кутом відхилення μ' від цієї ж осі вектора $|O'C|$.

Якщо бульба відхиляється на кут φ_K від стійкого положення, то виникає зусилля, яке намагається її повернути у попередньому напрямку. Для визначення зусилля, необхідного для повороту бульби необхідно покласти бульбу на нахилені прутки (рисунок 4.3в).

Як видно з рисунка (див. рис. 4.3в), кут нахилу прутків α є одночасно і кутом відхилення сили тяжіння від нормалі до прутків, причому лінія дії сили $m\vec{g}$ проходить через точку O' . Зміна кута α призводить до зміни положення точки O' , а отже і кута φ_K , якщо α більше кута опору коченню μ . Розклавши силу на нормальну і паралельну (до прутків) складові, одержимо зусилля, котрі необхідно прикласти до бульби, що знаходиться на горизонтально розташованих прутках, щоби відхилити її на кут φ_K . Для бульби, що знаходиться на нахилених прутках формула (4.41) має вигляд [14]

$$\mu = \arcsin \frac{a \cdot \cos \left[\arctg \left(\frac{a}{b \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_K)} \right) \right]}{2\psi \cdot b} + \varphi_K. \quad (4.42)$$

Формула (4.42) показує зв'язок між кутом опору коченню μ , відхилення бульби φ_K , нахилу транспортера. Ця формула також дає можливість розв'язання системи рівнянь (4.30), що показано на рисунку 4.4.

Рівняння моментів сил відносно точки C центра маси бульби для обох випадків (див. рис. 3.3б,в) [14]

$$\sum M_{C'}^B = -Nb(2\psi - 1)\sin(\varphi_1 + \mu) + fNb(2\psi - 1)\sin(\varphi_1 + \mu)\operatorname{ctg}(\alpha - \mu) = 0, \quad (4.43)$$

$$\sum M_{C'}^O = -J\ddot{\varphi}_K - Nb(2\psi - 1)\sin(\varphi + \mu) + fNb(2\psi - 1)\sin(\varphi + \mu)\operatorname{ctg}(\alpha - \mu) = 0. \quad (4.44)$$

Після перетворення (4.43) і (4.44) одержимо рівняння у вигляді

$$\ddot{\varphi}_K = \frac{Nb(2\psi - 1)\sin(\varphi + \mu)(f\operatorname{ctg}(\alpha - \mu) - 1)}{J}. \quad (4.45)$$

Так як права частина рівняння містить значення кутів, визначених шляхом заміни руху прутків їх нахилом, то за формулою (4.45) можна визначити кутове прискорення, при якому грудка (бульба) відхилиться на кут φ_K .

Із співвідношення між кутами і прискореннями при коченні-ковзанні визначають час закінчення ковзання. Так як при відсутності ковзання швидкість точки контакту дорівнює швидкості прутка, то проекція на вісь Ox обертової швидкості точки O_2 бульби дорівнює швидкості прутка

$$|O'C'| \cdot \dot{\varphi} \cdot t_1 \cdot \cos \alpha = \dot{x}_0. \quad (4.46)$$

Звідси

$$t_1 = \frac{x_0}{|O'C'| \cdot \dot{\varphi} \cdot \cos \alpha}. \quad (4.47)$$

Після закінчення часу t_1 ковзання припиняється, а точка контакту бульби з прутком буде розділяти рух прутків.

Подальший рух точки контакту бульби буде залежати від прискорення прутка і напрямку прискорення $\ddot{\varphi}_{C'}$ центра маси бульби.

При відхиленні бульби на кут φ_K за час t_1 його кутове прискорення більше нуля $\ddot{\varphi}_K > 0$. Можна визначити кут, при якому кутове прискорення відсутнє. Згідно формули (4.45)

$$(\ddot{\varphi}_K = 0) \Rightarrow (f \cdot \operatorname{ctg}(\alpha - \mu) = 1). \quad (4.48)$$

Співвідношення (4.48) показує, що при нахилі прутків до певного кута $\alpha \approx [\alpha]$ бульба буде обертатися з постійною кутовою швидкістю або буде нерухомою відносно прутків. З рисунка 3.3в видно, що таке положення наступить, коли кут нахилу прутків досягне кута $[\alpha] = 26 \dots 30^\circ$. Режим руху, що відповідає такому нахилу прутків небажаний, так як у цьому випадку можливе пошкодження бульб.

Систему рівнянь (4.30) доцільно розв'язувати при умові рівномірного кочення бульби.

Співставивши схеми, див. рис. 3.3б,в, можна отримати такі залежності [14]

$$\ddot{x} = g \sqrt{1 + f^2} \cdot \sin \alpha; \quad (4.49)$$

$$\ddot{y} = g (\sqrt{1 + f^2} \cdot \cos \alpha - 1). \quad (4.50)$$

Так як у випадку рівномірного обертального руху тангенціальне прискорення відсутнє, то можна записати

$$\sqrt{\ddot{x}_C^2 + \ddot{y}_C^2} = |O'C| \cdot \dot{\varphi}_K^2; \quad (4.51)$$

або

$$\dot{\varphi}_K = \sqrt{\frac{\sqrt{\ddot{x}_C^2 + \ddot{y}_C^2}}{|O'C|}}. \quad (4.52)$$

Проекція швидкості точки контакту бульби на вісь Ox складає

$$\varphi_K \cdot |O'C''| \cdot \cos \alpha = \sqrt{|O'C''|} \cdot \sqrt{\ddot{x}_{C'}^2 + \ddot{y}_{C'}^2} \cdot \cos \alpha. \quad (4.53)$$

Бракувавши залежності (3.40), (3.49) і (3.50), можна отримати обмежувальні співвідношення між максимальними амплітудою і частотою коливань [14]:

$$\frac{wA}{2} < \sqrt{gb(2\psi - 1) \sin(\mu + \varphi_K) \operatorname{ctg}(\alpha - \mu) \cos^2 \alpha \sqrt{f^2 + 2(1 - \sqrt{1 + f^2} \cdot \cos \alpha)}}; \quad (4.54)$$

$$n < \frac{60 \cos \alpha}{\pi A} \sqrt{gb(2\psi - 1) \sin(\mu + \varphi_K) \operatorname{ctg}(\alpha - \mu) \sqrt{f^2 + 2(1 - \sqrt{1 + f^2} \cdot \cos \alpha)}}. \quad (4.55)$$

Якщо виконується умова (3.55), то прискорення прутка зменшується, тобто бульба буде намагатися вернутися у стійке положення. Це відбудеться за проміжок часу t'_2 , за який швидкість точки контакту бульби з прутками буде зменшуватися

через повертання бульби у стійке положення. Після вирівнювання швидкості бульби і прутка за проміжок часу t_3 відносного руху бульби по прутках не буде.

Після закінчення часу t_3 прискорення прутка відбудеться зчеплення бульби з прутком, що стане причиною кочення-ковзання, яке буде відбуватися до вирівнювання швидкості прутка і точки контакту бульби. Характер руху бульби не відрізняється від руху за проміжок часу t_1, t'_2 .

У момент часу t_4 бульба знову почне ковзати і перекочуватися, так як прискорення прутка більше прискорення бульби. Після припинення часу t_4 рух бульби буде носити періодичний характер.

Характер руху бульби показано на рисунку 4.4.

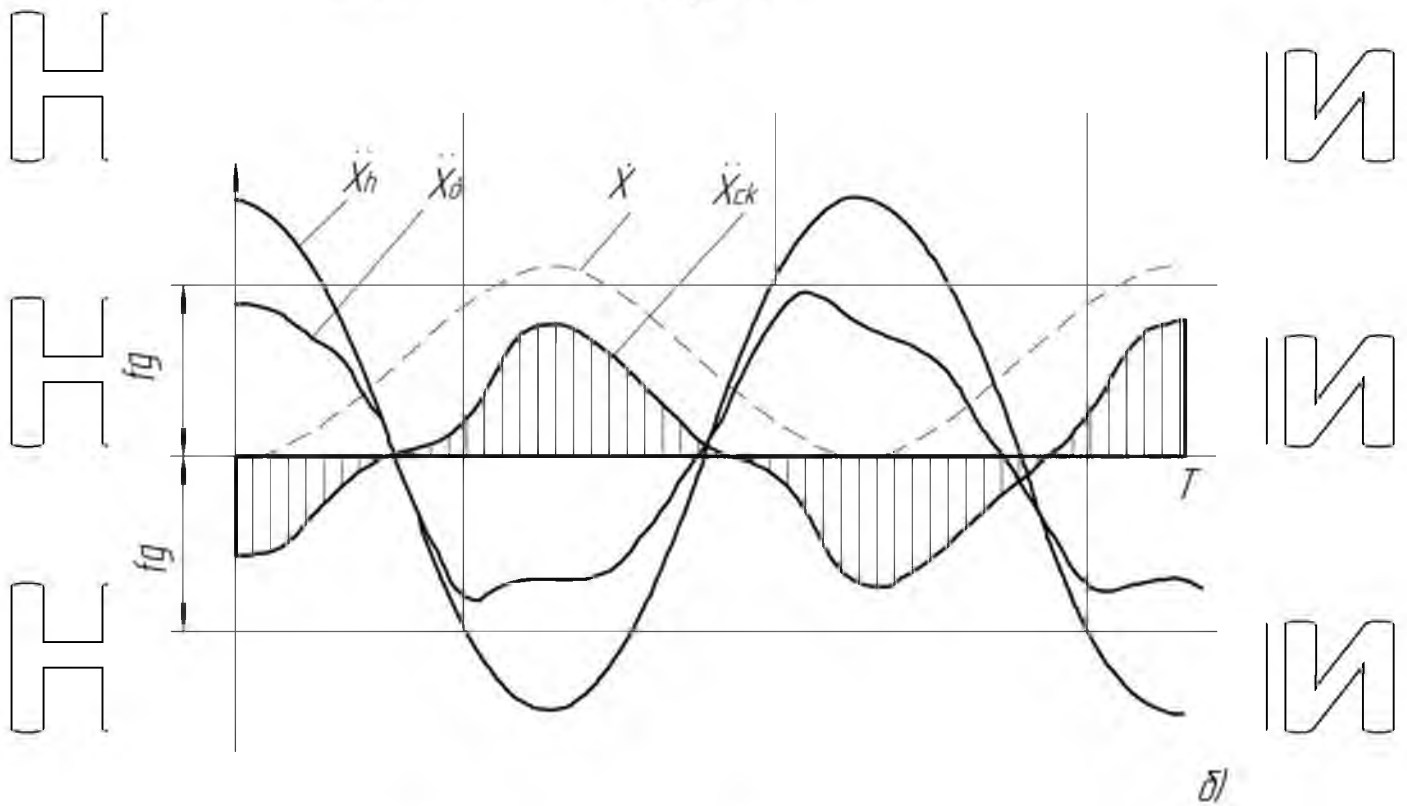
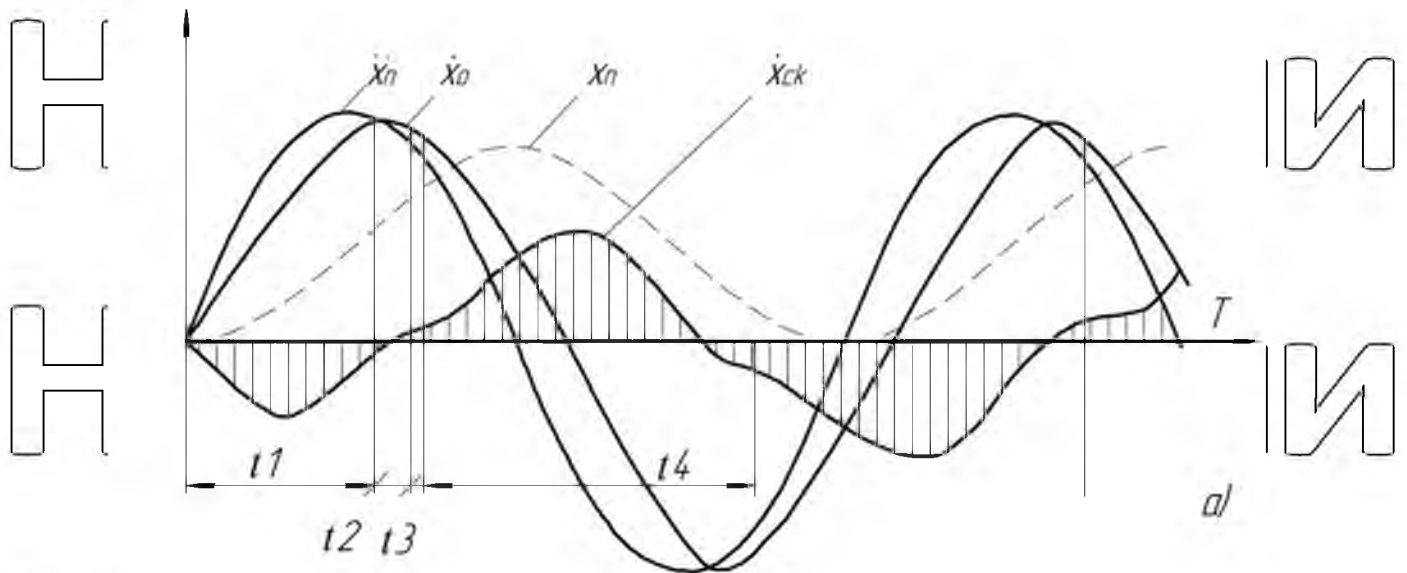


Рисунок 4.4 – Кінематика точки контакту бульби з ґрунком.

а) епюра швидкості кочення-ковзання;

б) епюра прискорення кочення-ковзання.

НУБІП України

НУВБІП України

5.1. Доцільність та значення впровадження розроблюваного картоплекопача

Для викопування картоплі на Україні широко використовують картоплекопач КСТ-1,4 [1]. Однак він має один серйозний недолік - під час відокремлення бульб від вороху відбувається сходження з елеватора частини непорушеного ґрунту разом з бульбами, які падають на поверхню поля і присипаються, внаслідок чого різко зростають втрати врожаю. Недоліком є ще й те, що такий картоплекопач підкопує всю масу ґрунту по ширині рядка і подає її на сепарацію, що призводить до зменшення продуктивності сепаратора. Крім цього такий картоплекопач скидає викопану картоплю смугою 1,2 м, а тому він має високу метало- і енергомісткість.

Очевидно, що позбутись цього недоліку можна тільки одним шляхом - застосувати новий картоплекопач з роторним сепаратором, який розміщується поперек рядків. У цьому випадку бульби будуть вкладатись позаду агрегату на поверхні тих самих рядків. Таким чином прийняте рішення якраз і усуває зазначені недоліки, зокрема зменшує втрати бульб, а також енерговитрати на 20...30% та матеріаломісткість конструкції на 30...40%.

5.2. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Економічну ефективність розробленого картоплекопача з запропонованою новою конструкцією роторного сепаратора розраховуємо у відповідності з рекомендаціями [21].

Аналіз технологічного процесу розроблюваного картоплекопача в порівнянні з базовим варіантом КСТ-1,4 та його конструктивних особливостей показує, що ефект розробки очікується за рахунок підвищення якості сепарації

вороху та зменшення матеріаломісткості сепаратора, який виконаний у вигляді ротора, і енергомісткості процесу сепарації вороху

Вихідні дані, необхідні для визначення ефективності застосування нового картоплекопача з сепаратором виконаним у вигляді ротора, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Одиниці виміру	Позначення	Розробка	
			Базова	Нова
1	2	3	4	5
Тривалість періоду конання картоплі	днів.	Δt	12	12
Тривалість робочого дня	год.	T	12	12
Коефіцієнт використання робочого часу	-	η	0,60	0,60
Продуктивність картоплекопача	га/год	W	0,35	0,42
Річний обсяг виробітку картоплекопача	га/рік	Q_p	50	50
Чисельність обслуговуючого персоналу	люд.	N	1	1
Відпускна ціна картоплекопача	грвн	$C_{вс}$	23000	-
Відпускна ціна роторного сепаратора	грвн	C_6	15750	-
Собівартість роторного сепаратора	грн.	C_6	7187	-
Вартість матеріалів в собівартості роторного сепаратора	грн.	C_m	3538	-
Вартість покупних виробів, що використовуються в роторному сепараторі в оптових цінах з затратами на доставку	грн.	$C_{вв}$	-	790
Маса роторного сепаратора в зборі	кг	G_3	105	62
Чиста маса роторного сепаратора без покупних частин	кг	G_r	53	41
Нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію	%	a	15	15
1	2	3	4	5

Норматив щорічних відрахувань на капітальний, поточний ремонт і техогляди	%	σ_0	18	18
Потужність, яка затрачається на привід роторного сепаратора	кВт	N_0	9,5	5,6
Питома витрата пального	г/с кВт-год	q_n	0,185	0,185
Вартість дизпалива	грвн./кг	C_n	30	30
Коефіцієнт, який враховує відрахування на додаткову заробітну плату	%	K_d	20	20
Коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні потреби	%	$K_{со}$	37,84	37,84

5.3. Визначення економічної ефективності застосування розробленого картоплекопача

1. Продуктивність картоплекопача за зміну:

$$W_{зм} = W \cdot t, \text{ га/зміну,}$$

де W – годинна продуктивність картоплекопача, га/год;

t – тривалість робочого дня копання картоплі, год.

Для нового

$$W_{змн} = 0,42 \cdot 12 = 5,04 \text{ га/зм.}$$

Для базового

$$W_{змб} = 0,42 \cdot 12 = 5,04 \text{ га/зм.}$$

2. Річне завантаження картоплекопача:

$$T = t \cdot D \text{ год,}$$

де D – максимально допустиме число днів копання картоплі, днів.

$$T_n = T_b = 12 \cdot 12 = 144 \text{ год.}$$

3. Затрати праці на копанні картоплі

$$V_3 = T/W \text{ год-год/га,}$$

де L – чисельність персоналу, задіяного на копанні, *чол.*

W – годинна продуктивність картоплекопача, *га/год.*

Отже, для нового

$$V_{зн} = 1/0,42 = 2,38 \text{ люд-год./га,}$$

для базового

$$V_{зб} = 1/0,35 = 2,86 \text{ люд-год./га.}$$

4. Річна економія затрат праці при застосуванні нового картоплекопача

$$V_{з.е.н} = (V_{з.б} - V_{з.н}) \cdot Q_n, \text{ люд-год,}$$

де $V_{з.б}$, $V_{з.н}$ – затрати праці на копанні картоплі відповідно базовим і новим картоплекопачем, *люд-год./га*;

Q_n – річний обсяг робіт на копанні картоплі новим картоплекопачем, *га*.

Отже,

$$V_{з.е.н} = (2,86 - 2,38) \cdot 50 = 24 \text{ люд-год.}$$

5.4. Визначення ціни розроблюваного роторного сепаратора

1. Вартість 1 кг чистої маси матеріалів, що йдуть на виготовлення механізму приводу ротора

$$M = C_M / \sigma_c, \text{ грн/кг}$$

де C_M – вартість матеріалів у собівартості базового роторного сепаратора, *грн*;

σ_c – чиста маса базового роторного сепаратора без покупних частин, *кг*.

$$M = 2432/53 = 45,89 \text{ грн/кг.}$$

2. Затрати на виготовлення роторного сепаратора без вартості матеріалів і покупних частин, що йдуть на 1 кг його чистої маси:

$$H = (C_b - (C_M + C_{пв})) / \sigma_c, \text{ грн/кг,}$$

де C_b – собівартість роторного сепаратора базового картоплекопача, *грн*;

C_M – вартість матеріалів в собівартості роторного сепаратора базового картоплекопача, *грн*;

$C_{пв}$ – вартість покупних виробів, що використовуються в новому роторному сепараторі в оптових цінах з затратами на доставку, грн.;

$\sigma_{ч}$ – чиста маса роторного сепаратора базового картоплекопача без покупних виробів, кг.

$$H = (2432 - (1600 + 200)) / 53 = 11,92 \text{ грн/кг.}$$

3. Галузева собівартість роторного сепаратора на стадії технічного завдання

$$C_o = \sigma_{чн} (\lambda \cdot H \cdot K_M + M) + C_{пв} \cdot K_{т.з}, \text{ грн}$$

де $\sigma_{чн}$ – чиста маса нового роторного сепаратора, кг;

$\lambda = 1,2$ – коефіцієнт конструктивної складності нового роторного сепаратора в порівнянні з технологією виготовлення базового варіанту;

H – затрати на виготовлення нового роторного сепаратора без покупних виробів, що припадають на 1 кг чистої маси, грн./кг;

$K_H = 1,1$ – коефіцієнт зміни “ H ” в залежності від обсягу випуску;

M – вартість 1 кг чистої маси матеріалів для нового роторного сепаратора, грн/кг;

$C_{п.в}$ – вартість покупних виробів нового роторного сепаратора, грн.;

$K_{т.з} = 0,05 \dots 0,1$ – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат, приймаємо

$$K_{т.з} = 0,1.$$

Отже

$$C_o = 41 \cdot (1,2 \cdot 11,92 \cdot 1,1 + 45,89) + 47 \cdot 0,1 = 2531,3 \text{ грн.}$$

4. Нормативний прибуток

$$П_H = C_o \cdot P_o / 100, \text{ грн.}$$

де C_o – галузева собівартість нового роторного сепаратора, грн.;

$P_o = 25\%$ – норматив галузевої рентабельності

$$П_H = 2531,3 \cdot 25 / 100 = 632,83 \text{ грн.}$$

5. Оптова ціна нового роторного сепаратора з урахуванням податку на додану вартість:

$$Ц_o = (C_o + П_H) \cdot (1 + П_{д.в.} / 100), \text{ грн.}$$

де $П_{д.в.} = 20\%$ – податок на додану вартість.

Отже,

$$C_0 = (2531,3 + 632,83) \cdot (1 + 20/100) = 3796,96 \text{ грн}$$

6. Відпускна ціна нового роторного сепаратора картоплекопача з урахуванням торгівельної націнки посередницької організації, яка здійснює продаж сільськогосподарської техніки:

$$C_v = C_0 \cdot \left(1 + \frac{T_H}{100}\right), \text{ грн.}$$

де T_H – торгівельна націнка посередницької організації на механізм приводу ротора, %. Відповідно до даних провідних фірм їхня торгівельна націнка в середньому становить 20 %. Отже, цю націнку приймаємо за основу для розрахунків.

Таким чином

$$C_v = 3796,96 \left(1 + \frac{20}{100}\right) = 4556,35 \text{ грн.}$$

5.5. Визначення економічної ефективності застосування розробленого роторного сепаратора

1. Повна собівартість копання картоплі

$$C_n = 3П + СП + А + R + P + Z + U_{cm}, \text{ грн/га}$$

де $3П$ – відрахування на оплату праці робітників зайнятих на копанні картоплі, *грн/га*;

$СП$ – відрахування на соціальні потреби (в фонд соціального страхування, у пенсійний фонд, фонд зайнятості, фонд соціального страхування від нещасних випадків), *грн/га*;

A – амортизаційні затрати на реновацію, *грн/га*;

R – затрати на ремонт і техобслуговування, *грн/га*;

P – витрати на дизпаливо, *грв/га*;

Z – затрати на зберігання роторного сепаратора, *грн/га*;

U_{em} – затрати на експлуатаційні матеріали, *грн/га*.

а) Відрахування на оплату працівників, задіяних на копанні картоплі визначаються за формулою:

$$ЗП = ЗП_0 + ЗП_д, \text{ грн/га}$$

де $ЗП_0$ – основна заробітна плата механізатора (оператора картоплекопача) і

його помічників:

$$ЗП = \frac{f_{т.о.} \cdot ЧК + f_{т.р.} \cdot ЧК\ddot{y}}{W}, \text{ грн/га}$$

де $f_{т.о.}$, $f_{т.р.}$ – тарифна ставка відповідно оператора і підсобного робітника, грн/год. Відповідно до даних управління сільського господарства Луцького району

Волинської області тарифна ставка механізатора (оператора картоплекопача і його помічників) станом на 1.05.2020 р. в середньому по району становила відповідно 45 грн./год і 40 грн./год.

K і $K\ddot{y}$ – чисельність робітників: в новому варіанті - $K=1$ і $K\ddot{y}=0$, в базовому варіанті - $K=1$ і $K\ddot{y}=0$.

W – годинна продуктивність картоплекопача, га/год.

Отже, для нового

$$ЗП_н = \frac{45 \cdot 1 + 40 \cdot 0}{0,42} = \frac{45}{0,42} = 107,14 \text{ грн/га}$$

для базового

$$ЗП_б = \frac{45 \cdot 1 + 40 \cdot 0}{0,42} = \frac{45}{0,35} = 128,57 \text{ грн/га}$$

$ЗП_д$ – відрахування на додаткову оплату, які враховують витрати на оплату

чергових і додаткових відпусток, часу для виконання державних і громадських

обов'язків:

$$ЗП_дн = ЗП_0 \cdot \frac{K}{100}, \text{ грн/га}$$

тут $K_д = 20\%$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на додаткову оплату.

Отже, для нового

$$ЗП_{дн} = 107,14 \cdot \frac{20}{100} = 21,43 \text{ грн/га,}$$

для базового

Таким чином,
для нового

$$ЗП_{дб} = 128,57 \frac{20}{100} = 25,71 \text{ грн/га.}$$

$$ЗП_H = 107,14 + 21,43 = 128,57 \text{ грн/га,}$$

для базового

б) Відрахування на соціальні потреби

$$ЗП_B = 128,57 + 25,71 = 154,28 \text{ грн/га.}$$

$$СП = ЗП (K_{СП}/100), \text{ грн/га}$$

де $K_{СП} = 37,84 \%$ - коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні потреби

Отже, для нового

$$СП_H = 128,57 \frac{37,84}{100} = 48,65 \text{ грн/га,}$$

для базового

в) Амортизаційні витрати на реновацію роторного сепаратора:

$$A = (Ц_в \cdot a) / (100 \cdot W \cdot T), \text{ грн/га}$$

де $Ц_в$ - відпускна ціна роторного сепаратора, грн;

a - нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію, %

W - годинна продуктивність картоплекопача, га/год,

T - річне завантаження картоплекопача, год.

Отже, для нового

$$A_H = (4556,35 \cdot 15) / (100 \cdot 0,42 \cdot 144) = 11,30 \text{ грн/га}$$

для базового

$$A_б = (15750 \cdot 15) / (100 \cdot 0,35 \cdot 144) = 46,88 \text{ грн/га}$$

г) Витрати на поточний ремонт і техобслуговування роторного сепаратора:

$$R = (Ц_б \cdot r) / (100 \cdot W \cdot T), \text{ грн/га}$$

де $Ц_б$ - відпускна ціна роторного сепаратора, грн;

r - норматив щорічних відрахувань на поточний ремонт і техогляди, %

W - годинна продуктивність картоплекопача, га/год,

T - річне завантаження картоплекопача, год.

Отже, для нового

$$R_{нн} = (4556,35 \cdot 18,0) / (100 \cdot 0,42 \cdot 144) = 13,56 \text{ грн/га}$$

для базового

$$R_б = (15750 \cdot 18,0) / (100 \cdot 0,35 \cdot 144) = 56,25 \text{ грн/га}$$

д) Витрати на дизпаливо, яке необхідне для приводу роторного сепаратора:

$$P = \frac{N_0 \cdot \eta_n \cdot \eta_{дл}}{W}, \text{ грн/га}$$

де N_0 - потужність, яку витрачає двигун трактора на привід роторного сепаратора, кВт;

q_n - питомі витрати пального, г/кВт;

$\eta_{дл}$ - вартість дизпалива, грн/кг;

W_n - годинна продуктивність картоплекопача, га/год.

Отже, для нового

$$P_{нн} = (5,6 \cdot 0,185 \cdot 30) / 0,42 = 74 \text{ грн/га,}$$

для базового

$$P_б = (9,5 \cdot 0,185 \cdot 30) / 0,35 = 150,64 \text{ грн/га.}$$

з) Витрати на зберігання картоплекопача:

$$Z = (T_n \cdot t) / Q, \text{ грн/га}$$

де T_n - норматив витрат праці на підготовку роторного сепаратора до зберігання, люд.-год. Приймаємо з додатку 4 [20], що ці затрати становлять

$$T_n = T_б = 2 \text{ люд.-год.};$$

t - годинна тарифна ставка слюсара на виконанні робіт пов'язаних з підготовкою картоплекопача до зберігання, грн/год. Відповідно до даних управління сільського господарства району тарифна ставка слюсара становить 40 грн/год.

Q - річний обсяг робіт на копанні картоплі, га.

Отже,

$$Z_n = Z_б = (2 \cdot 40) / 50 = 1,6 \text{ грн/га.}$$

ж) Витрати на матеріали, що використовуються при експлуатації роторного сепаратора

$$C_M = q_M \cdot C_2, \text{ грн}$$

де q_M – питома витрата матеріалів на експлуатацію роторного сепаратора. Ці матеріали за витратами можна прийняти, як для машин з масою до 500 кг і їх заносимо в таблицю 7.2.

C_M – преискуратнтна ціна матеріалів, грн/кг.

Зведені дані з витрати матеріалів на експлуатацію нового роторного сепаратора заносимо в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Зведені дані з витрати матеріалів на експлуатацію нового роторного сепаратора

Назва матеріалу	Кількість q , кг	Ціна C_M , грн/кг	Вартість C_M , грн
Масило консерваційне СХК, ГОСТ 11059-64	0,2	54	10,8
Масило захисне МГ-204, МРТУ 12Н 69-63	0,1	90	9
Гас тракторний	0,20	22	4,4
Фарба	0,02	60	1,2
Уайт-спирт ГОСТ 3134-52	0,10	25	2,5
Обтиральний матеріал	0,12	12	1,44
Шліфувальна шкіра, м ²	0,012	20	0,24
Разом, U	-	-	29,58

Приймаємо, що витрати на матеріали для обох сепараторів будуть однаковими. Відрахування на експлуатаційні матеріали в розрахунку на 1 га картоплі можна визначити за формулою:

$$U_{em} = U_M / Q, \text{ грн/га}$$

де U_M - витрати на матеріали, що використовуються при експлуатації роторного сепаратора, грн;

Q - річний обсяг робіт на копанні картоплі, га .

Отже,

$$U_{e.мн} = U_{e.мб} = 29,58/50 = 0,59 \text{ грн/га}$$

Таким чином, повна собівартість робіт на копанні картоплі:

для нового

$$C_{сн} = 128,57 + 48,65 + 11,30 + 13,56 + 74 + 1,6 + 0,59 = 278,27 \text{ грн/га}$$

для базового

$$C_{сб} = 154,28 + 58,38 + 46,88 + 56,25 + 150,64 + 1,6 + 0,59 = 468,62 \text{ грн/га}$$

2. Експлуатаційні витрати на роторний сепаратор.

$$U = ЗП + СП + R + P + Z + U_{em}, \text{ грн/га}$$

де $ЗП$ – витрати на зарплату, грн/га;

$СП$ – відрахування на соціальні потреби, грн/га;

R – витрати на поточний ремонт і техобслуговування, грн/га;

P – витрати на дизпаливо, грн/га;

Z – витрати на зберігання картоплекопача, грн/га;

U_{em} – витрати на експлуатаційні матеріали, грн/га.

Отже,

для нового

$$U_n = 128,57 + 48,65 + 13,56 + 74 + 1,6 + 0,59 = 266,97 \text{ грн/га},$$

для базового

$$U_б = 154,28 + 58,38 + 56,25 + 150,64 + 1,6 + 0,59 = 421,74 \text{ грн/га}$$

3. Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації роторного сепаратора

$$K_{пит} = C_e / (W \cdot T), \text{ грн/га}$$

де C_e – відпускна ціна роторного сепаратора, грн;

W – годинна продуктивність картоплекопача, га/год,

T – річне завантаження картоплекопача, год.

Отже, для нового

$K_{\text{н.н}} = 4556,35 / (0,42 \cdot 144) = 75,34 \text{ грн/га,}$
 для базового

$$K_{\text{н.б}} = 15750 / (0,35 \cdot 144) = 312,5 \text{ грн/га.}$$

4. Питома металомісткість роторного сепаратора

$$M_{\text{н.н}} = \sigma_3 / Q, \text{ кг/га}$$

де σ_3 - маса зібраного роторного сепаратора, кг,
 Q - річний обсяг робіт на копанні картоплі, га.
 Для нового

$$M_{\text{н.б}} = 62 / 50 = 1,24 \text{ кг/га,}$$

для базового
 $M_{\text{н.б}} = 105 / 50 = 2,1 \text{ кг/га.}$

5. Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при використанні роторного сепаратора

$$\varepsilon_{\text{РО}} = Q (U_{\text{Б}} - U_{\text{Н}}), \text{ грн.}$$

Q - річний обсяг робіт на копанні картоплі, га,
 $U_{\text{Б}}, U_{\text{Н}}$ - прямі експлуатаційні витрати відповідно базового і нового сепаратора, грн/га

$$\varepsilon_{\text{РО}} = 100 \cdot (421,74 - 266,97) = 15477 \text{ грн.}$$

6. Термін окупності капіталовкладень на придбання нового роторного сепаратора і відповідно становить

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{п}} / \varepsilon_{\text{РО}}, \text{ років}$$

де $K_{\text{п}}$ - додаткові капіталовкладення на придбання нового роторного сепаратора і відповідно становлять:

$K_{\text{п}} = (C_{\text{в.б.с.н}} - C_{\text{в.б.}}) + C_{\text{в.н.}}, \text{ грн}$

тут $C_{\text{в.б.с.н}}$ - відпускна ціна базового картоплекопача, грн.

$C_{\text{в.б.}}$ і $C_{\text{в.н.}}$ - відпускна ціна відповідно базового і нового сепаратора, грн.

$K_{\text{п}} = (23000 - 15750) + 4556,35 = 11806,35 \text{ грн.}$

$\varepsilon_{\text{РО}}$ - річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при використанні картоплекопача з новим механізмом приводу ротора, грн.

$$T_{ок} = \frac{11806,35}{7738,5} = 1,53 \text{ року.}$$
 Отже, можна зробити висновок, що затрати на придбання нового картоплекопача окуповуються за 1,53 року, тобто за два сезони використання.

Таким чином проведені розрахунки показують, що новий картоплекопач з розробленим роторним сепаратором в порівнянні з базовим варіантом має значну перевагу, оскільки дає річну економію на експлуатаційних витратах в розмірі 15477 грн.

Основні показники економічної ефективності використання картоплекопача зведені в порівняльній таблиці 5.3.

Таблиця 5.3
Економічна ефективність використання розробленого картоплекопача з новим роторним сепаратором

№ п/п	Показники	Одиниця виміру	Розробка		Різниця +,-
			Базова	Нова	
1	2	3	4	5	6
1.	Продуктивність картоплекопача за 1 годину	га/год	0,35	0,42	+0,07
	- зміну	га/зміну	4,2	5,04	+ 0,84
2.	Річний обсяг робіт на копанні картоплі	га/рік	50	50	-
3.	Чисельність обслуговуючого персоналу	чол.	1	1	-
4.	Затрати праці на копанні картоплі	люд.-год/га	2,86	2,38	-0,48
5.	Річна економія затрат праці при застосуванні нового картоплекопача	люд.-год.	-	24	-

1	2	3	4	5	6
6.	Експлуатаційні витрати на копанні картоплі	грн/га	421,74	266,97	-154,77
7.	Собівартість копання картоплі	грн/га	468,62	278,27	-190,35
8.	Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при застосуванні нового роторного сепаратора	грн/га	-	15477	-
9.	Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації роторного сепаратора	грн/га	150,64	74	-76,64
10.	Питома металомісткість технологічного процесу з новим роторним сепаратором	кг/га	2,1	1,24	-0,86
11.	Термін окупності капіталовкладень на придбання картоилекопача з новим роторним сепаратором	років	-	1,53	-

ВИСНОВКИ

НУБІП України

У даній магістерській роботі проведено аналіз робочого процесу викопування картоплі, систематизовано властивості бульб картоплі та конструктивно технологічні схеми картоплекопачів.

На основі вихідних даних в проекті розроблено основні вимоги до машини, сформульовано вимоги технічного завдання, проведено обґрунтування параметрів картоплекопача і його основного робочого органа – роторного сепаратора.

Запропоновано функціональну і кінематичну схеми картоплекопача, конструктивно-технологічне рішення лемеша-подовжувача у вигляді стрижнів та модернізацію картоплекопача встановленням ротора сепаратора позаду лемеша.

Теоретичними дослідженнями визначено діаметр ротора який становить $d = 0,7 \text{ м}$, встановлено частоту обертання ротора $n = 127,8 \text{ об/хв}$, виявлено потужність необхідна для приводу ротора картоплекопача, яка становить $N = 5,6 \text{ кВт}$ погодинна продуктивність $Q = 0,42 \text{ га/год}$.

Визначено силу опору повороту лопаті, яка становить $P = 496 \text{ Н}$.

Обґрунтовано порядок та організацію виконання робіт з застосуванням розробленого картоплекопача, показники якості роботи й охорони праці та приведено обґрунтування економічної ефективності застосування розробки.

У роботі досліджено умови руху бульбоносної маси на колившій поверхні та рух бульби при поперечних коливаннях елеватора картоплекопача. Поперечні коливання транспортуючої поверхні елеватора підвищують інтенсивність впливу прутків на бульбоносний ворох, а так як сили взаємодії прутків спричинені фрикційними властивостями прутків і ґрунтового вороху, то небезпека динамічного пошкодження бульб відсутня. Рух бульб та інтенсивність сепарації розглянуто за умови відсутності ковзання бульб.

Встановлено, що при нахилі прутків під кутом $[\alpha] = 26...30^\circ$ бульба буде обертатися з нестійною кутовою швидкістю або буде нерухомою відносно прутків.

НУБІП України

В цілому економічний ефект від застосування нового картоплекопача становить 15477 грн.

Термін окупності удосконаленої конструкції менше 1 року.

Розроблена у дипломній роботі конструкція дозволяє у більш стислі терміни збирати врожай за рахунок збільшення продуктивності агрегату порівняно з базовим. Пропоновану конструкцію можна застосовувати для збирання картоплі на всіх видах ґрунтів з вологістю до 27%.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рослинництво. Технології вирощування 120-и с/г культур. / Лихочвор В.В., 2014. – 1040с.
2. Бондарчук А.А. Стан картоплярства в Україні та перспективи його розвитку / А.А. Бондарчук // Вісн. аграр. науки. – 2006, № 3-4. – С. 49-50.
3. Біосфера та агротехнології. інженерні рішення. навчальний посібник / [Колектив авторів], за редакцією В. Кравчука, Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Дослідницьке, 2015. – 230 с.
4. Адамчук В.В., Булгаков В.В. Пріоритетні напрями створення сучасної сільськогосподарської техніки. *Вісник аграрної науки*. 2014. №5. – С. 5–10.
5. Сокальський С. В. Сучасний стан та перспективи розвитку галузі картоплярства // Формування стратегії розвитку регіонального АПК : матеріали четвертої міжфак. наук.-практ. конф. молодих вчених, 30 травня, 2008 р. – М-во аграр. політики України, ДВНЗ «Державний агроєкологічний університет». – Житомир : вид-во ДВНЗ «ДАУ», 2008. – С. 102–105.
6. Адамчук В.В., Сидорчук О.В., Мироненко В.Г. Системно-проектні підстави управління парком машин сільськогосподарських товаровиробників. *Вісник аграрної науки*. 2014. №11. С. 33–40.
7. Маслак О. Картопляні жнива: підсумки та прогнози// Агробізнес сьогодні. - №17 (264), вересень 2013. – с. 10-11.
8. Современная энциклопедия промышленного овощеводства. Открытый грунт. (Овощи,картофель) Том 1. Пашкевич А.И. 2014. – 730с.
9. Современная энциклопедия промышленного овощеводства. Закрытый грунт.(Овощи,грибы) Том 2. Чернышенко В.И. 2015. – 400с.
10. Адамчук В.В. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В.В. Адамчука, М.І. Грицишина. – К.: Аграр. Наука, 2012. – 416 с.

11. Кобець А.С., Іщенко Т.Д., Волик Б.А., Демидов О.А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.

12. Мельник І.І., А.Д. Гречкосій, Р.В. Шатров. Комплекси машин для виробництва картоплі. Ж-л "Аграрна техніка та обладнання" No1(6), 2009 р., с. 30-33.

13. Пастухов В.І. та інші. Польові дослідження технології вирощування картоплі під соломою. www.irbis-pbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis_64/Vkhdtusg.

14. Патент на КМ № 133848 МПК (2019.01). А01С3/06(2006.01), А01С15/00. Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив.

15. Ляшук В. М., Поліщук М.М., Дідух В.Ф. заявник та патентовласник Луцький НТУ; заявл. 12.11.2018; опуб. 25.04.2019р., бюл. No8.

16. Дідух В.Ф. Дослідження садильного апарату картоплі пасивного типу / В.Ф. Дідух, В.В. Тарасюк, Д.В. Тарасюк // 36. наук. Статей «Сільськогосподарські машини», вип. 44, Луцьк 2020, – с. 41...50.

17. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 320 с.

18. Сучасні технології овочівництва відкритого ґрунту Чернищенко В.І. 2017. – 350 с.

19. Надикто В. Т. Основи наукових досліджень: підручник / В. Т. Надикто; ТДАТУ. – Херсон, 2017. – 268 с.

20. Барановский В.Н. Исследование массы налипшей почвы на корнеплодах / В.Н. Барановский, В.В. Теслюк, В.Б. Онищенко // Современные проблемы использования мелиорированных земель и повышение их плодородия: Материалы Международной научно-практической конференции ГНУ ВНИИМЗ Россельхозакадемии, г. Тверь, 27–28 июня 2013г. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2013. – С. 59–66.

21. Данільченко І.І. Аналіз технологічного процесу очищення вороху при збиранні кормових буряків / І.І. Данільченко, В.В. Теслюк, В.М. Барановський // Збірник тез доповідей 73-ї всеукраїнської науково-практичної студентської конференції „Наукові здобутки студентів у дослідженнях технічних та біоенергетичних систем природокористування” 18-22 березня 2019 року. – К., 2019. – С. 137–138.

22. Ремньова Л.М., Лавров Р.В. Сучасний стан та основні напрями підвищення ефективності галузі картоплярства в Україні // Науковий вісник ЧДІЕУ. – 2010. – No1 (2). – с. 143 – 157.

23. Ремньова Л.М., Лавров Р.В. Сучасний стан та основні напрями підвищення ефективності галузі картоплярства в Україні // Науковий вісник ЧДІЕУ. – 2010. – No1 (2). – С. 143–157

24. Дубчак Н.А. Польові дослідження комбінованого очисника вороху коренеплодів / Н.А. Дубчак, В.В. Теслюк, В.Б. Онищенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / Серія «Техніка і енергетика АПК» / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. ред.) та ін. – К., 2013. – Вип. 185, ч. 2 – С. 333 – 339.

25. Барановский В. Н. Результаты исследования секундных подач процесса выкапывания корнеплодов / В.Н. Барановский, М.Р. Паньків, В.В. Теслюк // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: мат. межд. науч.-практ. конф. (Минск, 22-23 октября 2014 г. – РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2014. – Т.2. – С. 82–88.

26. Рудь А.В. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / [А.В. Рудь, І.М. Бандера, Д.Г. Войтюк та ін.] ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.

27. Рудь А.В. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / [А.В. Рудь, І.М. Бандера, Д.Г. Войтюк та ін.] ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.; іл.

28. Ходаківський Є.І. Виробництво та споживання картоплі / С.І. Ходаківський, В.М. Положенець, Д.В. Чуб // Економіка АПК. – 2006, №7. – С. 109-111.

29. Шведик М.С. і ін. Результати теоретичних досліджень процесу передачі пласта з лемеша на ротор картоплекопача. С. – 264-269. Наукові нотатки. Вип. Луцьк, 2004 р. – 280с.

30. Рослинництво. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Рослинництво» для студентів ОКР «Бакалавр» з напрямку підготовки 6.090101 «Агрономія» денної та заочної форми навчання.

Частина 1 «Зернові культури» / Л.В. Тодорова, Т.В. Герасько, Л.А. Покопцева. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 94 с.

31. Рослинництво. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів ОКР «Бакалавр» з напрямку підготовки 6.090101 «Агрономія» денної та заочної форми навчання. Частина 2 «Бобові та

технічні культури» / Л.В. Тодорова, Т.В. Герасько, З.В. Золотухіна. – Мелітополь: ТДАТУ, 2013. – 81 с.

32. Картопля: Практична енциклопедія / За ред. Геслюка П.С. – Луцьк, 2003. – 300 с.

33. Комплексна механізація буряківництва: Навчальний посібник / В.Д. Гречкосій, М.Я. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін. За ред. В.Д. Гречкосія, М.Я. Дмитришака. – В. ТОВ «Ніпан ТД», 2013. – 358 с.

34. Булгаков В.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами / Булгаков В.М., Борис А.М. / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, Вип. 107, т. 1. – Харків, 2011. – С. 175-188.

35. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Охорона праці у сільському господарстві. – К.: Основа, 2014. – 176 с.

36. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Агроосвіта, 2015. — 679 с.

37. Войтюк Д.Г. Машини для рослинництва: Практикум: навчальний посібник з виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / В.Д. Войтюк, О.П. Деркач, В.С. Лукач. — Ніжин: видавець ПП Лисенко М.М., 2017. — 352 с.

38. Дизайн та ергономіка аграрної техніки. [навч. посібник для студ. вищ. навч. закл.] / В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко, М.Д. Мельничук, Л.Ф. Бабіцький, В.В. Теслюк, В.Б. Онищенко, О.П. Слинко, С.В. Драгнєв. — К.: «Аграр Медіа Груп», 2014. — 180 с.

39. Комплексна механізація буряківництва: Навчальний посібник / В.Д. Гречкосій, М.Я. Дмитришак, Р.В. Шатров та ін.; За ред. В.Д. Гречкосія, М.Я. Дмитришака. — В: ТОВ «НіланГД», 2013. — 358 с

40. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. — Київ: «Агроосвіта», 2017. — 180 с.

41. Тищенко С.С., Дубровін В.О., Теслюк В.В., Волянський М. С. Сільськогосподарські машини. Проектування робочих органів для поверхневого обробітку ґрунту. Навчальний посібник. [С.С. Тищенко, В.О. Дубровін, В.В. Теслюк, М.С. Волянський]. — К.: Медіа груп, 2014. — 152 с.

42. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: підручник / Д.Г. Войтюк, Л.В. Аніскевич, В.В. Іщенко та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Агроосвіта, 2015. — 679 с.

43. Гречкосій В.Д. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник/ В.Д.Гречкосій, В.Д.Войтюк, Р.В. Шатров, І.І.Мельник, Я.М. Михайлович, В.Г. Опалко. — Видавничий центр НУБіП України, 2011. — 364 с.

44. Економічний довідник аграрника / За ред. Ю.Я. Лузана і П.Т. Саблука. — К.: Преса України, 2003. — 800 с.

45. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві// Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 29 серпня 2018 року № 1240, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 вересня 2018 за № 1090/32542.

46. Вініченко І.І, Сітковська А.О. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства// Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

47. Грицишин М.І. Методологічні основи комплектування МТН аграрних підприємств в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. Міжвідомчий тематичний науковий збірник Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. 2014. Вип. 99 Т. 1. - С. 392-400.

48. Грицишин М.І., Кудринський Р.Б., Цибуля М.Г., Коньок Н.М., Недвига І.О. Техніко-економічна оцінка технологічних комплексів машин для органічного виробництва продукції рослинництва. Міжвідомчий тематичний науковий збірник Механізація та електрифікація сільського господарства Глеваха. 2014. - Вип. 99 Т. 1. - С. 140–150.

49. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. – Київ: «Агроосвіта», 2017. – 180 с.