

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ _____ ” 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Обґрунтування модернізації бурякової сівалки точного висіву з
дослідженням висівного апарата»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи ГМ-24М-1

ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Долгіх Ярослав Володимирович
« _____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій МОРОЗ

« _____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

_____Катерина ВАСИЛЬКОВСЬКА

« _____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Агротехнічний

Кафедра Сільськогосподарського машинобудування

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 13 – Механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олексій Васильковський

« » 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА
ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Долгих Ярослава Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту)

Обґрунтування модернізації бурякової сівалки точного висіву з дослідженням
висівного апарата

2. Керівник роботи (проекту)

Мороз Сергій Миколайович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 21.05.2026 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Підвищення ефективності роботи висівного апарата бурякової сівалки точного
висіву

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1–5	Мороз С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пояснювальна записка	16.05.2026 р.	
2	Ілюстративна частина	16.05.2026 р.	
3	Захист роботи	21.05.2026 р.	

Дата видачі завдання
« 19 » січня 2026 р.

Підпис керівника
_____ Мороз С.М.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
« 19 » січня 2026 р.

Підпис здобувача _____ Долгіх Я.В.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	5
2. Інженерна частина	6
3. Наукова частина	16
4. Охорона праці.....	48
5. Економічна частина	51
Висновки	52
Список використаної літератури.....	53
Додатки	

ВСТУП

Вирішення основних задач, які стоять перед сільським господарством, а саме – підвищення якості сільськогосподарської продукції при збільшенні потреб населення, багато в чому залежать від багатосторонньої механізації та інтенсифікації сільськогосподарського виробництва, а це, в свою чергу, залежить від забезпечення аграріїв надійною і якісною сільськогосподарською технікою, в тому числі і посівною.

Найвищу якість сівби з рівномірним розподілом насінин по площі та глибині забезпечують сівалки з вертикально-дисковими механічними висівними апаратами типу ССТ. Проте їхнім істотним недоліком є вузька спеціалізація – фактично такі машини призначені лише для висіву цукрових буряків.

Через це ефективність використання сівалок залишається невисокою: оптимальні строки сівби цукрових буряків обмежені 4–5 днями, що зумовлює мінімальне річне навантаження на техніку.

Саме тому розширення універсальності цих висівних апаратів є одним із пріоритетних напрямів досліджень. Просо займає значні посівні площі, причому більшість із них розташована в бурякосійних районах. Суттєво, що глибина загортання, ширина міжрядь і норми висіву насіння цукрового буряка та проса збігаються, а строки їх сівби не перетинаються. Усе це робить актуальним вивчення можливості застосування висівних апаратів типу ССТ для висіву насіння проса.

Для сівалок сімейства ССТ були розроблені та досліджені пристосування для висіву проса, для яких не проводились теоретичні та експериментальні дослідження, тому вони не забезпечували ні якісні, ні максимальної норми висіву проса (40 кг/га).

Метою даної магістерської роботи є удосконалення конструкції пристосування до сівалки ССТ–12В для висіву проса з метою якісних показників та норми висіву.

2. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

2.1. Опис об'єкту розробки

Сівалка ССТ–12В призначена для пунктирного висіву каліброваного насіння цукрових та кормових буряків, як звичайних, так і малих норм дражованого насіння, з одночасним внесенням гранульованих мінеральних добрив у рядки.

За умови оснащення відповідними пристроями сівалка здатна висівати просо, гречку, сою, квасолю (крім великонасінневих сортів), а також дражоване насіння цукрових буряків з підвищеними нормами висіву (понад 20 шт/м). Машина забезпечує міжряддя шириною 45 см.

Сівалку обладнано уніфікованою системою контролю (УСК) технологічних параметрів, яка відстежує обертання дисків висівних апаратів і рівень насіння та добрив у бункерах.

Конструктивно сівалка (рис. 3.1) є навісною машиною. На її рамі змонтовано два пневматичних опорно-привідних колеса з механізмами передач, 12 секцій робочих органів і 6 туковисівних апаратів АТП–2. Додатково машину оснащено транспортним пристроєм і щільувачами.

Секції мають паралелограмну підвіску. Для висіву насіння застосовується кільцевидний сошник, для внесення мінеральних добрив – дворядковий сошник на окремій підвісці. Висівний апарат виконано з вертикальним висівним диском. Привід насінневих дисків і шнеків туковисівних апаратів здійснюється від опорно-привідних коліс через ланцюгову передачу.

Під час руху сівалки опорно-привідне колесо передає обертання через ланцюги і механізм передач на насінневі диски за допомогою зубчастої передачі. Насіння з бункера заповнює чарунки висівного диска і переміщується до місця скидання. Перетинка виконує функцію жорсткого пасивного відбивача, видаляючи надлишкове насіння над чарунками.

У нижній частині апарата насінини по одній примусово виштовхуються виштовхувачем на ущільнене дно борозни, утвореної сошником.

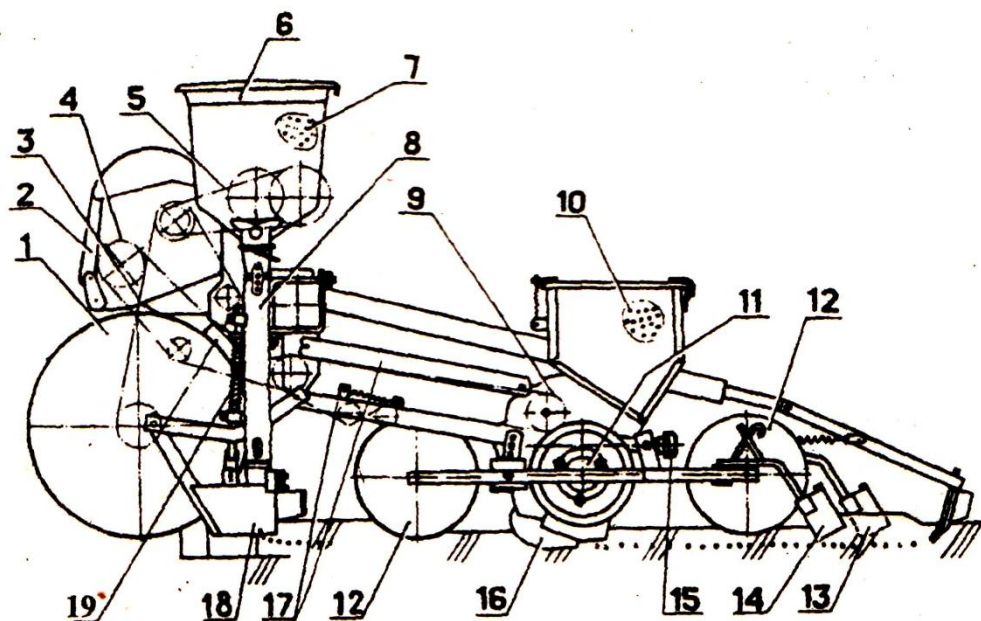


Рис. 2.1. Схема сівалки ССТ-12В

1 – колесо опорно-приводне; 2 – механізм зміни передач; 3, 5 – ланцюг; 4 – вихідний вал; 6 – туковисівний апарати; 7 – туки; 8 – тукопровід; 9 – зірочка; 10 – насінневий бункер; 11 – висівний апарат; 12 – прикочуюче колесо; 13 і 14 – загортачі; 15 – пристрій регулювання глибини борозни; 16 – кілевидний сошник; 17 – паралелограмний механізм; 18 – сошник туковий; 19 – пружина

Внесення добрив виконується туковисівними апаратами, пружинні шнеки яких із лівою та правою навивкою подають добрива з бункера в лійки, звідки по тукопроводу вони надходять до сошника та загортаються в ґрунт.

Борозна з внесеними добривами засипається ґрунтом самопливом і додатково ущільнюється переднім колесом. Борозна з укладеним насінням також закривається ґрунтом самопливом, після чого прикочується заднім колесом, яке забезпечує щільний контакт насіння з ґрунтом і сприяє підтягуванню вологи до нього. Загортачі, розташовані позаду, вкривають борозну вологим мульчувальним шаром ґрунту, формуючи гребінець висотою 1,0–3,0 см. Потрібна висота гребінця регулюється зміною активності крил загортачів.

Під час руху сівалки одна зі штанг маркера, опущена на незасіяну частину поля, залишає борозну-орієнтир, за якою тракторист вирівнює агрегат на зворотному проході.

Технологічний процес висіву насіння та добрив контролює уніфікована система контролю (УСК). Звуковим сигналом вона сповіщає тракториста про зупинку дисків висівних апаратів або зниження рівня насіння чи добрив нижче допустимої межі, а світловим – вказує на місце несправності.

Регулювання сівалки та контроль за роботою механізмів здійснює тракторист.

2.2. Технологічні розрахунки

2.2.1. Технологічний розрахунок конструктивних і режимних параметрів висівного апарата

Передаточне відношення від опорно–приводного колеса до валу висівного диска

$$i = \frac{Q \cdot b \cdot \pi \cdot D_{\kappa}}{10^3 \cdot n_q \cdot m^1 \cdot q \cdot (1 - \varepsilon)}; \quad (2.1)$$

де n_q – число чарунок на диску, $n_q=112$ шт.;

Q – норми висіву, $Q_{max}=40$ кг/Га та $Q_{min}=15$ кг/Га;

b – ширина міжряддя, $b=45$ см;

D_{κ} – діаметр опорно–приводного колеса, $D_{\kappa}=0,482$ м;

ε – коефіцієнт проковзування опорно–приводного колеса, $\varepsilon=0,05$;

m^1 – середня кількість насіння, що розміщується в одній чарунці, для проса $m^1=10$ шт.;

q – вага однієї насінини, для проса $q=0,007$ г.

Тоді

$$i_{z \max} = \frac{40 \cdot 45 \cdot 3,14 \cdot 0,482}{10^3 \cdot 112 \cdot 10 \cdot 0,007 \cdot (1 - 0,05)} = 0,366;$$

$$i_{z \min} = \frac{15 \cdot 45 \cdot 3,14 \cdot 0,482}{10^3 \cdot 112 \cdot 10 \cdot 0,007 \cdot (1 - 0,05)} = 0,137 \quad .$$

Частота обертання валу висівного диска

$$n_{\partial} = i_3 \cdot \frac{60 \cdot v_{\text{сiв}} \cdot (1 - \varepsilon)}{\pi \cdot D_{\kappa}}, \quad (2.2)$$

де $v_{\text{сiв}}$ – робоча швидкість сівалки, $v_{\text{сiв}} = 7,2 \text{ км/год} = 2 \text{ м/с}$

$$n_{\partial \max} = 0,366 \cdot \frac{60 \cdot 2 \cdot (1 - 0,05)}{3,14 \cdot 0,482} = 27,57 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_{\partial \min} = 0,137 \cdot \frac{60 \cdot 2 \cdot (1 - 0,05)}{3,14 \cdot 0,482} = 10,32 \text{ хв}^{-1}.$$

2.3. Кінематичний розрахунок механізму приводу сівалки

Вихідними даними для даного розрахунку є кінематична схема механізму приводу (рис. 3.4) і величини передаточних відношень $i_{3 \max}$ та $i_{3 \min}$ від опорно–приводного колеса до вала висівного диска.

Кінематичний розрахунок механізму приводу проводимо з умови забезпечення мінімальної норми висіву насіння проса 15 кг/га.

Загальне передаточне відношення

$$i_{3 \min} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 \cdot i_6 \cdot i_7 = 0,137.$$

Задаємося $i_1 = 1,1$; $z_1 = 10$

$$z_2 = \frac{z_1}{i_1} = \frac{10}{1,1} = 9,09.$$

Приймаємо $z_2 = 9$, отже

$$i_1 = z_1 / z_2 = 10 / 9 = 1,11.$$

Оберти на I валу механізму приводу, тобто опорно–приводного колеса:

$$n_1 = n_{\kappa} = \frac{60 \cdot v_{\text{сiв}} \cdot (1 - \varepsilon)}{\pi \cdot D_{\kappa}} = \frac{60 \cdot 2 \cdot (1 - 0,05)}{\pi \cdot 0,482} = 75,3 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання валу II

$$n_2 = n_1 \cdot i_1 = 75,3 \cdot 1,11 = 83,6 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_2 = 0,3$; $z_3 = 16$

$$z_4 = z_3 / i_2 = 16 / 0,6 = 26,7.$$

Приймаємо $z_4 = 27$. Тоді

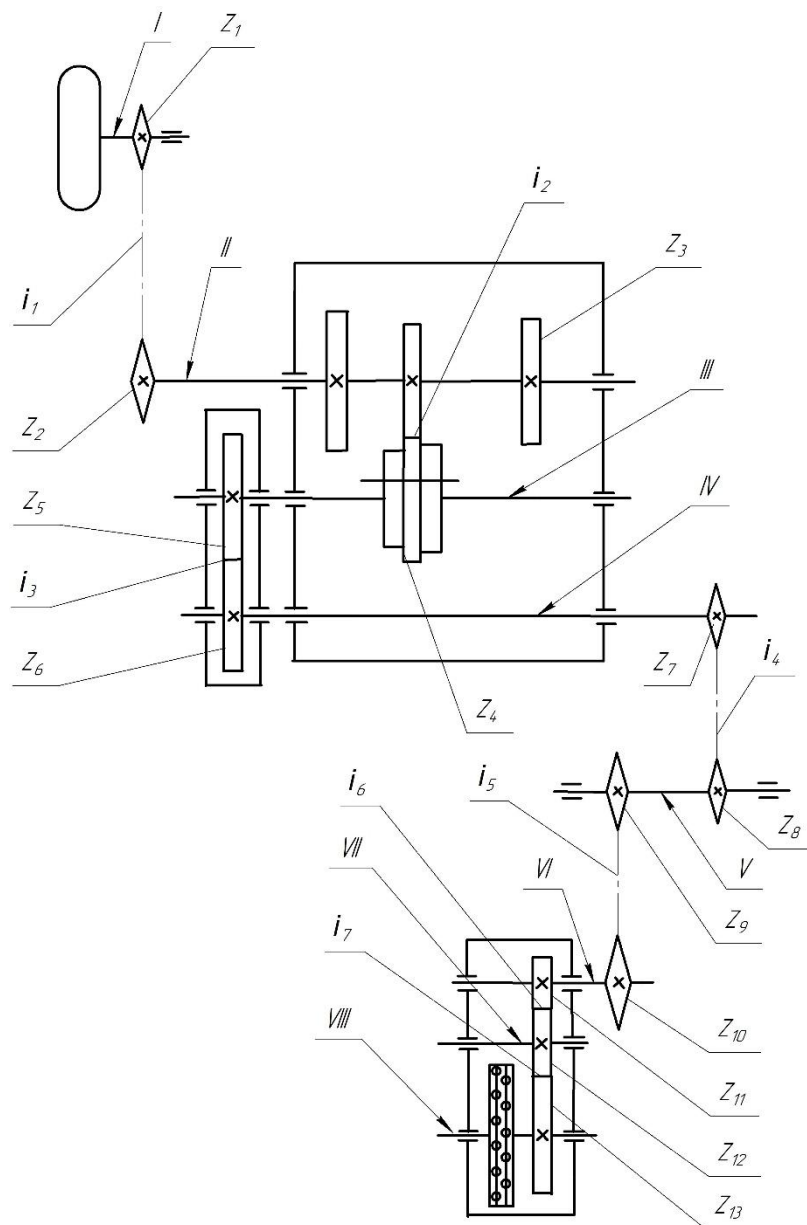


Рис. 2.2. Кінематична схема приводу сівалки ССТ–12В

$$i_2 = z_3 / z_4 = 16 / 27 = 0,59.$$

Частота обертання валу III

$$n_3 = n_2 \cdot i_2 = 83,6 \cdot 0,31 = 49,3 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_3=1,05$, $z_5=16$

$$z_6 = z_5 / i_3 = 16 / 1,05 = 15,2.$$

Приймаємо $z_6=15$. Тоді

$$i_3 = z_5 / z_6 = 16 / 15 = 1,07.$$

Оберти на IV валу

$$n_4 = n_3 \cdot i_3 = 49,3 \cdot 1,07 = 52,8 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_4=1,4$ і $z_7=14$

$$z_8 = z_7 / i_4 = 14 / 1,4 = 10.$$

Приймаємо $z_8=10$.

Оберти на V валу

$$n_5 = n_4 \cdot i_4 = 52,8 \cdot 1,4 = 73,9 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_5=1$, $z_9=7$, отже

$$z_9 = z_{10} = 7.$$

Оберти на VI валу

$$n_6 = n_5 \cdot i_5 = 73,9 \cdot 1,0 = 73,9 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_6=0,33$ і $z_{11}=13$, звідки

$$z_{12} = z_{11} / i_5 = 13 / 0,3 = 39,4.$$

Приймаємо $z_{12}=40$, тоді

$$i_6 = z_{11} / z_{12} = 13 / 40 = 0,325.$$

Оберти на VII валу

$$n_7 = n_6 \cdot i_6 = 73,9 \cdot 0,325 = 24 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення останньої передачі механізму приводу становить

$$i_7 = \frac{i_{\text{зmin}}}{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 \cdot i_6} = \frac{0,137}{1,11 \cdot 0,59 \cdot 1,07 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,325} = 0,43.$$

Задаємося $z_{13}=40$. Тоді

$$z_{14} = z_{13} / i_7 = 40 / 0,43 = 93,02.$$

Приймаємо $z_{14}=90$. Отже

$$i_7 = z_{13} / z_{14} = 40 / 90 = 0,44.$$

Частота обертання валу VIII

$$n_8 = n_7 \cdot i_7 = 24 \cdot 0,44 = 10,56 \text{ хв}^{-1}.$$

Розбіжність Δ визначеної частоти обертання вала висівного диска n_{δ} $\delta=10,32 \text{ хв}^{-1}$ і потрібного $n_{\delta}^1=10,56 \text{ хв}^{-1}$, для мінімальної норми висіву

$$\Delta = \frac{10,32 - 10,56}{10,56} \cdot 100 = -2,27 \%,$$

Отже вона не перевищує допустиму межу у 5%. Розрахунки проведено вірно.

Аналогічно визначаємо показники для максимальної норми висіву 40 кг/га

$$i_{3max} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 \cdot i_6 \cdot i_7 = 0,366.$$

Показники першої ступені механізму приводу не змінюється, тому $i_1=1,11$;
 $z_1=10$; $z_2=9$; $n_2=83,6 \text{ хв}^{-1}$.

Передаточне відношення $i_2=1,25$; $z_3=24$

$$z_4 = z_3 / i_2 = 24 / 1,25 = 19,2.$$

Приймаємо $z_4=19$, отже

$$i_2 = z_3 / z_4 = 24 / 19 = 1,26.$$

Частота обертання валу III

$$n_3 = n_2 \cdot i_2 = 83,6 \cdot 1,26 = 105,3 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_3=1,3$; $z_5=19$

$$z_6 = z_5 / i_3 = 19 / 1,3 = 14,6.$$

Приймаємо $z_6=15$

$$i_3 = z_5 / z_6 = 19 / 15 = 1,27.$$

Частота обертання валу IV

$$n_4 = n_3 \cdot i_3 = 105,3 \cdot 1,27 = 133,7 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_4=1,4$; $z_7=14$

$$z_8 = \frac{z_7}{i_4} = 14 / 1,4 = 10.$$

Приймаємо $z_8=10$.

Частота обертання валу V

$$n_5 = n_4 \cdot i_4 = 133,7 \cdot 1,4 = 187,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Задаємося $i_5=1$, $z_9=7$. Тоді

$$z_9 = z_{10} = 7.$$

Оберти на VI валу

$$n_6 = n_5 \cdot i_5 = 187,2 \cdot 1,0 = 187,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення $i_6=0,33$ і $z_{11}=13$, отже

$$z_{12} = z_{11} / i_5 = 13 / 0,3 = 39,4.$$

Приймаємо $z_{12}=40$, тоді

$$i_6 = z_{11}/z_{12} = 13/40 = 0,325.$$

Визначаємо оберти на VII валу:

$$n_7 = n_6 \cdot i_6 = 187,2 \cdot 0,325 = 60,8 \text{ хв}^{-1}.$$

Передаточне відношення на валу VIII

$$i_7 = \frac{i_{заг. max}}{i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdot i_4 \cdot i_5 \cdot i_6} = \frac{0,366}{1,11 \cdot 1,26 \cdot 1,27 \cdot 1,4 \cdot 1,0 \cdot 0,325} = 0,45.$$

Приймаємо $z_{13}=40$

$$z_{14} = z_{13}/i_7 = 40/0,45 = 88,8.$$

Приймаємо $z_{14}=90$. Отже

$$i_7 = z_{13}/z_{14} = 40/90 = 0,44.$$

Частота обертання валу VIII

$$n_8 = n_7 \cdot i_7 = 60,8 \cdot 0,44 = 26,32 \text{ хв}^{-1}.$$

Розбіжність Δ с

$$\Delta = \frac{27,57 - 26,32}{26,32} \cdot 100 = 4,75 \%$$

менша допустимої, що підтверджує точність зробленого розрахунку.

2.4. Енергетичний розрахунок

Для обґрунтування енергетичних характеристик використано такі вихідні дані: $P_{max}=30$ Н (зусилля руйнування проса) та $d=0,22$ м (діаметр диска). Крутний момент на приводному валу обчислюється виходячи з умови збереження цілісності насіння, згідно з якою діюче колове зусилля не повинно досягати значень, що призводять до деформації зерна

$$M_{руйн} = P_{max} \cdot \frac{d}{2} = 30 \cdot \frac{0,22}{2} = 3,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент обертання на будь-якому наступному валу механізму привода

$$M_{m-1} = M_n \cdot \frac{i_{n-1}}{\eta_3}, \quad (2.3)$$

де i_{n-1} – передаточне відношення передачі;
 η_3 – загальний ККД передачі і підшипників.
 Отже

$$M_7 = \frac{M_8 \cdot i_7}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

де η_1 – ККД зубчастої передачі, $\eta_{зуб}=0,93\dots0,95$;
 η_2 – ККД підшипників ковзання, $\eta_{підш}=0,98$

$$M_7 = \frac{3,3 \cdot 0,44}{0,94 \cdot 0,98} = 1,58 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Аналогічно

$$M_6 = \frac{M_7 \cdot i_6}{\eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{1,58 \cdot 0,325}{0,94 \cdot 0,98} = 0,56 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_5 = \frac{M_6 \cdot i_5}{\eta_1 \cdot \eta_2},$$

де $\eta_{ланц}$ – ККД ланцюгової передачі, $\eta_{ланц}=0,97$

$$M_5 = \frac{0,56 \cdot 1}{0,97 \cdot 0,98} = 0,59 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_4 = \frac{M_5 \cdot i_4}{\eta_1 \cdot \eta_2} = \frac{0,59 \cdot 1,4}{0,97 \cdot 0,98} = 0,87 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Вал IV передає обертання до 6 висівних апаратів, тоді момент обертання

$$M'_4 = M_4 \cdot 6 = 0,87 \cdot 6 = 5,21 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_3 = \frac{M'_4 \cdot i_3}{\eta_1 \cdot \eta'_2},$$

де η'_2 – ККД підшипників кочення, $\eta'_2=0,99$

$$M_3 = \frac{5,21 \cdot 1,27}{0,94 \cdot 0,99} = 7,11 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент обертання на вихідному валу коробки зміни передач

$$M'_2 = \frac{M_3 \cdot i_2}{\eta_1 \cdot \eta'_2} = \frac{7,11 \cdot 1,26}{0,94 \cdot 0,99} = 9,63 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Враховуючи, що ведучий вал КЗП також передає обертовий момент M_2 на привід трьох туковисівних апаратів, то загальний обертовий момент на II валу становить:

$$M_2 = M'_2 + M''_2,$$

$$M''_2 \approx 9,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тоді:

$$M_2 = 9,63 + 9,6 = 19,23 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

І нарешті, обертовий момент на I валу механізму привода (вала опорно—приводного колеса) для приводу 6—ох насіннєвих і 3—ох туковисівних апаратів буде становити

$$M_1 = \frac{M_2 \cdot i_1}{\eta_1 \cdot \eta'_2} = \frac{19,23 \cdot 1,11}{0,97 \cdot 0,98} = 22,45 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Актуальність питання та задачі дослідження

Значущість проса як сільськогосподарської культури зумовлена її універсальним призначенням. Крім високих поживних показників кінцевого продукту переробки, культура забезпечує господарства цінними кормовими сумішами на основі відходів зерновиробництва.

Важливою біологічною перевагою проса є його адаптивність до графіків посівної кампанії. Короткий період росту (65–90 днів) та можливість висіву в пізні агротехнічні строки дозволяють використовувати цю культуру як надійний резерв для мінімізації економічних ризиків. Зокрема, просо є оптимальним варіантом для компенсації втрат основних зернових культур у несприятливі роки.

Але, не дивлячись на всю цінність цієї культури, якість посіву залишається не дуже високою. І саме це головним чином впливає на врожай проса і поступово привело до скорочення площ, що відводяться під цю культуру.

Однією із складових успіху по отриманню високого врожаю проса є якісний висів. Висів насіння проса можна проводити кількома способами: вузькорядним, рядовим, стрічковим і широкорядним.

Однією із головних біологічних особливостей культури проса являється його повільний розвиток в перші періоди життя. Тому просо більше, ніж будь-яка інша культура, страждає від бур'янів. Значно простіше боротися з бур'янами при посіві проса широкорядним способом, застосовуючи міжрядну механічну обробку.

Ефективність широкорядних посівів проса неодноразово підкреслювалася в роботах провідних дослідників [1–6]. Практика показує, що оптимізація площі живлення сприяє приросту врожаю до 15 ц/га та значному поліпшенню біохімічного складу насіння (зокрема, підвищенню вмісту протеїну на 2,8%). Економічний ефект підсилюється зниженням витрат посівного матеріалу на 30–50% завдяки розрідженню норми висіву.

Аналіз технічного забезпечення посівної кампанії вказує на два основні типи машин. Зернові сівалки, попри простоту експлуатації, мають суттєвий недолік – невідповідність ширини захвату параметрам просапних культиваторів. Це змушує аграріїв проводити трудомістке дообладнання техніки (наприклад, додавання секцій до КРН–4,2). На противагу цьому, бурякові посівні агрегати гарантують прецизійне розміщення насіння та повну синхронізацію з парком бурякових культиваторів. Використання широкозахопних комплексів (5,4 м) замість стандартних 3,6-метрових дозволяє інтенсифікувати виробництво, збільшуючи темпи робіт на 20–50%. Це зумовлює вибір бурякових сівалок як базового знаряддя для даної технології.

Саме тому використання бурякових сівалок з катушковими апаратами є найбільш доцільним для широкорядного висіву проса.

Після впровадження у виробництво овочевих сівалок, що мають пристосування для рядового посіву, виникла необхідність використання бурякових для посіву насіння круп'яних культур.

Згідно проведених порівняльних досліджень (табл. 3.1.) видно, що по якості висіву (рівномірності розподілення насіння у рядку) ці сівалки не мають переваг перед рядовими зерновими сівалками СЗ–3,6.

Табл. 3.1

Порівняльні характеристики якості висіву насіння проса різними
сівалками

Якісні показники висіву	Сівалка		
	СЗ–3,6	СО– 4,2	СУПО–6
Середнє квадратичне відхилення числа насіння проса на 5–сантиметровій ділянці σ , мм	5,3	5,8	6,1
Коефіцієнт варіації кількості насіння на 5–сантиметровій ділянці V , %	42,4	45,7	49,2
Точність висіву (кількість ділянок з числом насіння проса в границях $(M_{cp} \pm 0,5 M_{cp})$) T , %	71,6	67,6	61,3

Із існуючих конструкцій висіваючи пристроїв найбільш високу якість висіву (рівномірності розподілу насіння як вздовж рядка, так і по глибині) забезпечують апарати для пунктирної сівби – вертикально–дисккові висівними апарати.

Суттєвою вадою апаратів точного висіву виступає їхня обмежена функціональність, що передбачає роботу виключно з цукровим буряком. Це зумовило необхідність пошуку конструктивних рішень для підвищення універсальності наявного парку машин. Якщо адаптація під насіння схожих фракцій проходила успішно, то робота з культурами іншої морфологічної структури вимагала глибшого вивчення процесів.

Доцільність використання бурякових посівних комплексів на посівах проса аргументується не лише якістю розподілу насіння у рядку, а й організаційно-господарськими факторами. Оскільки вегетаційні цикли та календарні графіки польових робіт для цих культур не перетинаються, інтеграція проса в технологічний ланцюг бурякових господарств дозволяє суттєво оптимізувати навантаження на техніку. Спільні параметри технології вирощування (норми висіву, геометрія поля) підтверджують перспективність досліджень, спрямованих на вивчення роботи вертикально-дисккових висівних органів із насіннєвим матеріалом проса.

3.1.1. Аналіз можливостей висіву проса вертикально–дискowymi апаратами

Питання висіву вертикально–дисківим висівним апаратом насіння проса, зокрема: подрібнення і просипання насіння, забезпечення потрібних норм висіву тощо. Під час досліджень встановлено, що висів насіння проса такими апаратами неможливий, так як при висіві спостерігається підвищене подрібнення насіння (до 5%), а також значний витік його через зазори між висівним диском і роликом, диском і кришкою, в місці з'єднання бункера з корпусом і кришкою (сумарний витік складає 20–30%).

Якщо виток насіння проса можна запобігти, не вносячи принципових змін в конструкцію апарата, то подрібнення насіння виключити не можна, зберігши принцип відбивання “зайвого” насіння за допомогою металічного зчісуючого ролика.

При перевірці забезпечення необхідних норм висіву насіння проса було встановлено, що для висіву насіння проса можна використовувати обоє серійних бурякових диска. При цьому диски з малим діаметром чарунок ($d_ч=5$ мм) забезпечують норми висіву від 10 до 30 кг/га, а диск з чарунками великого діаметра ($d_ч=6$ мм) – від 20 до 50 кг/га.

Значна частина зазначених досліджень була присвячена аналізу чинників, що зумовлюють інтенсивне травмування посівного матеріалу. Експериментально доведено, що основна частка подрібненого зерна проса утворюється безпосередньо в зоні взаємодії з відбивачем. Механізм пошкодження полягає в ефекті заклинювання насіння в робочому просторі, що виникає через порушення фундаментальної умови вільного вислизання:

$$\alpha_з > \alpha_{кр}$$

де $\alpha_з$ – геометричний кут защемлення насінини;
 $\alpha_{кр}$ – його критичне порогове значення.

Невиконання цієї нерівності призводить до виникнення критичних напружень у структурі зерна та його подальшого руйнування.

Дійсно, як видно зі схеми 3.1, при відбиванні мілконого насіння, до якого відносяться насіння проса, кут защемлення якого значно менше, ніж при відбиванні більш крупного насіння ($\alpha' < \alpha''$) і тому виконати умови висковзування насіння в першому випадку значно важче.

Кут защемлення і критичне значення кута защемлення

$$\alpha_{кр} = \varphi_1 - \varphi_2; \quad (3.1)$$

$$\alpha_з = 2 \cdot \arctg \sqrt{\frac{r_н}{r}}, \quad (3.2)$$

де φ_1 – кут тертя насіння об диск;
 φ_2 – кут тертя насіння об ролик;

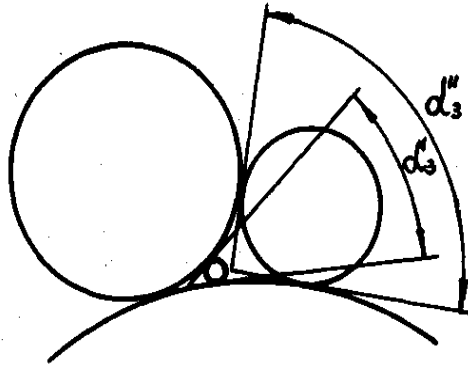


Рис. 3.1. Вплив розмірів насіння на величину кута затискання

r_n – радіус насіння;

r – радіус зчісуючого ролика.

З рівняння 3.2 видно, що зі зменшенням розміру (радіуса) насіння (r_n) умови відбивання погіршуються (α_3 зменшується і виконання умови висковзування насіння $\alpha_3 > \alpha_{кр}$ погіршуються). З метою запобігання деструктивним навантаженням на біологічні об'єкти в процесі дозування, за результатами проведених розрахунків рекомендовано модернізувати зчісувальний вузол. Ефективним заходом є збільшення коефіцієнта тертя робочої поверхні ролика (φ_2) та оптимізація його геометричних параметрів у бік зменшення діаметра, що створює сприятливі умови для вільного вислизання насінин і нівелює ефект заклинювання.

3.1.2. Огляд конструкцій і аналіз їх роботи та задачі дослідження

Для вивчення можливості заміни пристрою, що відображає, у вигляді металевого зчісуючого ролика яким–небудь іншим з метою зменшення пошкодження насіння був проведений огляд конструкцій існуючих відбивачів. Найпоширеніші з них показані на рис. 3.2.

За способом дії на "зайве насіння" їх можна розділити на дві групи: пасивні і активні (що обертаються). У свою чергу, серед пасивних відбивачів можна виділити: нерухомі і рухомі, з простою і складною формою.

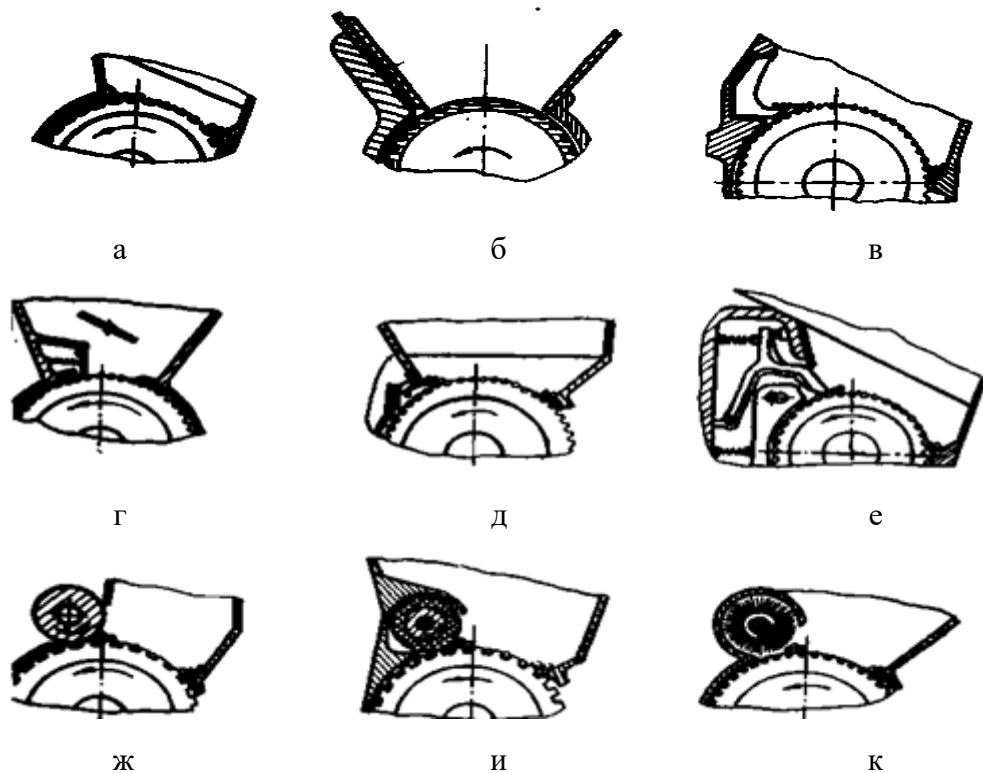


Рис. 3.2. Конструкції пристроїв для відбивання насіння

а – нерухомий пасивний відбивач – стінка корпусу висівного апарату, б – пасивний відбивач – жорстко закріплена регульована пластина, в – пасивний відбивач складної форми, г, д, е – рухомі пасивні відбивачі, ж – активний відбивач – металевий ролик, и – активний відбивач – покритий гумою ролик, к – активний відбивач – еластична щітка

Активні відбивачі можуть бути виконаний з жорсткою (металевої) поверхнею обода, еластичною або щітковою. Найпростішим варіантом нерухомого пасивного відбивача (рис. 3.2 а) є використання, як відбивач стінки корпусу апарату. Пасивний відбивач у вигляді жорстко встановленої пластини (рис. 3.2 б) застосовується на сівалках ІР-2С, "Дельфос", А-695-5М, "Мульти-Культа", "Палм" та ін. Позитивною стороною пасивних відбивачів, є простота конструкції і відсутність приводу. Проте вони мають і значні недоліки – можливість скупчення насіння у відбивачів і утворення щільних зведень, перешкоджаючих заповненню чарунок, сильне пошкодження насіння (до 10% і більше). Одним з недоліків є і необхідність точного регулювання зазору між диском і відбивачем, оскільки при великому зазорі насіння затягується під

відбивач, а при малому – останній тре по диску (внаслідок радіального биття диска). При застосуванні рухомих підпружинених пасивних відбивачів (рис. 3.2 г, д, е) поліпшується заповнення, зменшується ущільнення насіння в чарунках, проте пошкодження насіння залишається приблизно таким же (до 10,5%).

Активний відбивач – металевий ролик, що обертається, з'явився в результаті подальшого вдосконалення конструкції пасивного відбивача з метою усунення скупчення насіння в місці його установки і створення циркуляції в масі насіння для поліпшення заповнення чарунок. Такі відбивачі (рис. 3.2 ж, е) застосовуються у вертикально–дисккових висівних апаратах вітчизняного і закордонного виробництва: ССТ, "Монодріл", "Центрадріл", "Екзакта" та ін. Перевагою таких апаратів є поліпшення заповнення чарунок насінням і зниження пошкодження в порівнянні з пасивними відбивачами, хоча і в цьому випадку пошкодження насіння продовжує залишатися значним.

Апарати "Глостер", "Вебб" та ін. мають відбивачі у вигляді покритого гумою ролика (рис. 3.2 і), а апарат "Тенк" – у вигляді еластичної щітки (рис. 3.2 д). Такі конструкції відбивачів застосовуються для зменшення пошкодження насіння і запобігання поломки апарату при попаданні чужорідних тіл в бункер з насінням. Проте перші з них мають достатньо велику жорсткість і також значно ушкоджують насіння, а інші – невелику довговічність через інтенсивний знос щіток. Найпоширеніше застосування у вертикально–дисккових висівних апаратах з розглянутих типів відбивачів, отримали активні відбивачі у вигляді металевого або покритого гумою ролика. Проте, як було відзначено вище, при висіві насіння вказані відбивачі ушкоджують їх вище за допустимі межі.

Аналітичний огляд підтверджує: основний фактор, що перешкоджає ефективній роботі вертикально-дисккових апаратів – це високий рівень пошкодження зерна штатним відбиваючим пристроєм. Для розв'язання цієї проблеми необхідно інтегрувати в конструкцію апарата альтернативний принцип сепарації надлишкового насіння.

Одним із технічних рішень, що гарантує збереження цілісності біологічних об'єктів, є використання сили тяжіння для спонтанного осипання зайвих зернин.

Ця концепція покладена в основу роботи закордонних та вітчизняних похило-дискових сівалок (John Deere, Ebru, СКРН–12Б). Застосування такого методу для висіву проса є доцільним, оскільки специфічні фізико-механічні властивості цієї культури – зокрема відмінна текучість та низький коефіцієнт зовнішнього тертя – сприяють безперешкодному гравітаційному скиданню надлишків із поверхні диска.

Недоліком цього способу являється вплив кута нахилу висіваючого диску на якість роботи, що ускладнює застосування сівалки з такими апаратами при посіві на схилах.

Конструктивна схема (рис. 3.3) демонструє процес гравітаційної сепарації надлишкового насіння. Потік зерна з бункера контролюється заслінкою 1, утворюючи в камері вільну поверхню під кутом γ . Для стабільної роботи апарата ключовим є дотримання умови вислизання насінин із комірок: кут нахилу поверхні диска α має перевищувати кут зовнішнього тертя φ .

При вертикальному положенні системи (рис. 3.3 а) гранична точка А характеризується кутом α_1 . Проте під час експлуатації на нерівностях рельєфу можливий нахил корпусу вперед (рис. 3.3 б), що спричиняє переміщення критичної зони в точку А₁. Коли результуючий кут нахилу α_2 падає нижче порогу тертя, насіння перестає осипатися і потрапляє в зону активного контакту зі зчісувальним роликом, що неминуче веде до роздавлювання біологічних об'єктів. Оптимізація вузла шляхом монтажу захисної перетинки 2 у точці А дозволяє локалізувати зону наповнення та виключити можливість травмування насіння.

У штатному режимі роботи перетинка залишається пасивним елементом, оскільки природний нахил диска забезпечує вільне осипання зерна ($\alpha_1 > \varphi$). Її активна роль проявляється лише при зміні просторової орієнтації апарата: перегородка блокує потік насіння, що прагне потрапити під ролик, і виключає можливість його подрібнення.

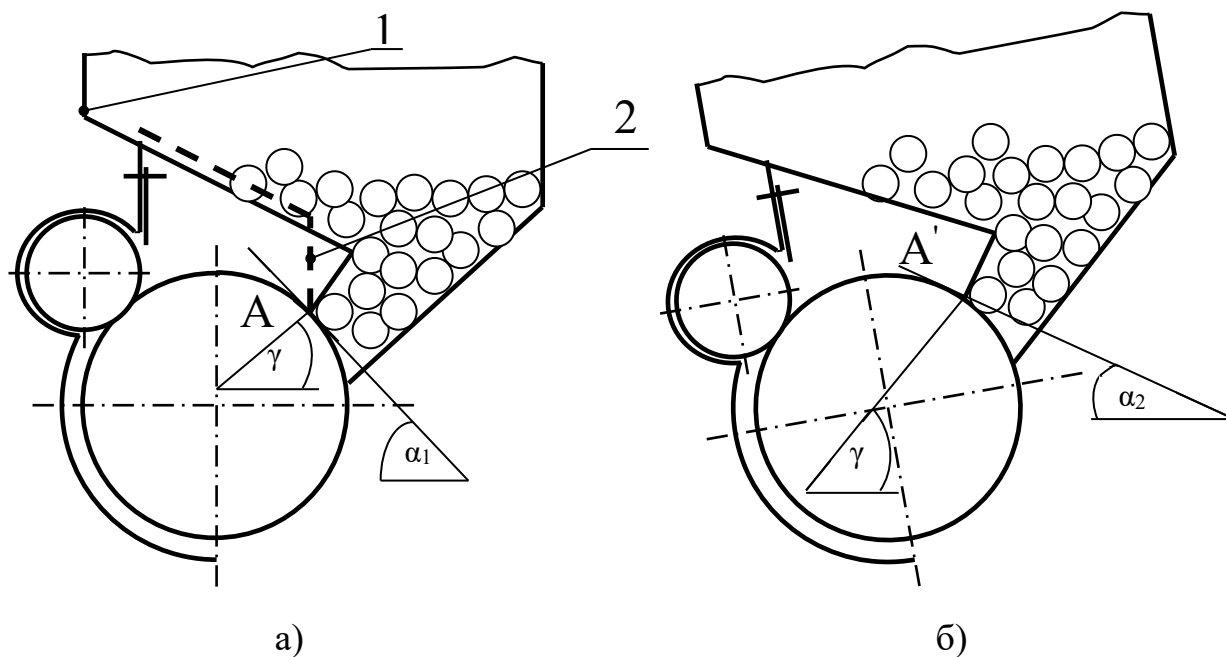


Рис. 3.3. Схема розташування насіння в насіннєвій камері

а – при нормальному положенні висівального апарата; б – при нахилі його вперед

Оскільки перетинка виконує функцію запобіжного пасивного відбивача, критично важливим є розрахунок її оптимального положення. Необхідно мінімізувати робочі зазори, щоб уникнути защемлення насінин між нею та площиною диска.

Загальні висновки:

1. Експлуатація наявних бурякових сівалок на посівах проса є неефективною через конструктивну недосконалість висівних органів. Штатні вертикально-дискові механізми спричиняють масове пошкодження біологічного матеріалу металевими елементами відбивачів, що робить якісний висів цієї культури неможливим без докорінної модернізації вузлів.

2. Якщо витоку насіння проса можна запобігти, не вносячи принципових змін в конструкцію апарата, то подрібнення насіння виключити не можна, якщо зберегти принцип відбивання “зайвого” насіння за допомогою металічного зчісуючого ролика.

3. Ні одна із відомих конструкцій відбиваючих пристроїв не має переваги по відношенню зменшення подрібнення насіння перед активним відбивачем в вигляді жорсткого зчісуючого ролика.

Узагальнення теоретичних відомостей дозволило визначити проблемне поле дослідження, що полягає у необхідності вдосконалення процесу видалення зайвих насінин із комірок. Відповідно, ключовими задачами визначено моделювання процесу роботи пасивного відбивача та наукове підтвердження його оптимальних параметрів, які б гарантували збереження цілісності насіння при високій якості дозування.

3.2. Обґрунтування мети роботи, формування задач, об'єкту та предмету досліджень

Систематизація та критичний аналіз опрацьованих літературних джерел дає змогу виявити ключові вектори еволюції технічних засобів, призначених для висіву проса. Пріоритетним напрямом розвитку в цьому сегменті є адаптація вертикально-дискових висівних систем, що традиційно застосовуються в бурякових сівалках, до специфічних фізико-механічних властивостей дрібнонасінневих культур.

Мета – підвищення якості посіву насіння проса шляхом обґрунтування параметрів вертикально–дискового висівного апарата бурякової сівалки.

Задачі досліджень:

1. Комплексний порівняльний аналіз конструкцій найбільш розповсюджених моделей вертикально-дискових апаратів.
2. Дослідити закономірності впливу конструкторсько–технологічних параметрів вертикально–дискових висівних апаратів бурякових сівалок на подрібнення насіння проса при посіві.

Об'єктом дослідження є процес заповнення чарунок диска вертикально–дискового висівного апарата бурякової сівалки.

Предметом досліджень є конструктивні та технологічні параметри вертикально–дискового висівного апарата бурякової сівалки.

3.3. Теоретичні дослідження можливості висіву насіння проса вертикально–дискowymi висівними апаратами

3.3.1. Відбивання "зайвого насіння" пасивним відбивачем

Враховуючи раніше виявлену проблему підвищеного подрібнення насіння проса штатними системами, теоретична частина дослідження спрямована на обґрунтування геометрії пасивного відбивача. Основний акцент зроблено на виключенні ймовірності силового затискання зернин у робочих зазорах.

Ефективність роботи розробленого чистика залежить від кінематики руху насінини в зоні сепарації. Для запобігання пошкодженню насіння конструкція апарата повинна забезпечувати такий кут контакту між диском та чистиком, за якого виникає ефект «виштовхування». Згідно з теорією тертя та защемлення, стабільний висів без подрібнення можливий лише тоді, коли геометричний кут защемлення (α_z) є більшим за критичний кут ($\alpha_{кр}$), зумовлений фрикційними властивостями контактуючих поверхонь.

Для цього необхідне теоретично обґрунтувати параметри пасивного відбивача з урахуванням параметрів диска і висіваємого насіння. Важливе значення для роботи пасивного відбивача має зазор між чистиком і диском δ . Обґрунтування зазору δ повинне проводитись з урахуванням найгірших умов відбивання "зайвого насіння", при цьому необхідно мати на увазі, що критерієм можливості відбивання "зайвого насіння" є розташування центру ваги такого насіння вище за кромку чарунки.

Відбивання насіння, частково, що знаходиться в чарунці, більш трудомісткий процес, ніж насіння, що знаходиться на поверхні диска. Як бачимо з рис. 3.4 і 3.5 це пояснюється тим, що при опусканні насіння в чарунку кут між дотичними до поверхні насінини в точках контакту насінини з кромкою чарунки і відбивачем α_z різко зменшується і забезпечити умови відбивання „зайвого” насіння ($\alpha_z > \alpha_{кр}$) стає значно важче, тому цей випадок ми розглянемо детальніше.

Розглянемо роботу пасивного відбивача (рис. 3.5).

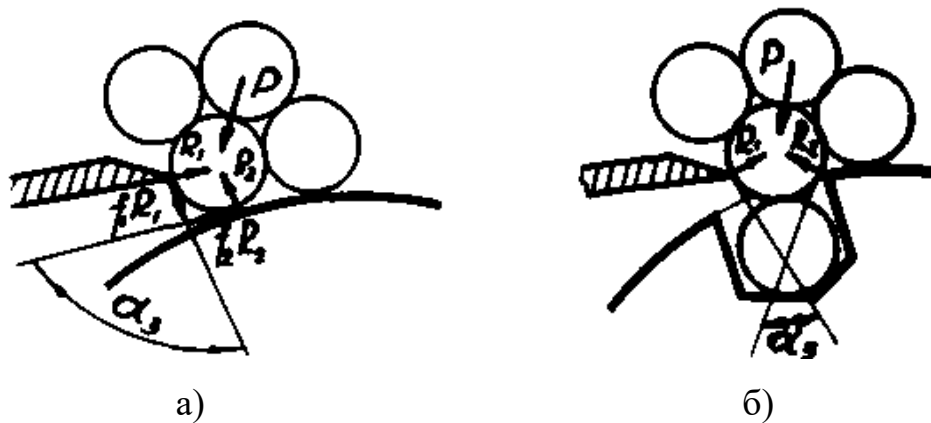
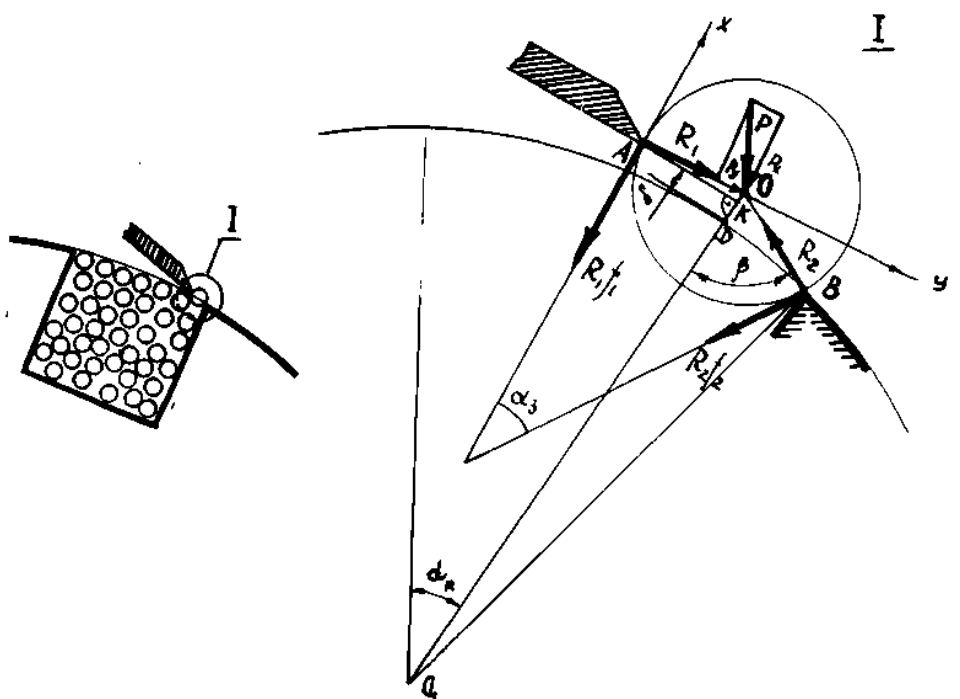


Рис. 3.4. Схема відбивання насіння

а – пасивним відбивачем, розташованим на поверхні диска; б – насіння, що знаходиться в чарунці



R_1, R_2, R_3 – реакції тиску відбивача, диска і нижньої насінини на відбиване насіння;

$f_1 R_1, f_2 R_2, f_3 R_3$ – сили тертя в точках дотику насіння з відбивачем і диском;

G – вага насіння;

C – відцентрова сила інерції обертання диска;

P – тиск насіння в бункері на відбиване насіння.

Задача по визначенню умов відбивання "зайвого" насіння пасивним відбивачем зводиться до визначення критичної величини кута заклинювання $\alpha_{кр}$, що враховує параметри диска і насіння.

Для цього необхідно розв'язати рівняння граничної рівноваги "зайвого" насіння під дією плоскої системи сил за наявності сил тертя. З цією метою діючі на насіння сили спроектуємо на осі X і Y .

Силами G і C в порівнянні з реакціями R_1 і R_2 можна знехтувати, а R_3 в момент відриву верхньої насінини рівна нулю. Позитивне направлення відліку для кута приймаємо проти годинникової стрілки. За позитивне направлення осі X виберемо напрям відбивання насіння чистиком (вгору), а осі Y – напрямом реакції чистика R_1 .

Умови рівноваги всіх сил в системі координат XAY на осі X і Y

$$\sum F_x = 0; \quad -R_1 f_1 - R_2 f_2 \cos \alpha_3 + R_2 \sin \alpha_3 - P_x = 0; \quad (3.3)$$

$$\sum F_y = 0; \quad -R_1 - R_2 f_2 \sin \alpha_3 - R_2 \cos \alpha_3 + P_y = 0, \quad (3.4)$$

де P_x і P_y – проекції тиску насіння, що знаходиться в бункері на "зайве" насіння на осі X і Y .

З рівняння 3.4 знаходимо:

$$R_1 = R_2 f_2 \sin \alpha_3 + R_2 \cos \alpha_3 - P_y. \quad (3.5)$$

Підставивши отриманий вираз для R_1 в рівняння 3.3, отримаємо:

$$-f_1 R_2 f_2 \sin \alpha_3 - f_1 R_2 \cos \alpha_3 + f_1 P_y - f_2 R_2 \cos \alpha_3 - R_2 \sin \alpha_3 - P_x = 0. \quad (3.6)$$

Знаходимо значення P_x і P_y , що входять в рівняння 3.6

$$P_x = P \cdot \sin[(\alpha_3 + \beta) - \alpha] = P \cdot [\sin(\alpha_3 + \beta) \cdot \cos \alpha - \cos(\alpha_3 + \beta) \cdot \sin \alpha] =$$

$$P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha + P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha - \quad (3.7)$$

$$-P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha;$$

$$P_y = P \cdot \cos[(\alpha_3 + \beta) - \alpha] = P \cdot [\cos(\alpha_3 + \beta) \cdot \cos \alpha + \sin(\alpha_3 + \beta) \cdot \sin \alpha] =$$

$$P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha - P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha + \quad (3.8)$$

$$+P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha.$$

Підставивши отримані значення P_x та P_y в рівняння 3.6, отримуємо:

$$-f_1 \cdot R_2 \cdot f_2 \cdot \sin \alpha_3 - f_1 \cdot R_2 \cdot \cos \alpha_3 + f_1 \cdot P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha -$$

$$-f_1 \cdot P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + f_1 \cdot P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha +$$

$$+f_1 \cdot P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha - R_2 \cdot \sin \alpha_3 - R_2 \cdot f_2 \cdot \cos \alpha_3 - P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha -$$

$$-P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha - P \cdot \sin \alpha_3 \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha + P \cdot \cos \alpha_3 \cdot \cos \beta \cdot \sin \alpha = 0 \quad (3.9)$$

Розділивши всі члени рівняння 3.9 на $\cos \alpha_3$ і зробивши відповідні перетворення, отримуємо

$$\operatorname{tg} \alpha_3 \cdot [R_2 - f_1 \cdot f_2 \cdot R_2 + f_1 \cdot P \cdot \sin(\alpha - \beta) - P \cdot \cos(\alpha - \beta)] =$$

$$= R_2 \cdot f_1 + R_2 \cdot f_2 - f_1 \cdot P \cdot \cos(\alpha - \beta) - P \cdot \sin(\alpha - \beta) \quad (3.10)$$

Розділивши всі члени рівняння 3.10 на R_2 і замінивши α_3 на $\alpha_{кр}$, знаходимо $\alpha_{кр}$

$$\alpha_{кр} = \arctg \frac{(f_1 + f_2) - \frac{P}{R_2} \cdot \sin(\alpha - \beta) - f_1 \cdot \frac{P}{R_2} \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\left[1 - f_1 \cdot f_2 + f_1 \cdot \frac{P}{R_2} \cdot \sin(\alpha - \beta) - \frac{P}{R_2} \cdot \cos(\alpha - \beta)\right]}. \quad (3.11)$$

Аналіз математичної моделі (3.11) свідчить, що зростання значення кута α сприяє пропорційному зменшенню критичного кута защемлення $\alpha_{кр}$. Це створює сприятливі умови для ефективної сепарації надлишкового насіння з комірок висівного диска. Проте під час визначення оптимальної верхньої межі кута α слід враховувати технологічне обмеження: його надмірне збільшення спричиняє скорочення активної зони експозиції комірок у насіннєвій камері. Це, у свою чергу, може призвести до зниження коефіцієнта наповнення та погіршення рівномірності дозування.

Для сценарію сепарації поодинокі «зайвої» насінини (коли зовнішній тиск посівного матеріалу в бункері P дорівнює нулю), базове рівняння (3.8) трансформується у наступний вигляд

$$\alpha_{kp} = \operatorname{arctg} \frac{f_1 + f_2}{1 - f_1 \cdot f_2}, \quad (3.12)$$

або

$$\alpha_{kp} = \varphi_1 + \varphi_2. \quad (3.13)$$

де φ_1 і φ_2 – кути тертя, що відповідають коефіцієнтам тертя відбивач – насіння f_1 і насіння – диск f_2 , тобто α_{kp} являється функцією тільки коефіцієнтів або кутів тертя робочих поверхонь відбивання.

Зазор між диском і відбивачем δ визначимо по геометричним залежностям із $\triangle OOO_1$ і $\triangle AOK$

$$\delta = OO_1 - O_1D - OK = OO_1 - r - OK \quad (3.14)$$

із $\triangle AOK$ маємо

$$OK = r_c \cdot \cos[180 - (\alpha_3 - \beta)] = -r_c \cdot \cos(\alpha_3 + \beta). \quad (3.15)$$

Звідки

$$\delta = OO_1 - r - r_c \cdot \cos(\alpha_3 + \beta). \quad (3.16)$$

Із $\triangle OOO_1B$ знаходимо

$$\beta = \arccos \frac{r_c^2 + OO_1^2 - r^2}{2 \cdot r_c \cdot OO_1}. \quad (3.17)$$

Максимальне значення δ визначається з умови відбивання насіння найменших розмірів:

$$\delta_{\max} = OO_1 - r - r_{c \min} \cdot \cos(\alpha_3 + \beta), \quad (3.18)$$

де OO_1 змінюється від R до $(R+r_c)$

З рівняння 3.18 видно, що зі зменшенням δ умова відбивання “зайвого” насіння покращується (збільшується α_3). Але нижня границя δ повинна вибиратися також з урахування максимального радіального биття диска.

Вочевидь, що крім розглянутих вище факторів, на процес відбивання насіння і подальше їх переміщення в насіннєвій камері будуть впливати також

такі параметри, як кут установки робочої поверхні відбивача (до осі чарунки) і радіус округлення його робочої поверхні.

На рис. 3.6 показані три можливих варіанта розташування робочої кромки відбивача.

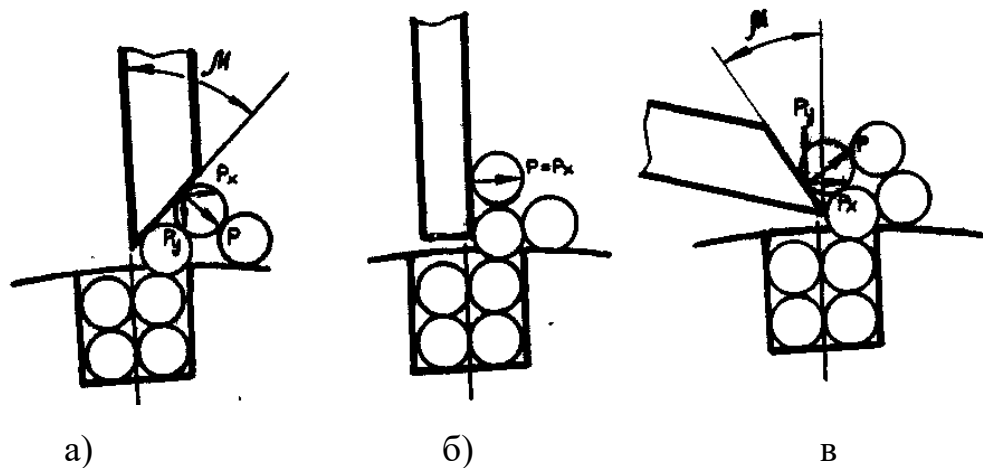


Рис. 3.6. Розташування робочої кромки чистика по відношенню до вісі чарунки

а – $\mu < 0$; б – $\mu = 0$; в – $\mu > 0$ глибині і по ширині чарунки

Аналіз приведених схем показує, що найбільш сприятливим розташуванням робочої кромки відбивача, дозволяючими зменшити подрібнення насіння в процесі відбивання, являється схема, показана на рис. 3.6 в ($\mu > 0$), а найменш сприятливими – рис. 3.6 а ($\mu < 0$). Дійсно, в першому випадку проекція на напрямок осі чарунки реакції робочої кромки чистика P_y на насіння, прилегле до “зайвого” насіння, направлена вгору, тобто ускладнює процес видалення “зайвого” насіння. Випадок розташування робочої кромки відбивача рис. 3.6 б займає проміжне положення ($P_y = 0$).

Розглянемо, як впливає на процес відбивання “зайвого” насіння округлення робочої кромки відбивача.

Як видно із рис. 3.7, зі збільшенням радіуса округлення точка контакту відбивача з відбиваємим насінням розташовується на більшій висоті над поверхнею диска ($\delta'' > \delta'$), при цьому кут защемлення “зайвого” насіння зменшується ($\alpha'' < \alpha'$), що сприяє подрібненню.

На основі проведеного аналізу процесу відбивання “зайвого” насіння пасивним відбивачем встановлено, що пошкодження насіння залежить від зазору δ , місця установки відбивача в насіннєвій камері (кута α), кута нахилу робочої поверхні відбивача щодо осі чарунки μ та радіуса заокруглення робочого крайка відбивача.

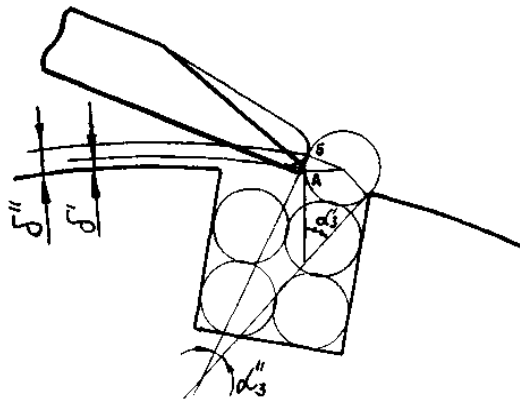


Рис. 3.7. До досліджень впливу радіуса округлення робочого крайка чистика на процес відбивання “зайвого” насіння

При збільшенні кута α , зменшенні зазору δ , розташуванні робочої поверхні відбивача під кутом $\mu > 0$ і зменшенні радіуса округлення робочої кромки відбивача ймовірність пошкодження насіння зменшується.

Але, враховуючи, що збільшення кута α приводе до зменшення зони заповнення і тому може негативно вплинути на заповнення чарунок насінням, що дуже гостра кромка чистика також сприяє підвищеному подрібненню насіння, то оптимальні значення цих факторів, а також кута μ і зазору δ потрібно уточнити при проведенні експериментальних досліджень.

3.4 Програма та методика проведення експериментальних досліджень

3.4.1. Методика експериментальних досліджень

Для вивчення впливу конструктивних параметрів розробленого пристрою на якість висіву насіння проса вертикально-дисковими апаратами було

використано лабораторну установку (рис. 3.8). Основу експериментального стенда становить серійний вертикально–дисковий висівний апарат, модернізований шляхом інтеграції спеціального вузла, що складається з обмежувальної перетинки та активного чистика. Така конфігурація дозволяє імітувати реальні умови роботи машини з можливістю точного регулювання параметрів встановленого пристосування.

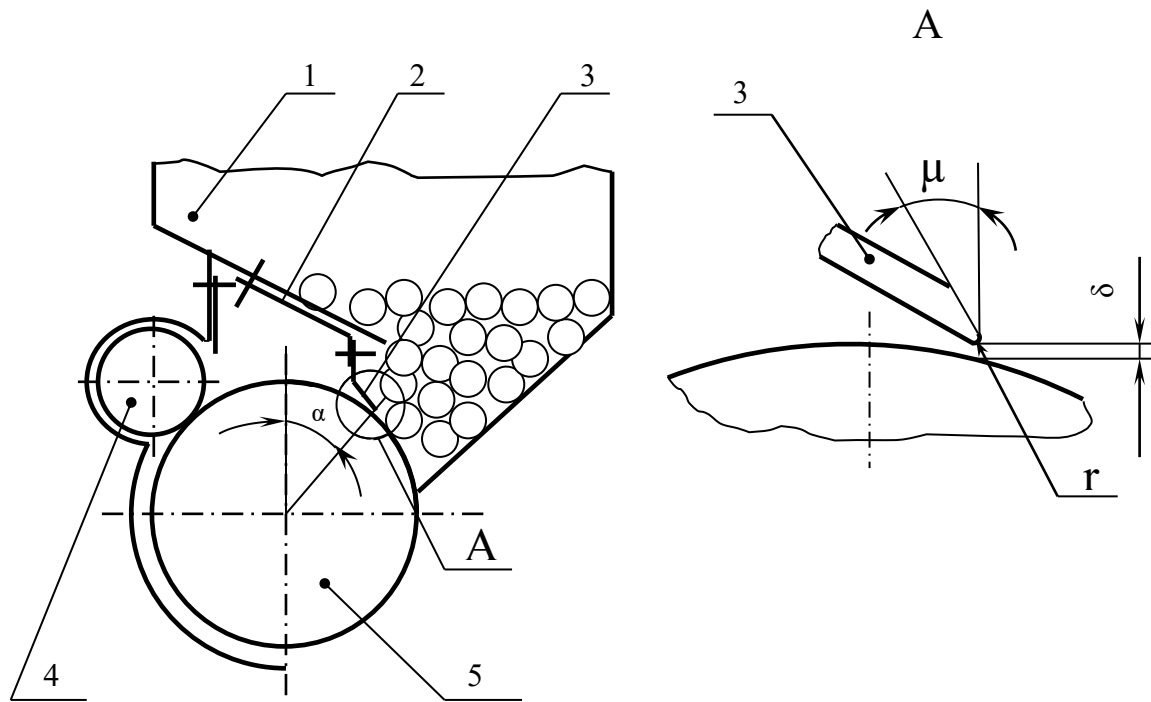


Рис. 3.8. Схема експериментального стенда для дослідження робочих параметрів висівного пристосування

1 – бункер з насінням; 2 – перетинка; 3 – чистик; 4 – зчісуючий ролик; 5 – висівний диск

Конструктивна компоновка установки дозволяє комплексно оцінити вплив геометричних та фрикційних чинників на якісні показники висіву. Основними регульованими параметрами, що підлягають дослідженню, є:

α – кут установки пасивного відбивача відносно горизонту;

δ – технологічний зазор між робочою кромкою чистика та площиною висівного диска;

μ – коефіцієнт тертя поверхні пристосування (варіюється шляхом використання змінних накладок із різних матеріалів);

r – радіус закруглення робочої поверхні відбивального елемента.

Установка функціонує за принципом замкнутого циклу, що забезпечує стабільність подачі насіннєвого матеріалу та можливість багаторазового дублювання дослідів для отримання статистично достовірних даних.

Для забезпечення герметичності насіннєвої камери та запобігання неконтрольованому витоку посівного матеріалу, серійний апарат додатково оснащений системою ущільнювачів. Ці елементи встановлені в технологічних зазорах між корпусом і висівним диском, а також у місцях прилягання кришки до корпусу, що гарантує точність експериментальних даних. Приводна система установки реалізована на базі електродвигуна постійного струму (номінальна напруга $U=24$ В, сила струму $I=6$ А). Передача крутного моменту на висівний диск здійснюється за допомогою ланцюгової передачі. Така конструкція дозволяє реалізувати плавне (безступінчасте) регулювання частоти обертання диска, що є критично важливим для імітації різних швидкісних режимів роботи сівалки. Електроживлення системи забезпечується від мережі змінного струму через блок випрямлення, який для підвищення надійності та безпеки обладнаний системою запобіжників від перевантажень.

В ході випробувань варіюються такі чинники:

α – кут установки чистика;

μ – кут робочої кромки відбивача;

δ – величина технологічного зазору;

r – радіус округлення контактної поверхні.

Особлива увага приділяється аналізу взаємодії цих параметрів при різних положеннях чистика. Оцінка якості висіву базується на двох ключових критеріях: повноті заповнення комірок насінням та рівні механічного пошкодження культури.

Для отримання високоточних кількісних показників, відібрані фракції висіяного та пошкодженого насіння піддаються зважуванню на прецизійних електронних вагах. Це дозволяє розрахувати відсотковий вміст

мікропошкоджень та загальну продуктивність апарата з високим ступенем достовірності.

3.4.2. Методика обробки експериментальних даних

Для планування та обробки експериментальних даних використовуємо спеціалізоване програмне забезпечення систему STATISTICA [7].

3.5. Результати експериментальних досліджень

3.5.1. Результати експериментальних досліджень по обґрунтуванню конструкції пристосування до вертикально–дискового апарата для висіву насіння проса

З метою верифікації теоретичних положень та перевірки адекватності розроблених моделей було проведено серію експериментальних досліджень. Для дослідів застосовувався висівний диск із такими геометричними характеристиками комірок: діаметр $d_q=6$ мм, глибина $h_q=3,3$ мм. Робочі елементи (комірки) у кількості $n_q=210$ одиниць розташовані на поверхні диска у три ряди, що дозволяє забезпечити необхідну щільність висіву.

У таблиці 3.2 систематизовано показники, які комплексно характеризують якість технологічного процесу наповнення. До них віднесено середню кількість насінин, що фіксуються в одній комірці (m'), а також інтегральний показник – середню кількість посівного матеріалу, що висівається апаратом за один повний оберт диска (M).

Таблиця 3.2

Кількість насіння, розміщеного в одній комірці при висіві за один оберт

Середня кількість насіння, розміщеного в одній комірці m' , шт.	Кількість насіння, висіяного за один оберт висіваючого диску M , %	
	$l_{\text{запов.}}=50$ мм	$l_{\text{запов.}}=35$ мм
10	100	98

З наведених у таблиці даних випливає, що скорочення протяжності зони заповнення практично не впливає на ступінь наповнення комірок насінням проса. Така закономірність свідчить про високу адаптивність технологічного процесу та підтверджує відмінну сипкість посівного матеріалу даної культури. Здатність насіння проса до швидкого самозаповнення вільних об'ємів комірок дозволяє стабілізувати роботу апарата навіть за обмеженого часу контакту диска з насіннєвим масивом.

З метою верифікації теоретичних положень щодо впливу просторової орієнтації пасивного відбивача на рівень механічного травмування зерна, а також для оптимізації його розташування в камері, було проведено серію експериментів. Отримані результати представлено у табл. 3.3.

Табл. 3.3

Вплив місця установки відбивача і зазора між диском і відбивачем
на подрібнення насіння проса

Подрібнення насіння, %										Примітка
Кут установки відбивача α , град					Радіальний зазор між відбивачем і диском δ , мм					
10	20	30	40	50	0,3	0,5	1,0	1,5		
$\frac{2,3}{2,4}$ $\frac{1,2}{1,3}$ $\frac{0,3}{0,3}$ $\frac{0,2}{0,3}$ $\frac{0,2}{0,2}$					$\frac{0,3}{0,4}$ $\frac{0,4}{0,4}$ $\frac{0,7}{0,8}$ $\frac{3,9}{3,9}$					
										1. При вивчені впливу α $\delta=0,5$ мм. 2. При вивчені впливу δ $\alpha=50^\circ$ 3. В чисельнику приведені дані для $V_d=0,078$, а в знаменнику — для $V_d=0,202$ м/с

Результати експериментальних досліджень, наведені у таблиці, демонструють чітку кореляцію: зростання кута встановлення відбивача α у поєднанні зі зменшенням радіального зазору між диском та робочим елементом сприяє суттєвому зниженню рівня подрібнення насіння. Це емпірично підтверджує достовірність раніше сформульованих теоретичних положень.

Зокрема, встановлено наступні закономірності впливу кута установки α : при збільшенні кута α на 30° (в інтервалі від 10° до 40°) рівень механічного

пошкодження насіння знижується з 2,3% до 0,2%. Це пояснюється зміною вектора сили взаємодії, що сприяє виштовхуванню насіння з небезпечної зони замість її защемлення.

Скорочення зазору між відбивачем і диском з 1,5 мм до 0,3 мм дозволяє мінімізувати травмування з 3,9% до 0,3%. Варто зауважити, що лімітуючим фактором для встановлення мінімального зазору є величина максимального радіального биття диска. Отже, підвищення точності механічної обробки зовнішньої поверхні висівного диска є стратегічним резервом для подальшої оптимізації роботи апарата.

Стосовно вибору кута α , результати експериментів вказують на доцільність його максимізації. Проте при проектуванні необхідно дотримуватися компромісу: кут має бути максимально великим для запобігання травмуванню, але при цьому забезпечувати достатню протяжність зони заповнення, необхідну для якісного наповнення комірок.

Для подальшої деталізації процесу та визначення оптимальної геометрії робочих органів було проведено наступний етап досліджень, де вивчався вплив радіуса скруглення робочої кромки чистика та кута її нахилу до осі комірки (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Вплив кута встановлення і радіуса скруглення робочої кромки чистика на подрібнення насіння

Колова швидкість диска, м/с	Подрібнення насіння, %							
	Кут встановлення робочої кромки чистика μ , град.			Радіус скруглення робочої кромки чистика, мм				
	-30	0	+30	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2
0,078	2,4	0,8	0,2	0,6	0,2	0,3	0,5	0,9
0,114	2,6	0,9	0,2	0,6	0,3	0,4	0,5	0,9
0,202	2,9	1,2	0,3	0,7	0,4	0,4	0,6	1,0

Аналіз експериментальних даних, систематизованих у таблиці, дозволяє констатувати виражену залежність між геометрією робочої кромки та рівнем травмування посівного матеріалу. Встановлено, що при збільшенні радіуса скруглення з 0,4 мм до 1,4 мм інтенсивність подрібнення насіння стрімко зростає

(у 3,4 раза). Такий характер залежності пояснюється тим, що при великих радіусах скруглення замість відсікання насінини виникає ефект її «затягування» та наступного защемлення між кромкою чистика та краєм комірки.

Мінімальний показник подрібнення зафіксовано при радіусі скруглення робочої кромки 0,4 мм, що відповідає умовам найбільш чіткого розмежування насінин. Серед досліджених конфігурацій просторової орієнтації вузла оптимальні якісні показники висіву забезпечуються при встановленні робочої кромки чистика під кутом $+30^\circ$ відносно осі комірки.

3.5.3 Дослідження сукупності впливу основних факторів на подрібнення насіння проса і визначення їх оптимальних значень

опередній поетапний аналіз дозволив встановити вектор та інтенсивність впливу окремих конструктивно-кінематичних чинників на показники травмування насіння проса. Проте методика однофакторного дослідження, за якої кожен параметр варіюється при фіксованих значеннях інших, не дає змоги оцінити ефекти їхньої взаємодії (синергію). Очевидно, що сукупний вплив комплексу факторів на вихідну величину є більш складним та значущим.

З огляду на це, для комплексного вивчення робочого процесу було застосовано методологію математичного планування багатфакторного експерименту. Під час вибору основних рівнів та інтервалів варіювання за базу було прийнято результати раніше проведених однофакторних випробувань.

Оскільки в дослідженнях використовувався серійний висівний диск, при реалізації багатфакторного плану враховувався одночасний вплив таких ключових факторів: Кут α — просторова координата встановлення перетинки (кут між вертикальною віссю диска та лінією, що з'єднує центр диска з нижньою кромкою перетинки). Зазор δ — технологічна відстань між площиною диска та перетинкою. Кут μ — нахил робочої кромки відносно геометричної осі комірки. Радіус r — скруглення нижньої робочої частини відбивального елемента. Швидкість v_0 — коловий темп обертання висівного диска.

Для мінімізації кількості дослідів без втрати статистичної достовірності в якості плану експерименту було обрано матрицю дробової репліки типу 2^{5-2} , структура якої представлена в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

План–матриця

фактор	α , град	δ , мм	r , мм	μ , град	V_0 , м/с
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Основний рівень	40	0,8	0,8	30	0,20
Інтервал варіювання	5	0,4	0,4	15	0,05
Дослід 1	–1	–1	–1	–1	–1
Дослід 2	+1	+1	–1	–1	–1
Дослід 3	–1	–1	+1	+1	–1
Дослід 4	+1	–1	+1	–1	+1
Дослід 5	–1	+1	+1	–1	+1
Дослід 6	+1	–1	–1	+1	+1
Дослід 7	–1	+1	–1	+1	+1
Дослід 8	+1	+1	+1	+1	–1

Для прискорення обробки результатів дослідів, визначення значень коефіцієнтів регресії та їх значимість, а також отримання графічних залежностей використаємо програму STATISTICA.

Таблиця 3.6

Результати проведення експериментальних дослідів

Точка плану і номер дослідів	Значення кодових факторів					Середньо–арифметичне значення $\bar{Y}_i$, см
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
1	–1	–1	–1	–1	–1	5,400
2	+1	+1	–1	–1	–1	0,467
3	–1	–1	+1	+1	–1	25,533
4	+1	–1	+1	–1	+1	16,233

5	-1	+1	+1	-1	+1	17,267
6	+1	-1	-1	+1	+1	11,000
7	-1	+1	-1	+1	+1	38,700
8	+1	+1	+1	+1	-1	29,000

Effect Estimates; Var.: Y; R-sqr=.99331; Adj.:.97657 5 factors at two levels; MS Residual=.0046014 DV: Y										
Factor	Effect	Std. Err.	t(2)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	0.738705	0.025049	29.49009	0.001148	0.630926	0.846483	0.738705	0.025049	0.630926	0.846483
(1)x ₁	-0.089091	0.050098	-1.77831	0.217323	-0.304647	0.126466	-0.044545	0.025049	-0.152324	0.063233
(2)x ₂	0.250091	0.050098	4.99198	0.037864	0.034534	0.465647	0.125045	0.025049	0.017267	0.232824
(3)x ₃	0.202909	0.050098	4.05020	0.055898	-0.012647	0.418466	0.101455	0.025049	-0.006324	0.209233
(4)x ₄	-0.177636	0.057849	-3.07070	0.091699	-0.426540	0.071267	-0.088818	0.028924	-0.213270	0.035633
(5)x ₅	0.773409	0.050098	15.43777	0.004170	0.557853	0.988966	0.386705	0.025049	0.278926	0.494483

Рис. 3.9. Результати обробки дослідів програмою STATISTICA

В результаті реалізації вибраного плану експеримента було отримане наступне рівняння регресії:

$$y = 0,738 - 0,045x_1 + 0,125x_2 + 0,101x_3 - 0,089x_4 + 0,387x_5. \quad (3.19)$$

Як видно з рис. 3.9 ваговими коефіцієнтами слід вважати b_5 та b_2 , про це свідчить також парето-карта (рис. 3.10)

Для візуальної оцінки результатів експерименту, на основі рівняння регресії, побудуємо поверхні відгуку та лінії рівного виходу (рис. 3.11–3.7).

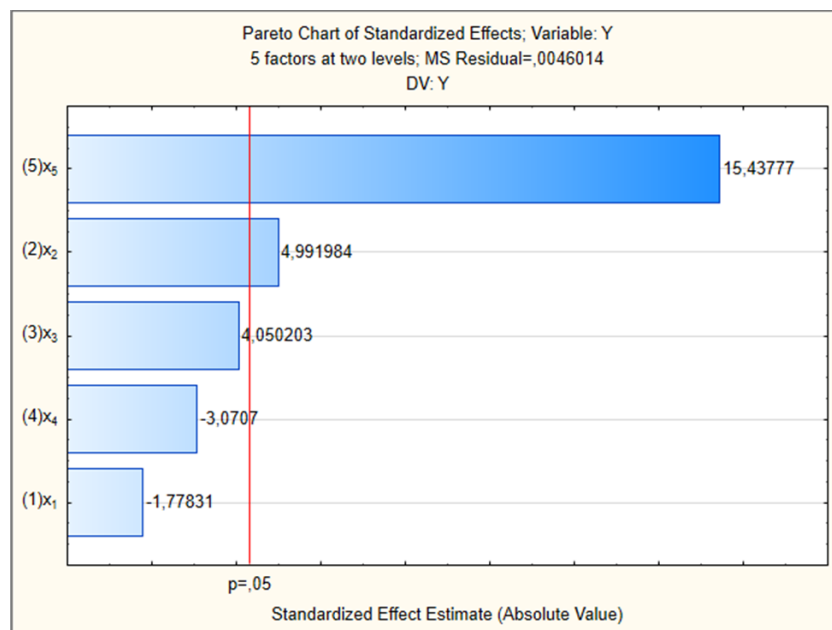


Рис. 3.10. Парето-карта

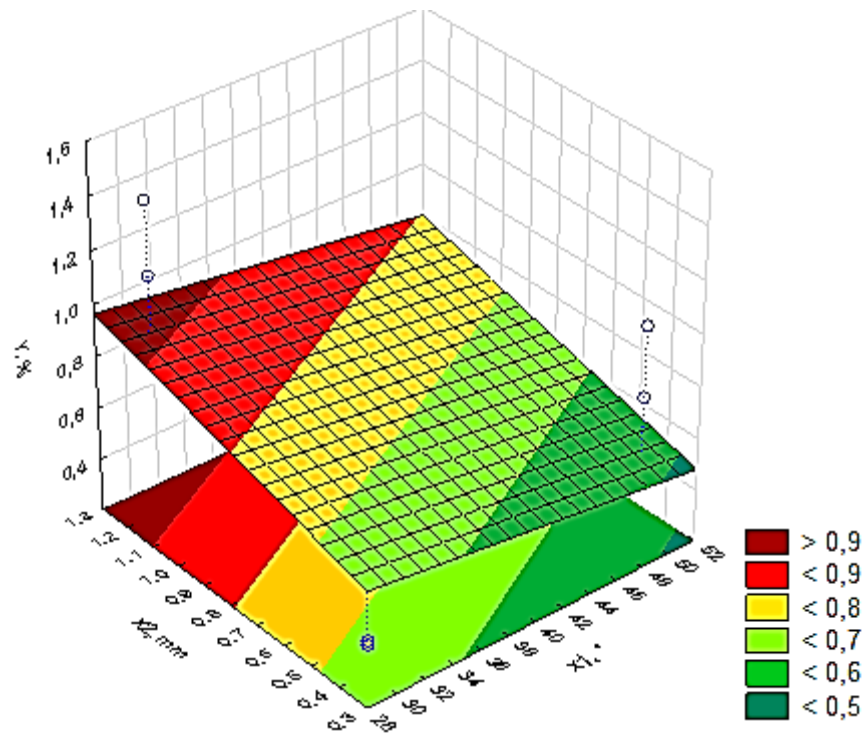


Рис. 3.11. Поверхня відгуку $Y=f(x_1x_2)$ впливу кута нахилу перетинки α та зазору між перетинкою і висівним диском δ на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

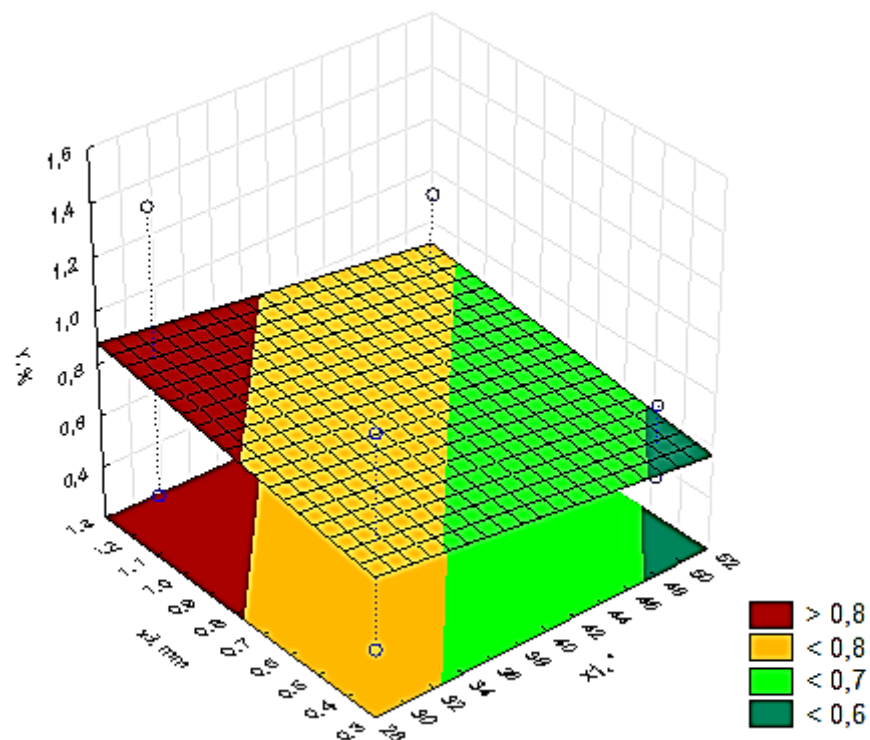


Рис. 3.12. Поверхня відгуку $Y=f(x_1x_3)$ впливу кута нахилу перетинки α та кута нахилу робочої кромки перетинки до осі чарунки μ на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

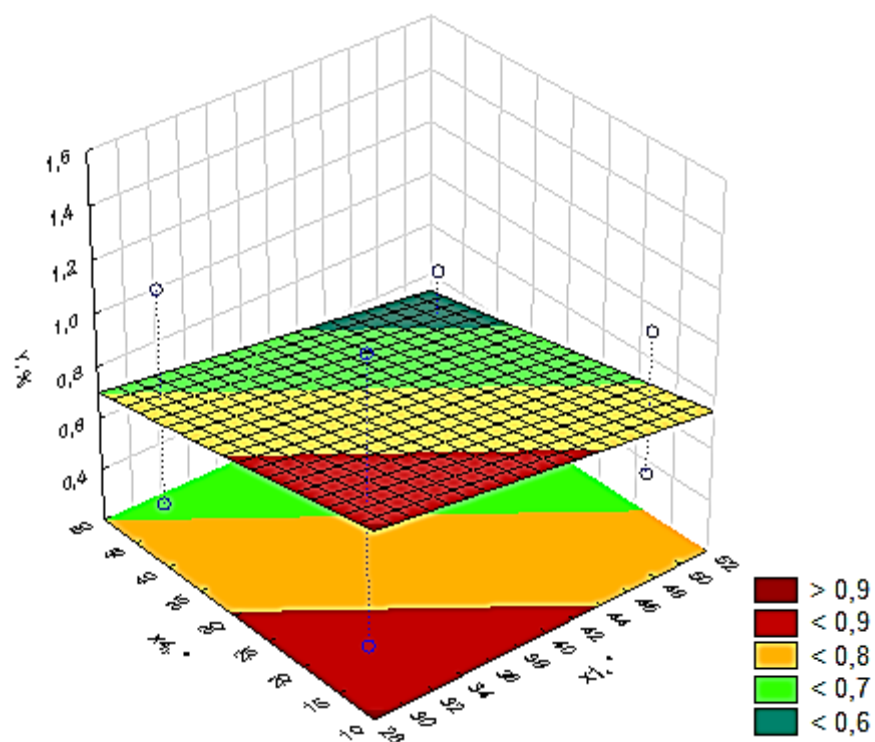


Рис. 3.13. Поверхня відгуку $Y=f(x_1, x_4)$ впливу кута нахилу перетинки α та радіуса округлення нижньої частини перетинки r на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

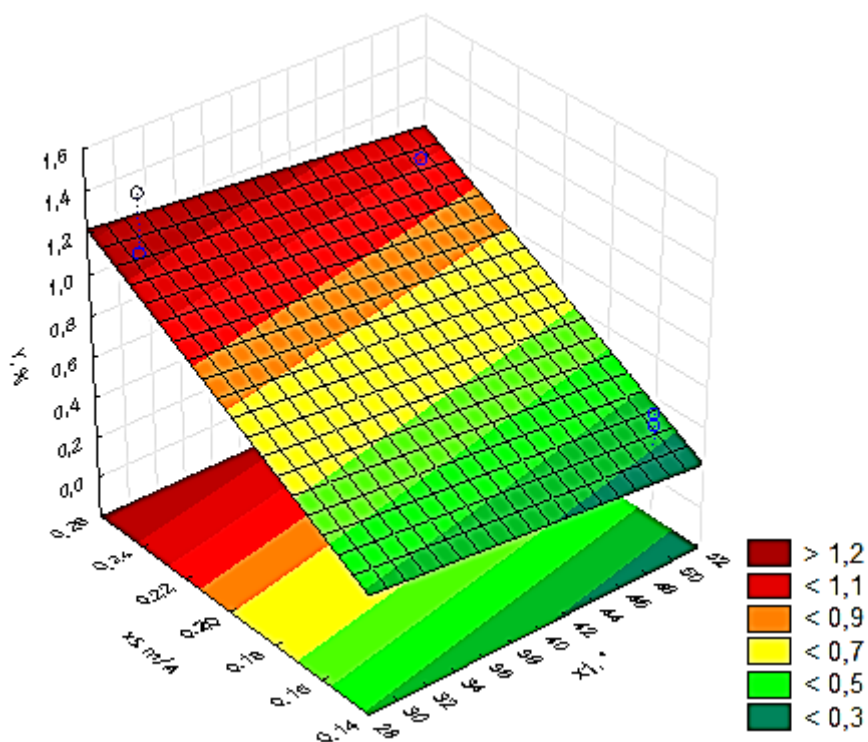


Рис. 3.14. Поверхня відгуку $Y=f(x_1, x_5)$ впливу кута нахилу перетинки α та швидкості обертання диска v_d на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

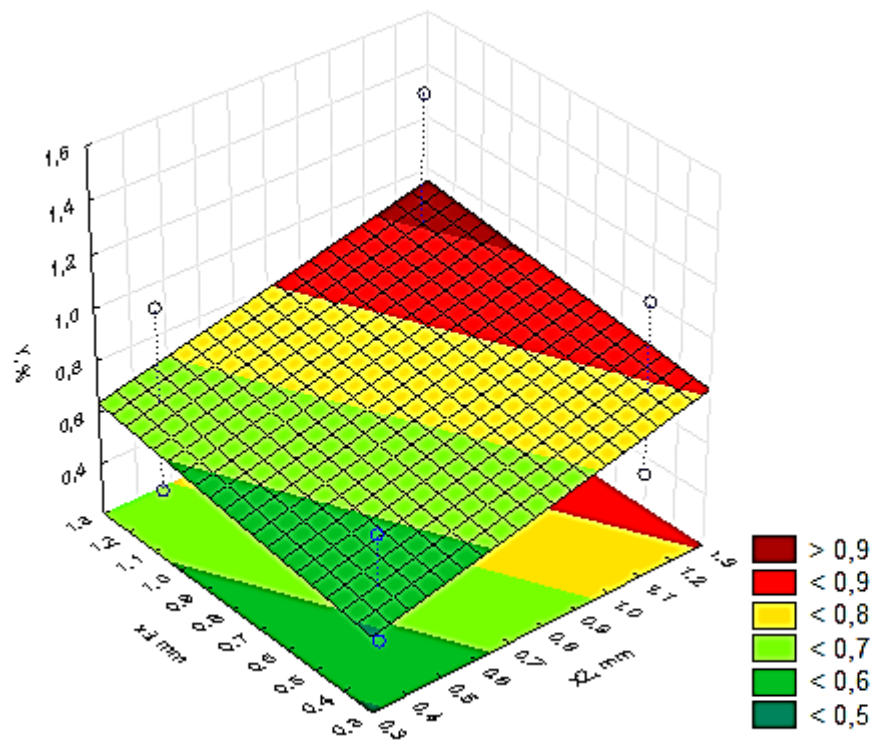


Рис. 3.15. Поверхня відгуку $Y=f(x_2x_3)$ зазору між перетинкою і висівним диском δ та кута нахилу робочої кромки перетинки до осі чарунки μ на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

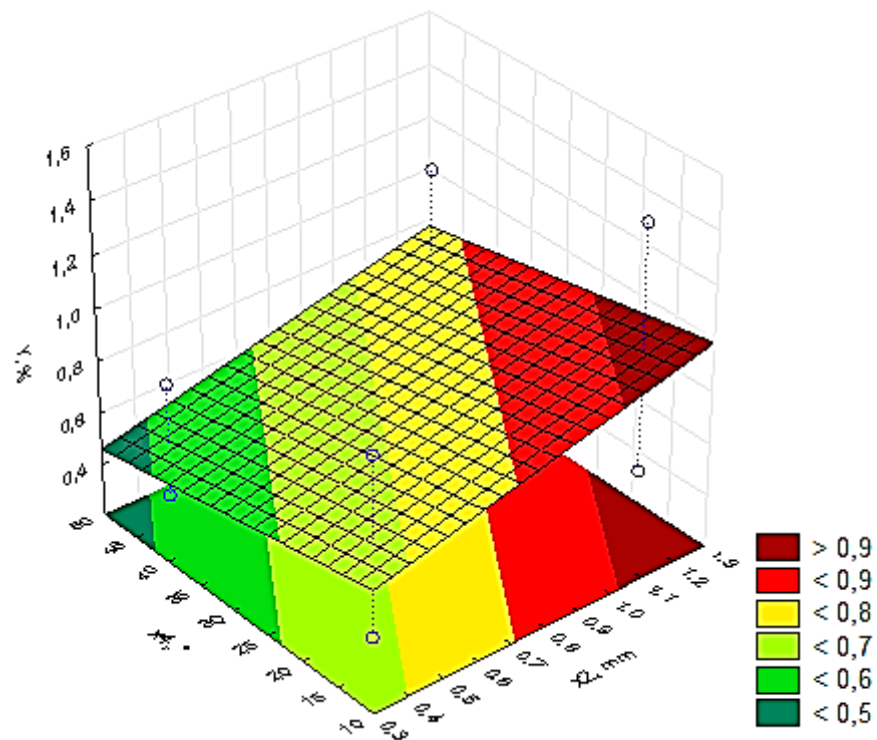


Рис. 3.16. Поверхня відгуку $Y=f(x_2x_4)$ зазору між перетинкою і висівним диском δ та радіуса округлення нижньої частини перетинки r на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

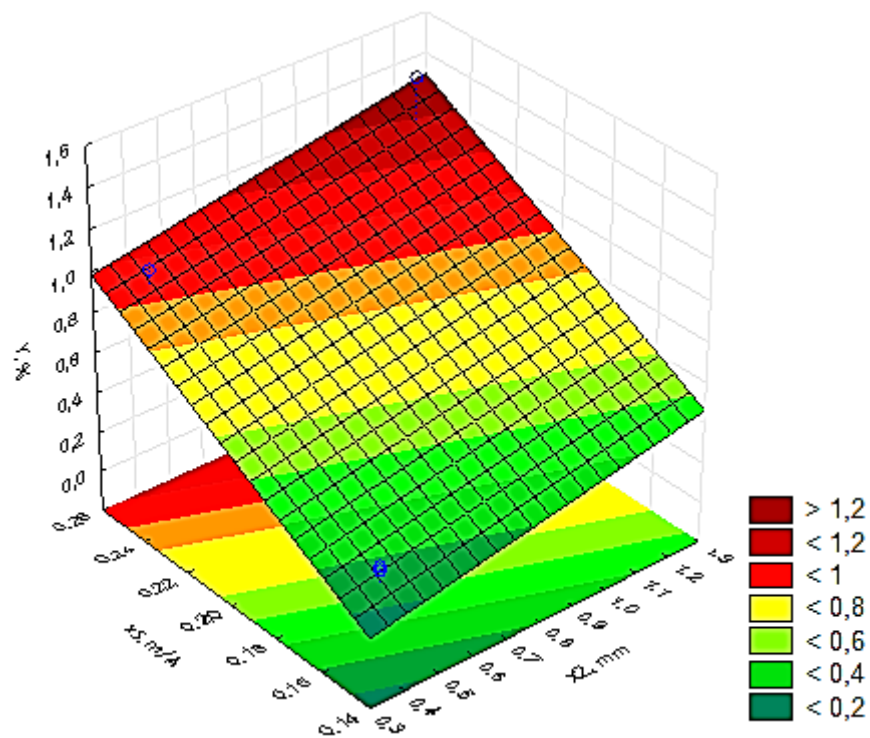


Рис. 3.17. Поверхня відгуку $Y=f(x_2x_5)$ зазору між перетинкою і висівним диском δ та швидкості обертання диска V_δ на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

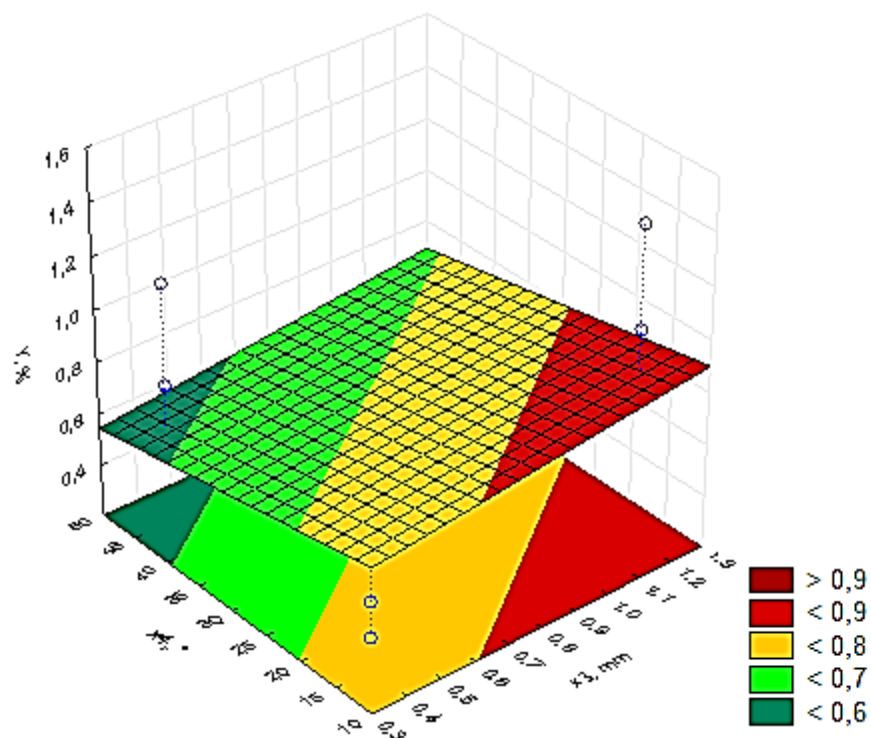


Рис. 3.18. Поверхня відгуку $Y=f(x_3x_4)$ кута нахилу робочої кромки перетинки до осі чарунки μ та радіуса округлення нижньої частини перетинки r на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

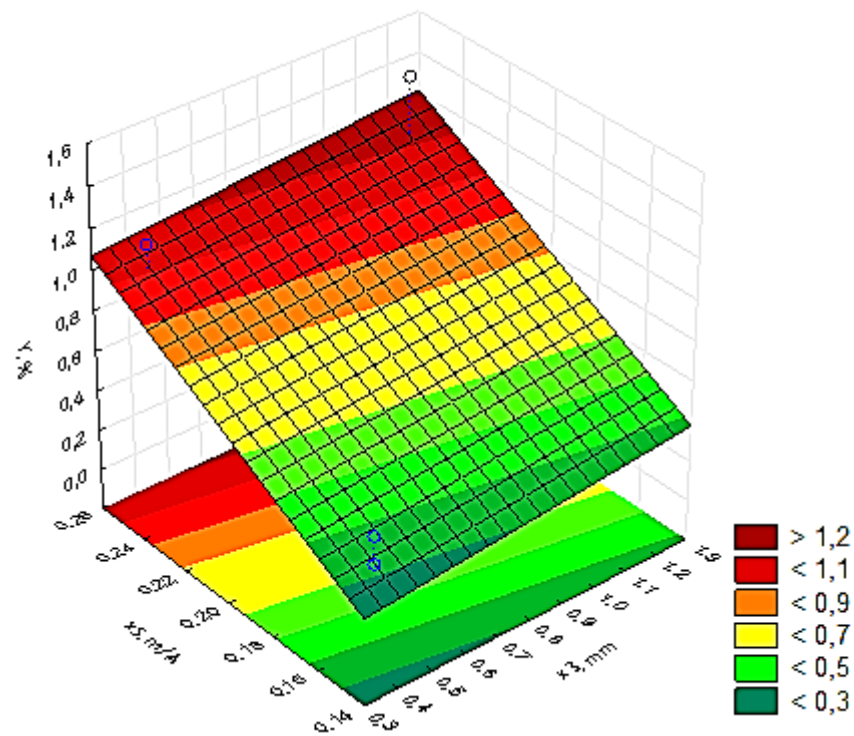


Рис. 3.19. Поверхня відгуку $Y=f(x_3, x_5)$ кута нахилу робочої кромки перетинки до осі чарунки μ та швидкості обертання диска v_d на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

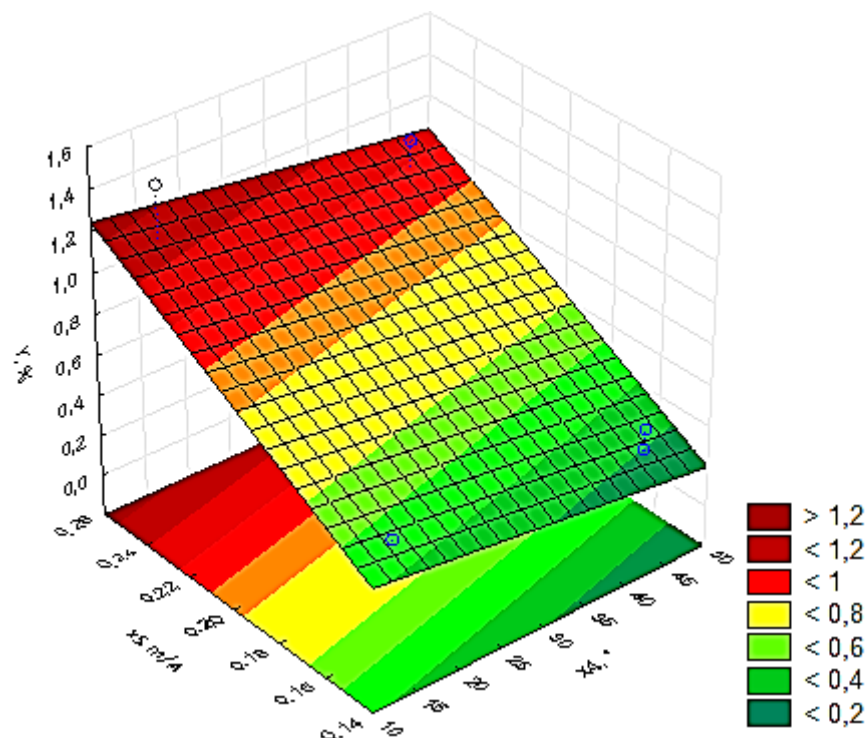


Рис. 3.20. Поверхня відгуку $Y=f(x_4, x_5)$ радіуса округлення нижньої частини перетинки r та швидкості обертання диска v_d на критерій оптимізації Y (пошкодження насіння проса)

Висновки по розділу

На підставі проведеного аналізу отриманих результатів досліджень слід відмітити, що найбільше на пошкодження насіння проса суттєво впливають швидкість обертання диска v_d та зазор між перетинкою і висівним диском δ . Їх збільшення призводить до збільшення пошкодженого зерна. Збільшення радіуса округлення нижньої частини перетинки r та кута нахилу перетинки α позитивно впливають на зменшення пошкодження насіння проса висівним апаратом. Також на підвищення кількості пошкодженого насіння впливає збільшення кута нахилу робочої кромки перетинки щодо осі чарунки μ .

Раціональними параметрами приведених факторів можна вважати наступні: $\alpha=45^\circ$; зазор між перетинкою і висівним диском $\delta=0,4$ мм; радіуса округлення нижньої частини перетинки $r=0,4$ мм; кут нахилу робочої кромки перетинки щодо осі чарунки $\mu=+45^\circ$; швидкість обертання диска $v_d=0,202$ м/с.

Проведений аналіз конструкцій вертикально–дисккових висівних апаратів бурякових сівалок точного висіву дозволив визначитися із метою досліджень, сформулювати предмет і об'єкт проведеної роботи, а використання сучасного програмного забезпечення – провести методику планування багатofакторного експерименту із розрахунком і обробкою статистичної математичної моделі дослідження впливу факторів на якість пошкодження насіння проса.

Використовуючи класичну методику обробки багатofакторного експерименту оцінили вплив факторів, що найбільше впливають на критерій оптимізації. Встановили раціональні значення цих факторів, а саме:

- 1) швидкість обертання диска $v_d=0,202$ м/с;
- 2) зазор між перетинкою і висівним диском $\delta=0,4$.

Таким чином, аналіз літературних джерел та результати експериментальних досліджень свідчать про доцільність встановлення в якості відбивача пасивної перетинки.

Проведений статистичний аналіз коефіцієнтів регресійної моделі дав змогу ранжувати вхідні фактори за силою їхнього впливу на вихідний параметр

(подрібнення насіння). Пріоритетний вплив мають динамічні характеристики (v_δ), за якими слідує геометричні параметри зазорів та елементів відбивача.

З точки зору фізики процесу, позитивні знаки при коефіцієнтах моделі для факторів δ , r та v_δ означають інтенсифікацію процесу подрібнення при їх збільшенні. Натомість негативні знаки при параметрах α та μ вказують на технічну можливість зниження пошкоджень зерна через збільшення значень цих кутових характеристик. Це дозволяє визначити вектор подальшої оптимізації конструкції висівного апарата для досягнення агротехнічних нормативів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Розрахунок заходів, які забезпечують безпеку при переводі машини із робочого положення в транспортне [8–12]

Транспортний пристрій складається із транспортного пристрою (рис. 4.1) і сніці (рис. 4.2) і опори 13.

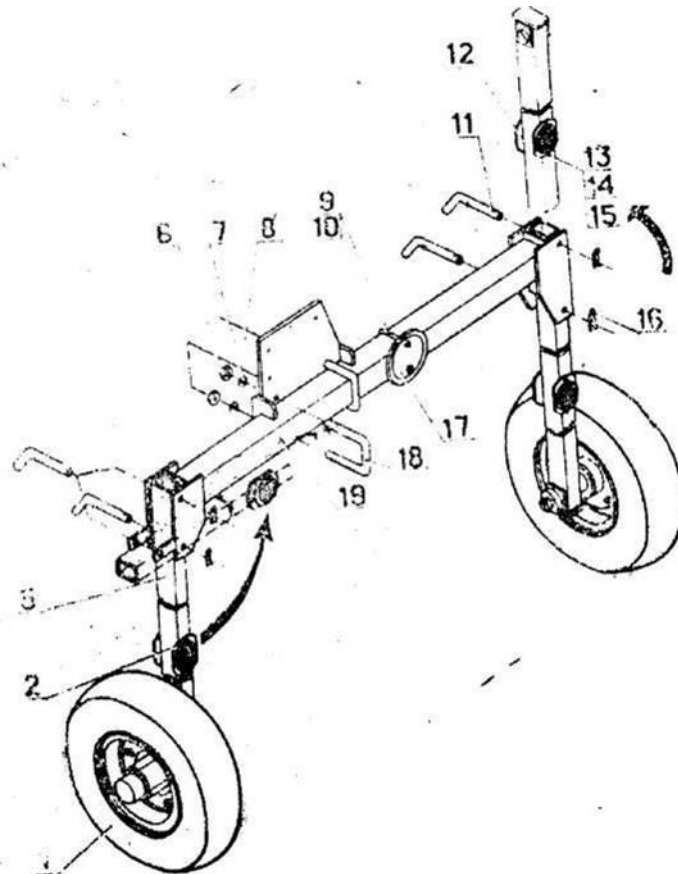


Рис. 4.1. Транспортний пристрій

Транспортний пристрій (рис. 4.1) представляє собою брус 19 з привареними до нього на обох кінцях щокми для приєднання стійок 5 з колесами 1. На стійках 5 транспортного пристрою 5 встановлені світло відбивачі 2 і 12, призначені для позначення габаритів сівалки при транспортуванні її по дорогам.

Вони кріпляться за допомогою шпильки 15, гайки 13 і шайби 14. До бруса 19 за допомогою різьбової скоби 9 і гайок 10 кріпиться щиток обмеження швидкості 17. Рама сівалки 8 кріпиться до бруса 19 за допомогою 18, гайок 7 і

шайб 8. Стійки 5 з'єднуються з брусом 19 за допомогою штирів 11, які шплінтуються пружинними шплінтами 16.

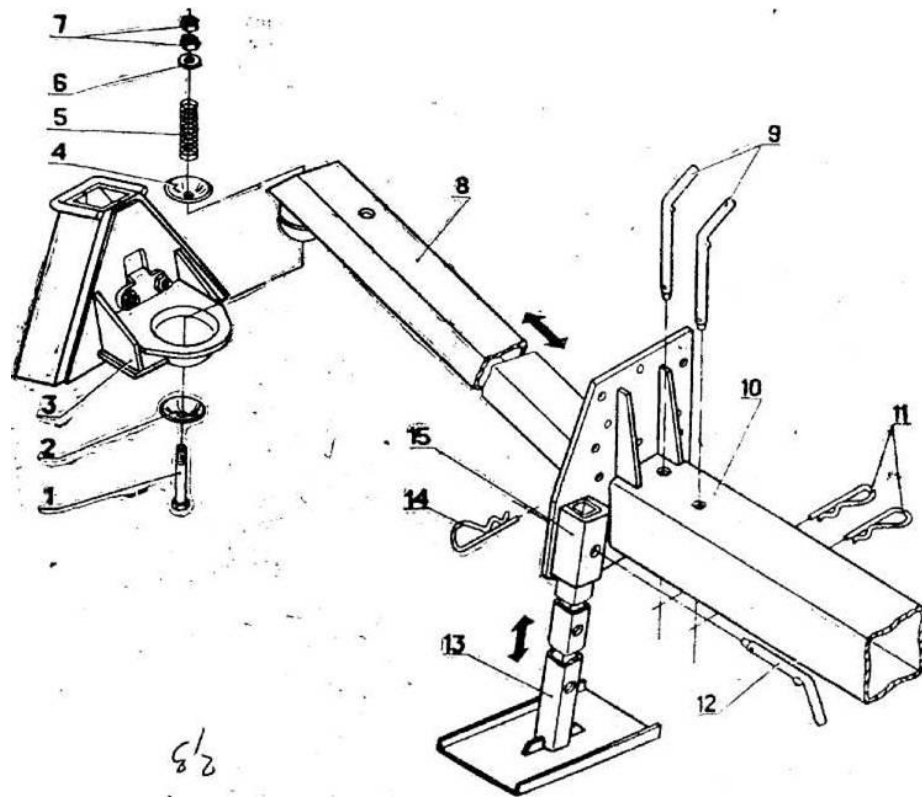


Рис. 4.2. Сниця і опора транспортного пристрою

Сниця складається із вкороченого замка 3 (рис. 4.2), шарнірно з'єданого з кронштейном 8. Кут вертикального і горизонтального повороту замка в шарнірі складає відповідно $\pm 20^\circ$ і $\pm 90^\circ$. Сниця в транспортному положенні фіксується двома штирями 9 з пружинними шплінтами 14, а в робочому положенні всовується всередину основного бруса і встановлюється в транспортній опорі 13 і фіксується шплінтами.

Опора 13 призначена для підтримання сівалки при переводі її із робочого положення в транспортне і навпаки, а також при короткочасному зберіганні в положенні дальнього транспорту.

Для забезпечення безпечного транспортування сівалки в режимі дальнього транспортування виконуємо розрахунок штирів 11 на зріз.

Як видно з рис. 4.3 поперечна сила Q становить

$$Q = \frac{G_r}{2} = \frac{8046}{2} = 4023 \text{ Н},$$

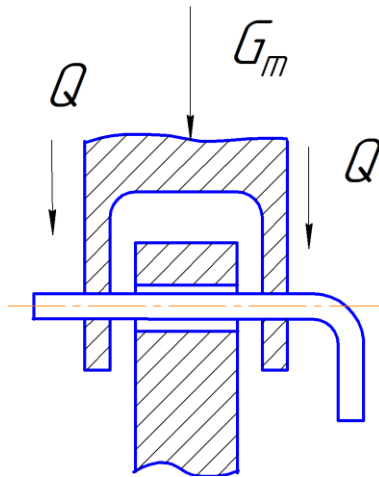


Рис. 4.3. Розрахункова схема до розрахунку штиря на зріз

де G_T – вага сівалки, що діє на брус транспортного пристрою

$$G_T = \frac{G_{\text{сіб}}}{2} = \frac{16092}{2} = 8046 \text{ Н.}$$

Тоді знаходимо необхідний діаметр штиря, мм

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\pi \cdot [\tau_{\text{зр}}] \cdot z}},$$

де z – кількість поверхонь, на які діє поперечна сила Q , $z=2$;

$[\tau_{\text{зр}}]$ – допустиме напруження на зріз, для штиря Ст3 $\tau_{\text{зр}}=138 \text{ МПа}$

$$d_{\text{зр}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4023}{\pi \cdot 138 \cdot 2}} = 9,57 \text{ мм.}$$

Проте, при транспортуванні рідко виникає лише статичне навантаження, найчастіше при цьому виникає змінне ударне навантаження. Тому, приймаємо коефіцієнт динамічності $n_{\text{дин}}=1,15$, що враховує ударні навантаження.

Тоді дійсний діаметр штиря:

$$d_{\text{дійсн}} = n_{\text{дин}} \cdot d_{\text{роз}} = 9,57 \cdot 1,15 = 11 \text{ мм.}$$

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

За результатами проведених досліджень та інженерних розрахунків було обґрунтовано можливість збільшення робочої швидкості руху агрегата з 5,5 км/год до 7,2 км/год. Заміна зернової сівалки СЗ–3,6А на сівалку ССТ–12В дає змогу збільшити продуктивність посівного агрегату.

Визначимо продуктивність за 1 годину робочого часу

$$W_6 = 0,1 \cdot 6 \cdot 3,6 = 2,16 \text{ га/год};$$

$$W_{np} = 0,1 \cdot 7,2 \cdot 5,4 = 3,89 \text{ га/год}.$$

Тоді економія часу про проведенні посіву насіння проса на полі площею 100 га становить

$$\frac{100}{2,16} = 46,30 \text{ год};$$

$$\frac{100}{3,89} = 25,71 \text{ год}.$$

Таким чином збільшення продуктивність праці дозволить зекономити

$$46,30 - 25,71 = 20,59 \text{ год},$$

або вона збільшиться на

$$\frac{3,89 - 2,16}{2,16} \cdot 100 = 80,09\% \text{ чи у } 1,8 \text{ рази}.$$

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній магістерській роботі здійснено комплексний науковий аналіз конструктивно-технологічних схем вертикально-дискових висівних систем, що базово застосовуються в бурякових сівалках. У ході дослідження виявлено та систематизовано ключові фактори впливу особливостей їхньої архітектури на дотримання агротехнічних вимог під час висіву дрібнонасіньових культур, зокрема проса.

Проведений аналіз дозволив ідентифікувати проблемні зони серійних апаратів, що стало фундаментом для:

Обґрунтування мети роботи, спрямованої на інтенсифікацію процесу посіву та зниження травматизму насіння;

Формулювання науково-практичних завдань, що охоплюють як теоретичне моделювання, так і експериментальну перевірку;

Чіткого визначення об'єкта дослідження (технологічний процес висіву проса) та предмета дослідження (закономірності взаємодії насіння з робочими органами модернізованого висівного вузла).

За результатами проведеного теоретичного аналізу вперше (або «уточнено») встановлено аналітичні залежності впливу геометричних та кінематичних параметрів дозувальних систем на рівень механічної деструкції (подрібнення) насіння проса. Це створило математичну базу для переходу до етапу проектування та оптимізації вузла сепарації «зайвого» насіння.

Запропоновані зміни в конструкції вертикально–дискового висівного апарата бурякової сівалки дозволяють підвищити продуктивність посівного агрегата за 1 годину робочого часу в 1,8 раза при посіві поля площею 100 га.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Сисолін П.В., Сало В.М., В.М. Кропівний. Сільськогосподарські машини/ Теоретичні основи, конструкція, проектування. Книга 1: Машини для рільництва// За ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 382 с.
2. Боко А.І., Свірень М.О., Шмат С.І., Ножнов М.М. Нові конструкції ґрунтообробних та посівних машин. Навчальний посібник. – К.: Центрально–Українське видавництво, 2003. – 203 с.
3. Сисолін П.В., Свірень М.О. Висівні апарати сівалок. Навчальний посібник. – Кіровоград: Центрально–Українське видавництво, 2004. – 160 с.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
5. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. –К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
6. Механіко–технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: підручник / [Войтюк Д. Г. та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – [2–ге вид., перероб. і допов.]. – Суми: Сумський нац. аграр. ун–т, 2011. – 444 с.
7. Підручник дослідника / О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, К.В. Васильковська, Д.І. Петренко. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. – Кіровоград, Х.: Мачулін, 2016. – 204 с. з іл.
8. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408 с.
9. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.
10. Войналович О. Охорона праці у сільському господарстві. Навчальний посібник / Войналович О., Білько Т., Марчиниша Є. – К.: Центр навчальної літератури, 2019. – 691 с.

11. Охорона праці при вирощуванні сільськогосподарських культур: Навчальний посібник / М.М. Сакун, В.Ф. Нагорнюк; Одеський державний аграрний університет/. Кафедра безпеки життєдіяльності. – Одеса: «Видавництво», 2009. – 184 с.

12. Основи охорони праці. Курс лекцій: Навчальний посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів всіх спеціальностей за освітньо–кваліфікаційним рівнем "бакалавр" / А.І. Ткачук, С.М. Богомаз–Назарова. – Перевидання, доповнене та перероблене. – Кропивницький: ПП "Центр оперативної поліграфії "Авангард", 2017. – 156 с.

ДОДАТКИ

МЕТА, ЗАДАЧІ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Мета - підвищення якості посіву насіння проса шляхом обґрунтування параметрів вертикально-дискового висівного апарата бурякової сівалки.

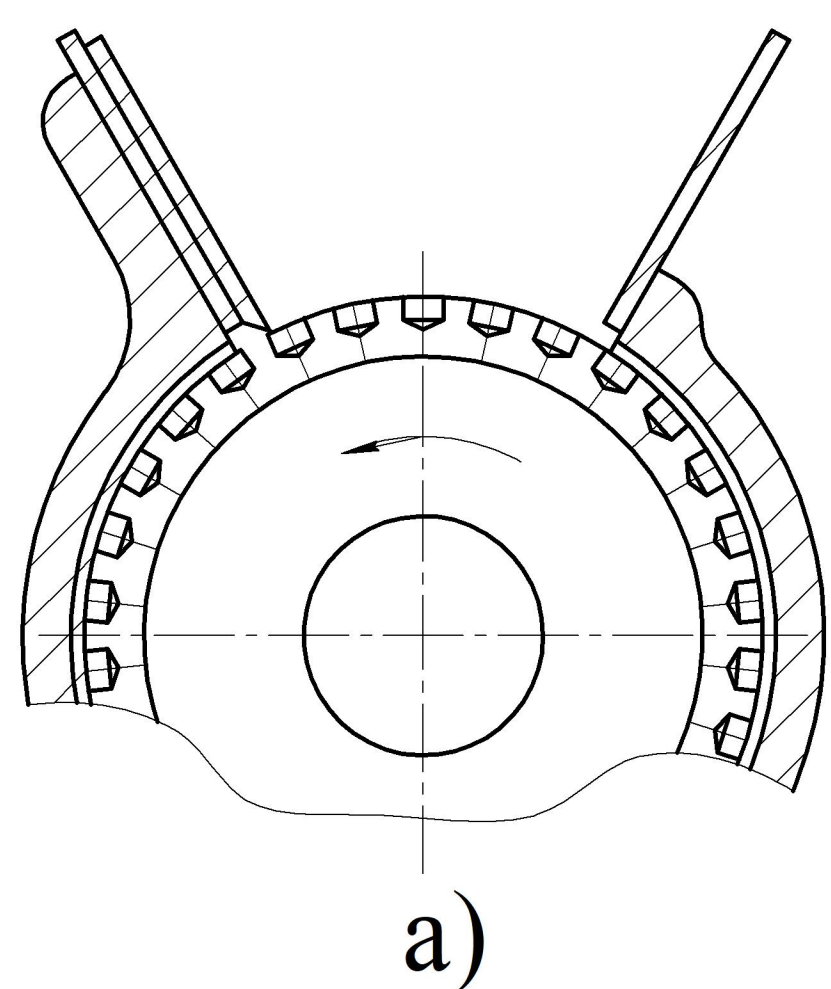
Задачі досліджень:

1. Комплексний порівняльний аналіз конструкцій найбільш розповсюджених моделей вертикально-дискових апаратів.
2. Дослідити закономірності впливу конструкторсько-технологічних параметрів вертикально-дискових висівних апаратів бурякових сівалок на подрібнення насіння проса при посіві.

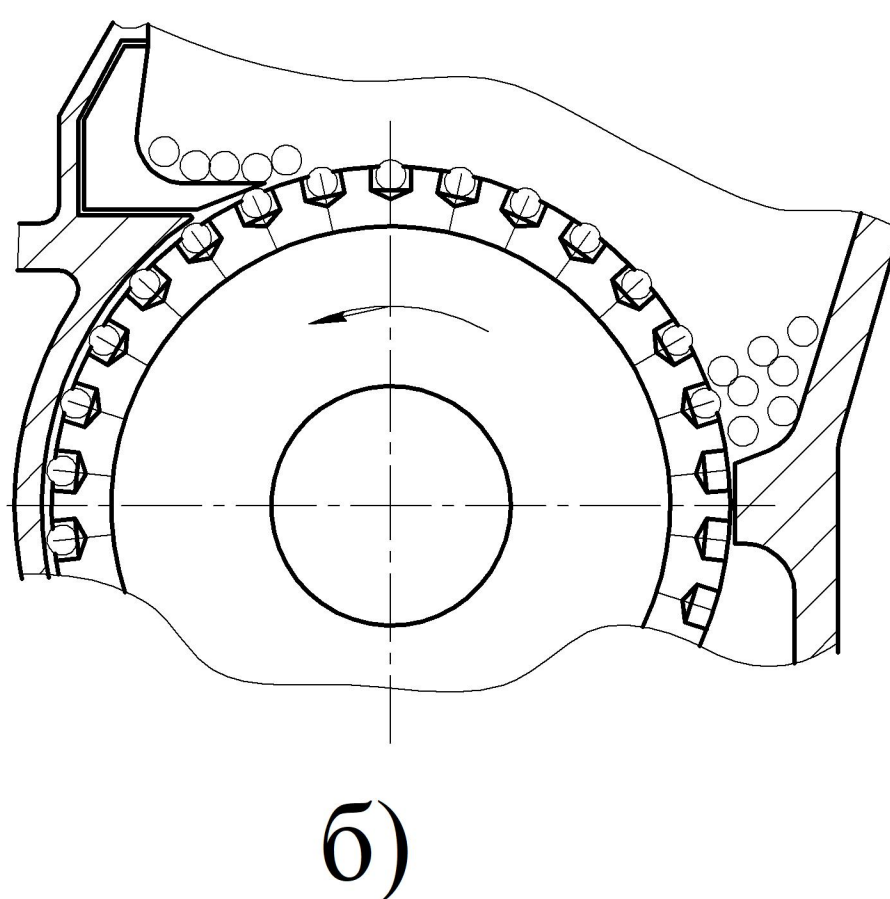
Об'єктом дослідження є заповнення чарунок диска вертикально-дискового висівного апарата бурякової сівалки .

Предметом досліджень є конструктивні та технологічні параметри вертикально-дискового висівного апарата бурякової сівалки.

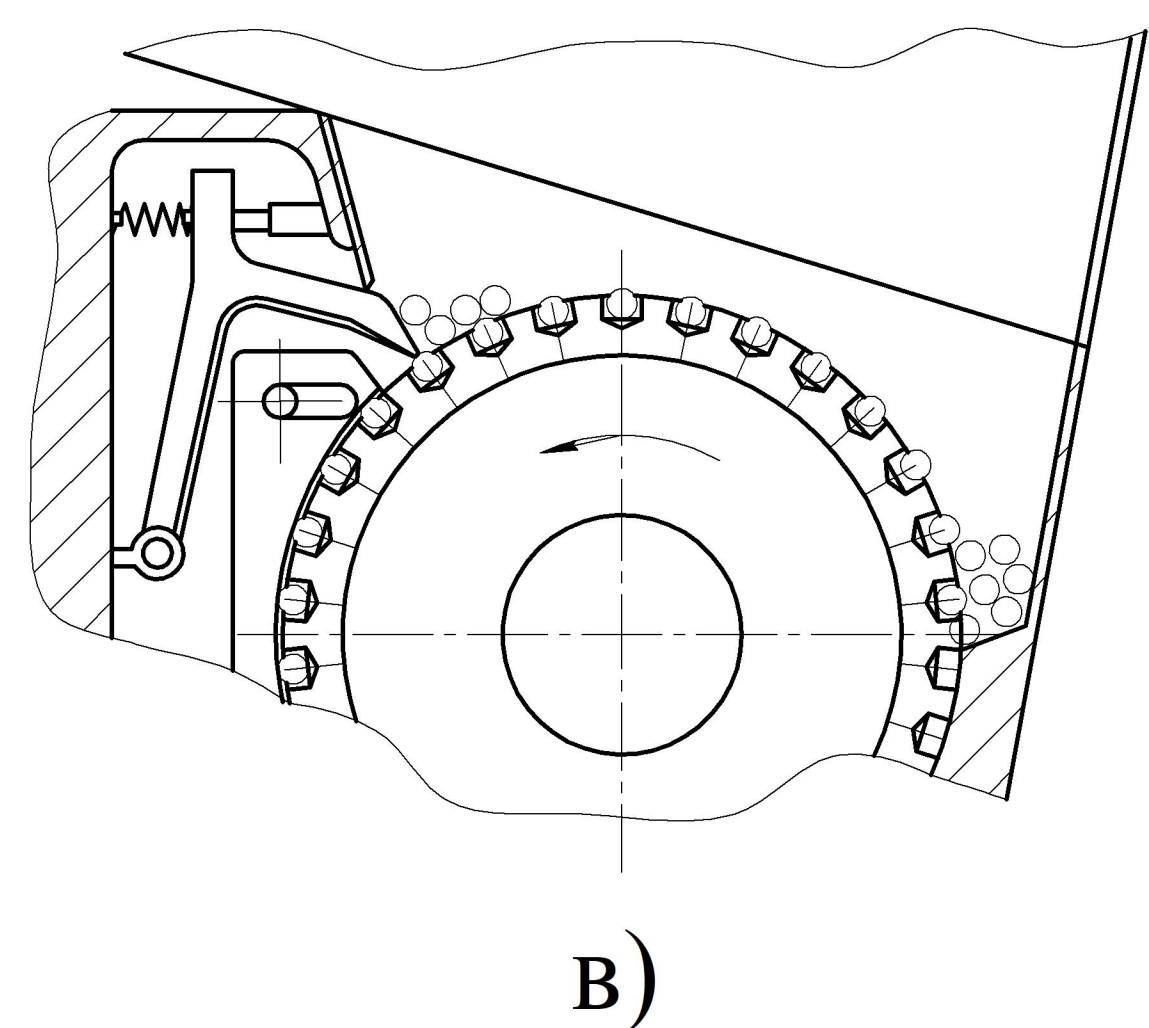
ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ВІДБИВАЧІВ "ЗАЙВОГО" НАСІННЯ



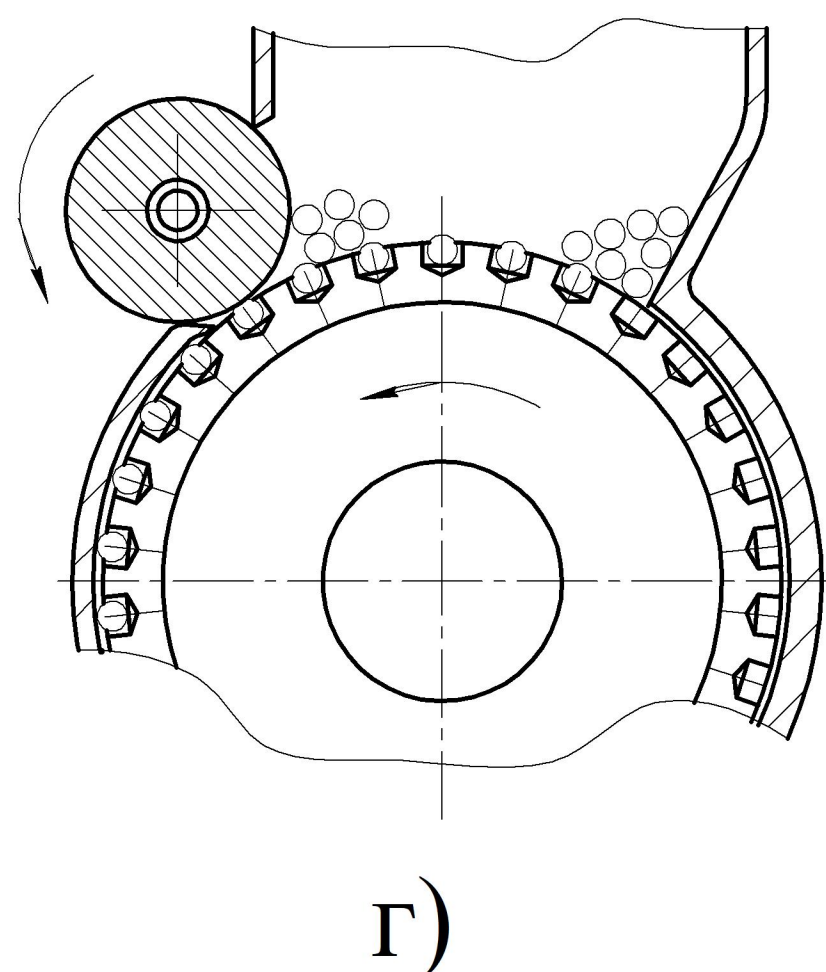
а)



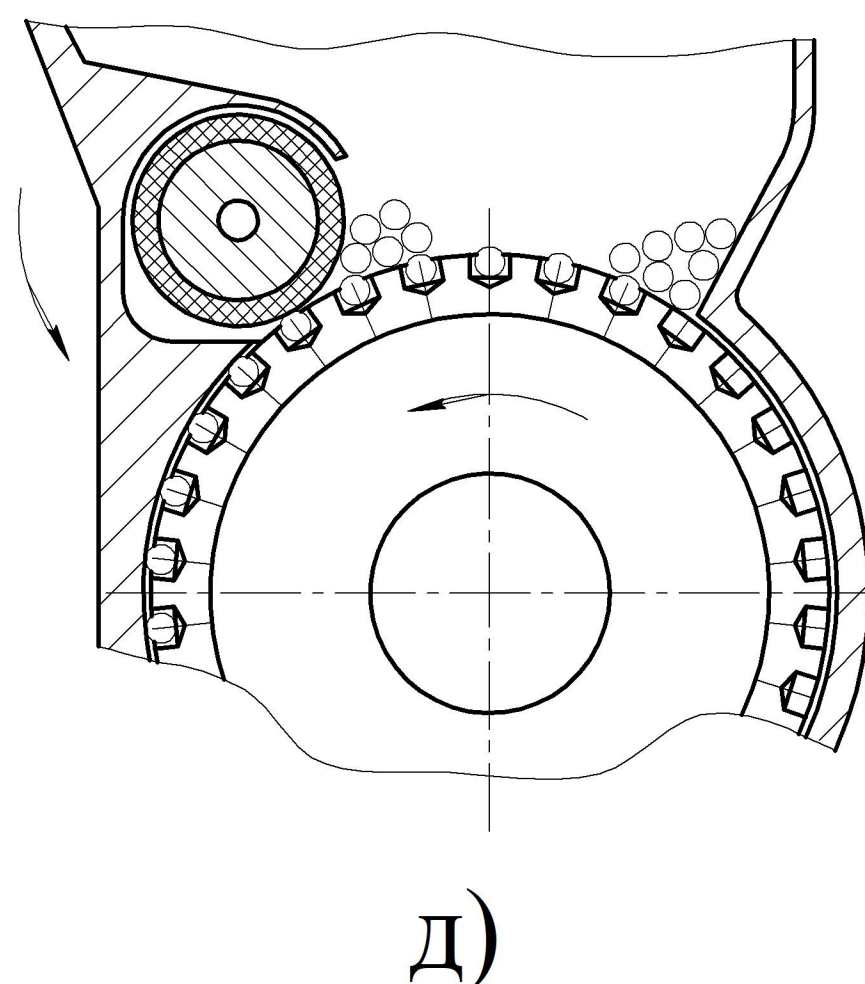
б)



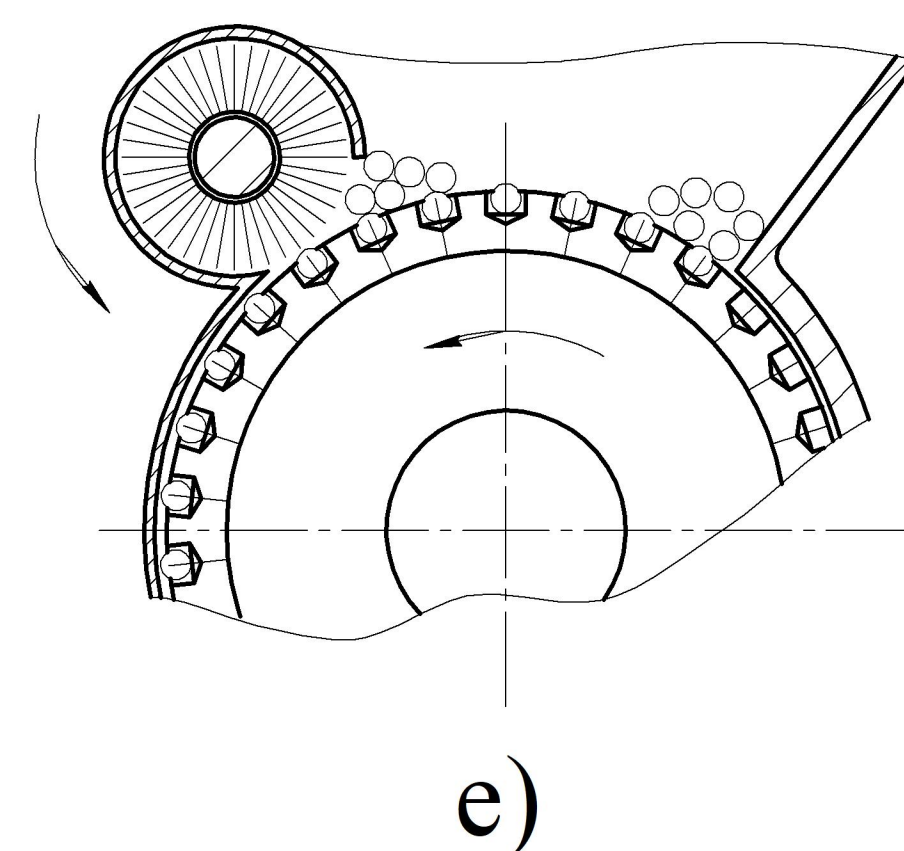
в)



г)



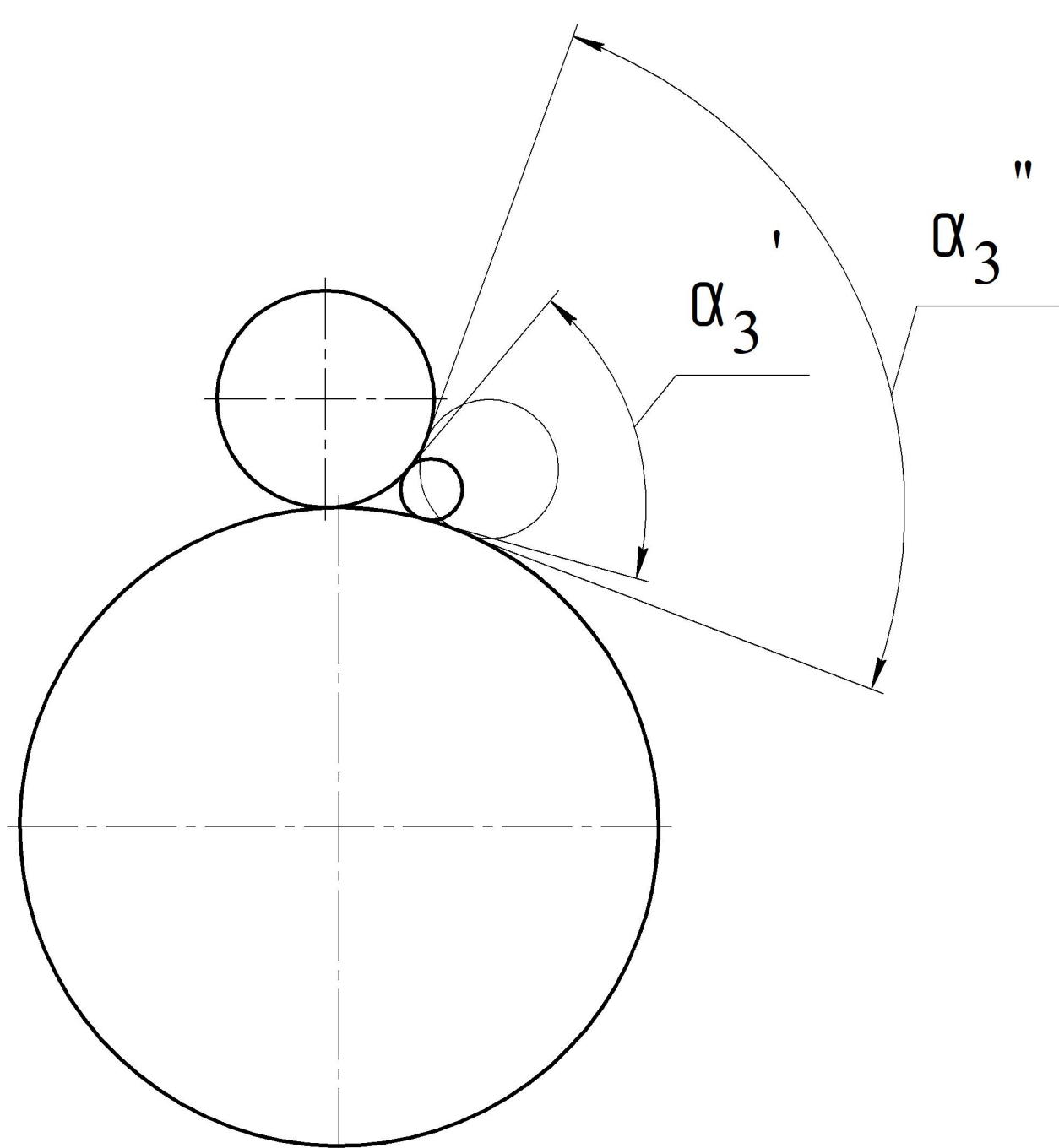
д)



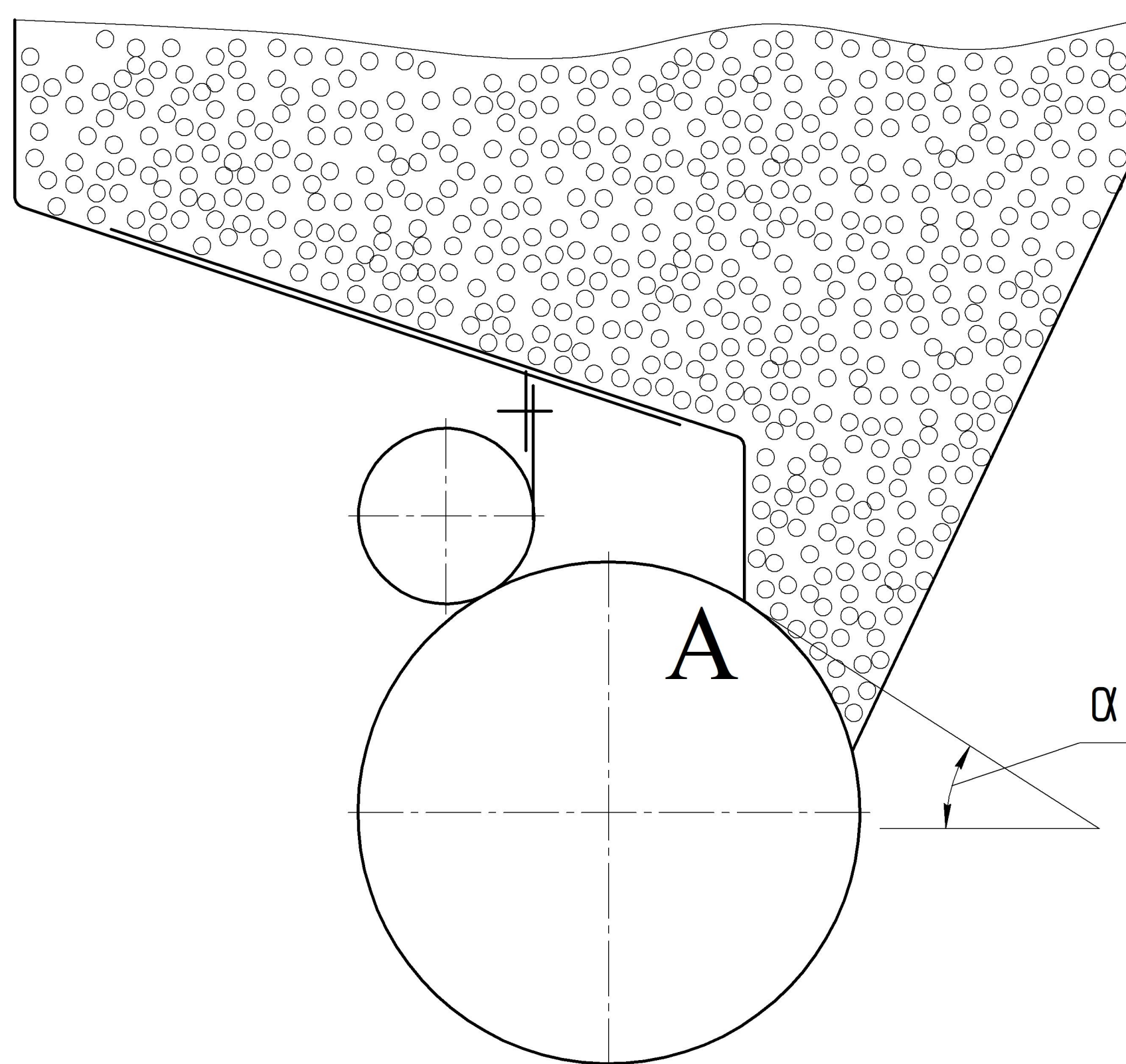
е)

а - пасивний відбивач - жорстко закріплена регульована пластина;
 б - пасивний відбивач складної форми;
 в - рухомий пасивний відбивач;
 г - активний відбивач - металевий ролік;
 д - активний відбивач - обгумований ролік;
 е - активний відбивач - еластична щітка.

Умови відбиття "зайвої" насінини
 із чарунки без подрібнення



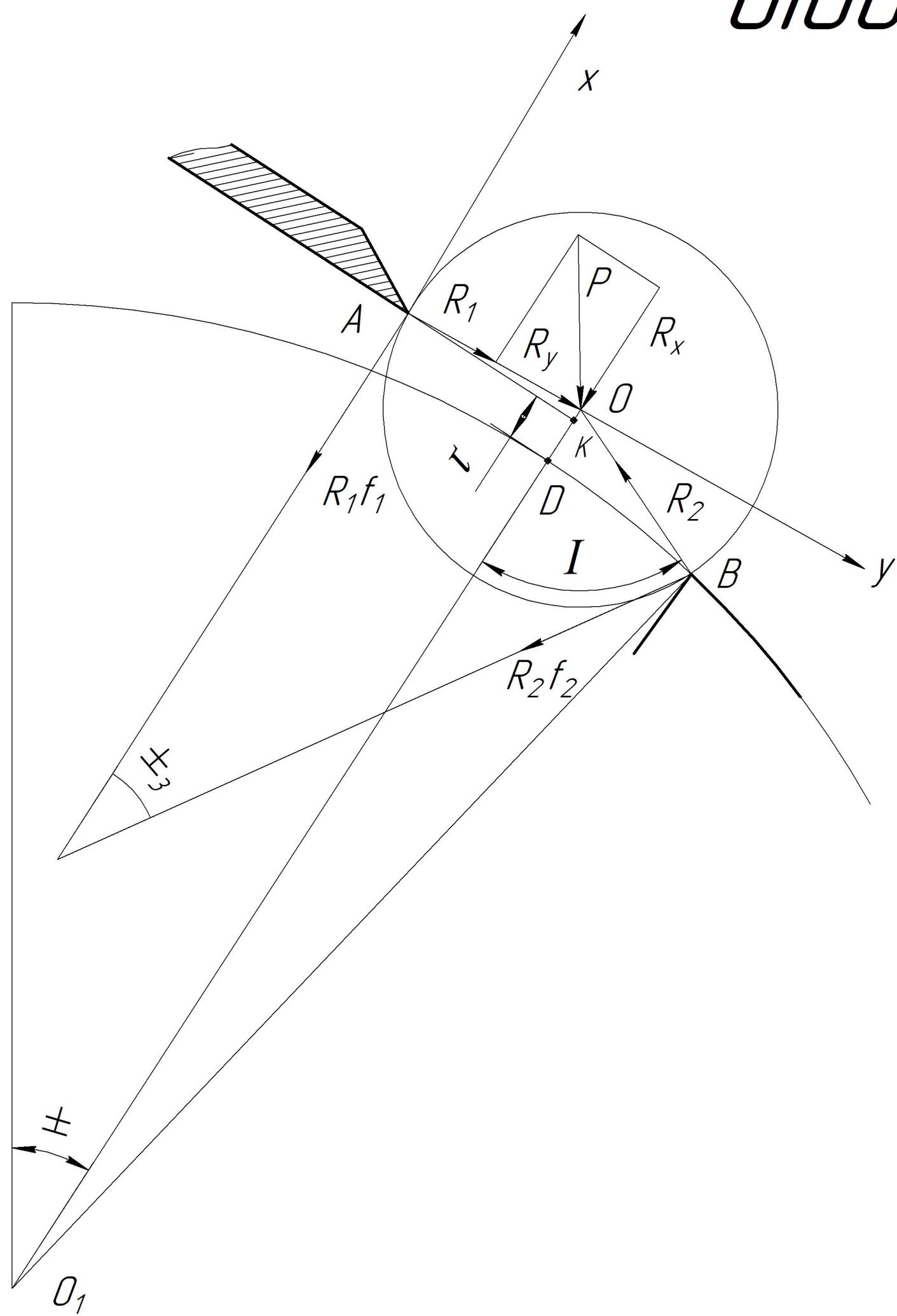
$$\alpha_3 > \alpha_{кр}$$



$$\alpha > \varphi$$

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вплив місця розташування пасивного відбивача на пошкодження насіння



R_1, R_2 – реакція тиску відбивача і диска на насіннину, яка відбивається;

$f_1 \pm R_1$ і $f_2 \pm R_2$ – сили тертя в точках контакту насіння з відбивачем і диском;

P – сила тиску насінину в бункері на насіннину, яка відбивається;

G – вага насіннини;

C – відцентрова сила, яка діє на насіннину

$$JF_x = 0; \quad -R_1 \pm f_1 - R_2 \pm f_2 \cos \pm_3 + R_2 \sin \pm_3 - P_x = 0$$

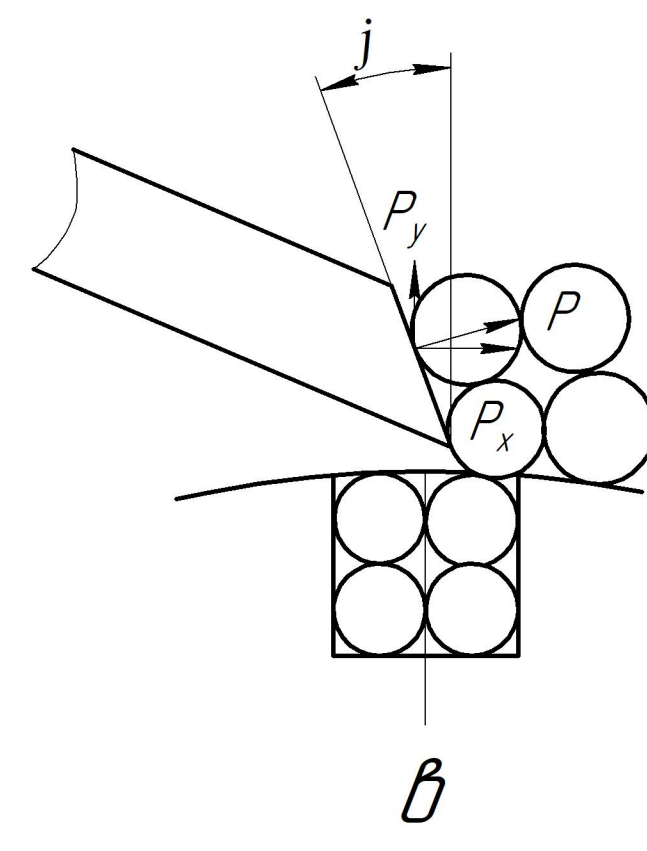
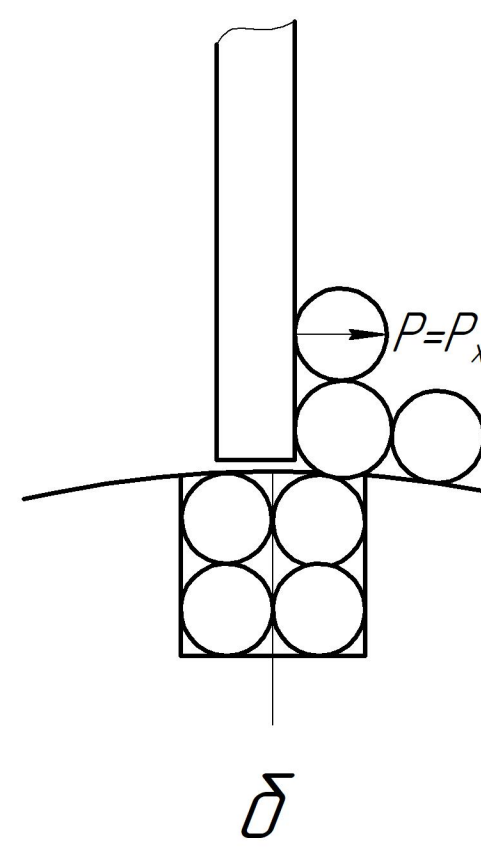
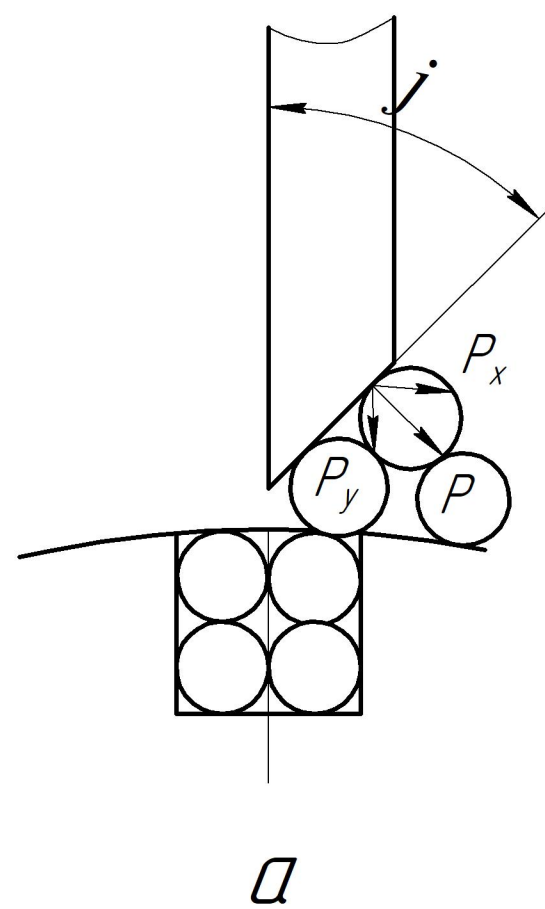
$$JF_y = 0; \quad -R_1 - R_2 \pm f_2 \sin \pm_3 + R_2 \cos \pm_3 - P_y = 0$$

$$\pm_{kp} = \arctg \frac{(f_1 - f_2) - \frac{P}{R_2} \sin(\pm - I) - f_1 \frac{P}{R_2} \cos(\pm - I)}{[1 - f_1 f_2 + f_1 \frac{P}{R_2} \sin(\pm - I) - \frac{P}{R_2} \cos(\pm - I)]}$$

Схема дії сил при відбиванні "заївих" насінин пасивним відбивачем

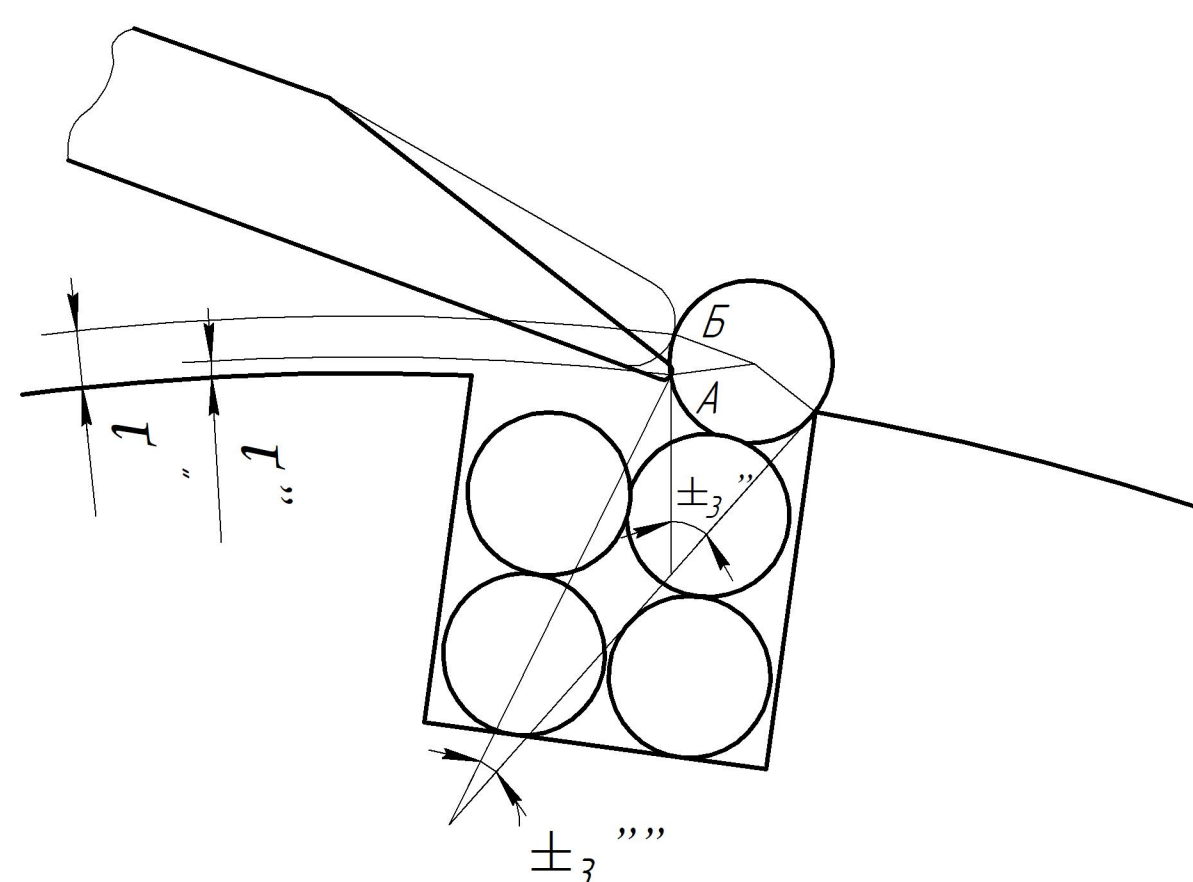
$$\tau_{max} = OO_1 - r + r_{C_{min}} \cos(\pm_3 + I)$$

Вплив розташування робочої кромки пасивного відбивача відносно осі чарунки на пошкодження насінин



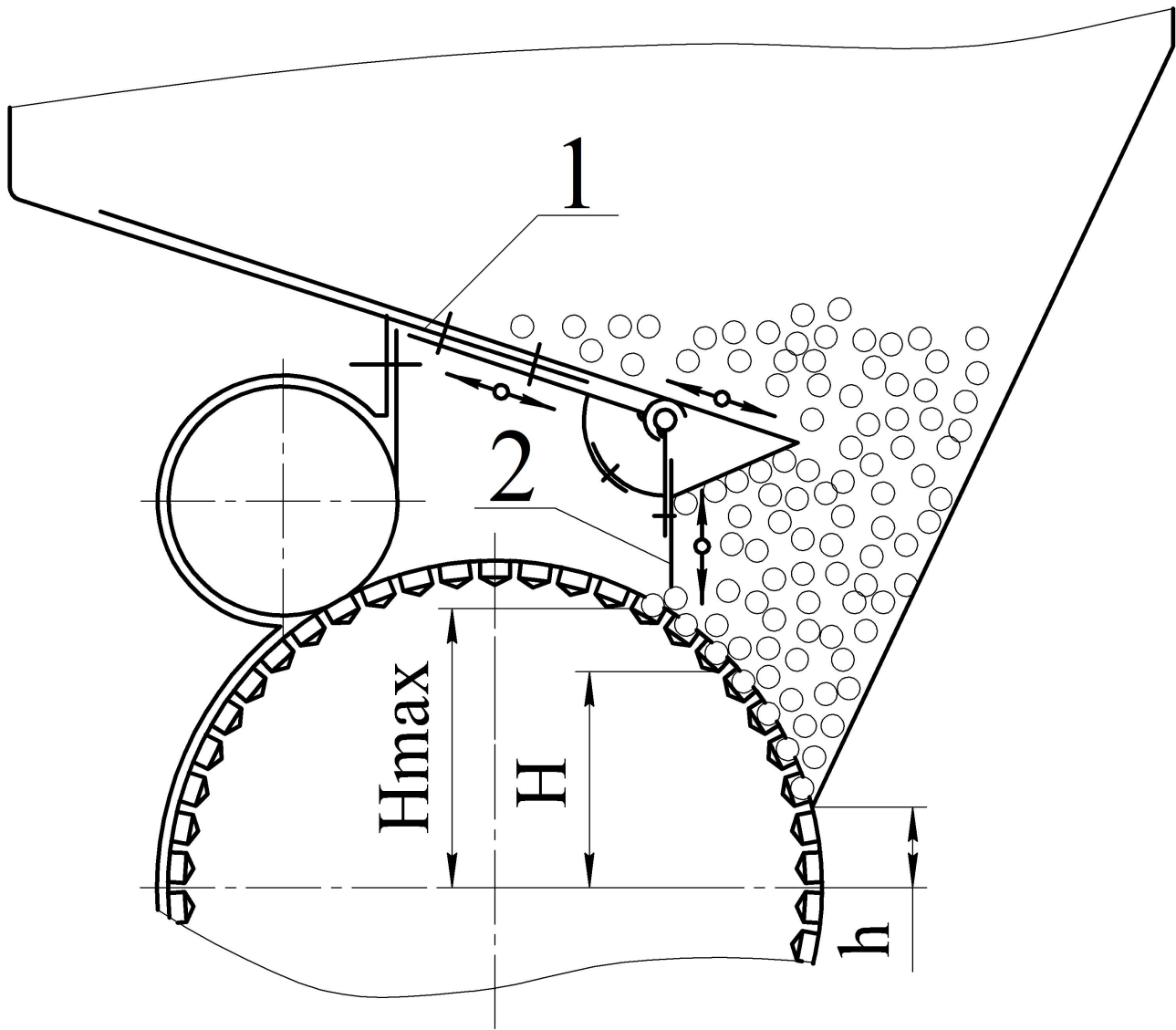
Схеми розташування робочої кромки чистика по відношенню до осі чарунки
а) $j < 0$; б) $j = 0$; в) $j > 0$

Вплив радіуса скруглення робочої кромки відбивача на процес відбивання "заївих" насінин



МЕТОДИКА І УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Схема макета експериментальної установки



Методика визначення фактичних норм висіву

$$Q=10^3 3,6q\omega_{\text{д}}/2\pi V_{\text{с}}\text{в}\approx 573,25q\omega_{\text{д}}/V_{\text{с}}\text{в}$$

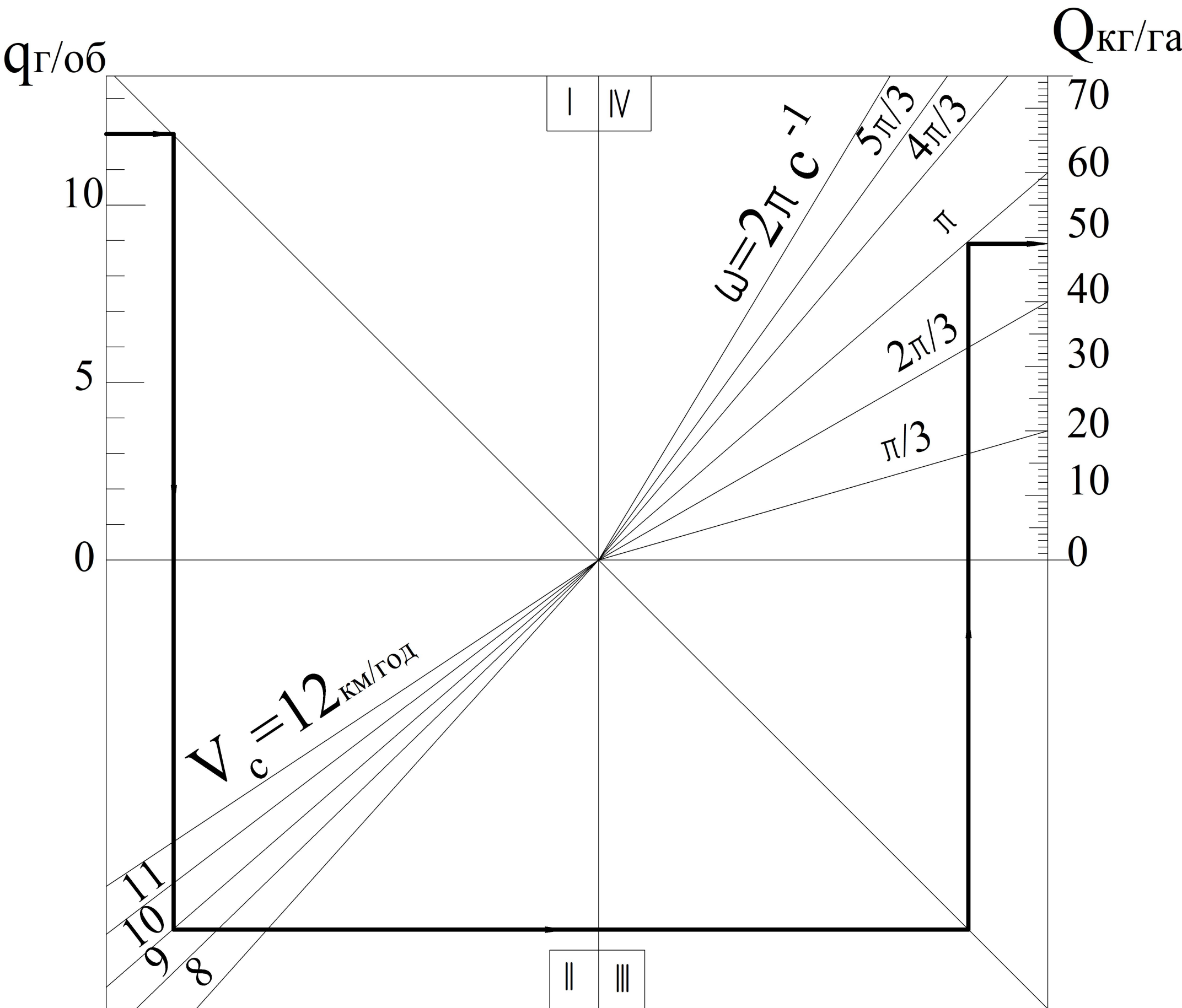
де q - маса насінин, висіяних за 1 оберт висівного диску, г

$\omega_{\text{д}}$ - кутова швидкість висівного диску, с^{-1} ;

$V_{\text{с}}$ - швидкість сівалки, км/год;

в - ширина міжряддя, см.

$$X = 573,25q; \quad Y = X/V_{\text{с}}; \quad Z = Y/\text{в}; \quad Q = Z\omega_{\text{д}}$$



При обробці результатів експериментів методами варіаційної статистики визначаємо наступні показники:

середнє арифметичне значення параметра X: $X = \Sigma f_i X_i / \Sigma f_i$

середнє квадратичне відхилення δ : $\delta = \sqrt{\Sigma f_i (X - X_i)^2 / \Sigma f_i}$

коефіцієнт варіації V: $V = \frac{\delta}{X} 100$

помилку середнього арифметичного m: $m = \frac{\delta}{\sqrt{\Sigma f_i}}$

показник точності випрбувань P: $P = \frac{m}{X} 100$

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Матриця планування та
результати експерименту

Фактор	α , град	δ , мм	r , мм	μ , град	V_L , м/с	Y
Кодове позначення	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	
Основний рівень	40	0,8	0,8	30	0,2	
Інтервал варіювання	5	0,4	0,4	15	0,05	
Дослід 1	-1	-1	-1	-1	-1	5,400
Дослід 2	+1	+1	-1	-1	-1	0,467
Дослід 3	-1	-1	+1	+1	-1	25,533
Дослід 4	+1	-1	+1	-1	+1	16,233
Дослід 5	-1	+1	+1	-1	+1	17,267
Дослід 6	+1	-1	-1	+1	+1	11,000
Дослід 7	-1	+1	-1	+1	+1	38,700
Дослід 8	+1	+1	+1	+1	-1	29,000

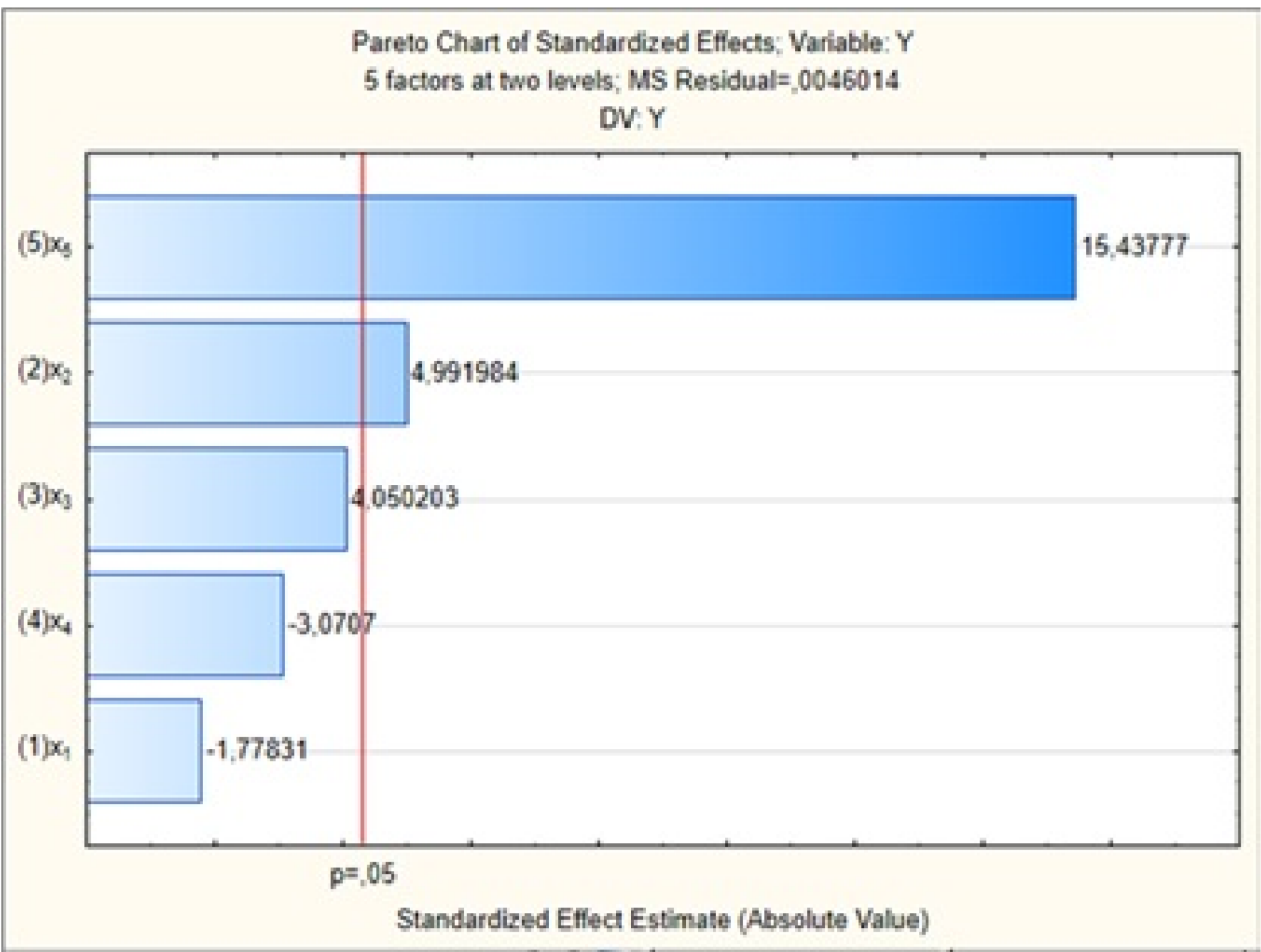
Результати обробки дослідів програмою STATISTICA

Effect Estimates; Var.:Y; R-sqr=.99331; Adj. 97657 5 factors at two levels; MS Residual=.0046014 DV: Y										
Factor	Effect	Std Err.	t(2)	p	-95,% Cnf Limit	+95,% Cnf Limit	Coeff.	Std Err. Coeff.	-95,% Cnf Limit	+95,% Cnf Limit
Mean/Interc.	0.738705	0.025049	29.49009	0.001148	0.630926	0.846483	0.738705	0.025049	0.630926	0.846483
(1) x_1	-0.089091	0.050098	-1.77831	0.217323	-0.304647	0.126466	-0.044545	0.025049	-0.152324	0.063233
(2) x_2	0.250091	0.050098	4.99198	0.037864	0.034534	0.465647	0.125045	0.025049	0.017267	0.232824
(3) x_3	0.202909	0.050098	4.05020	0.055898	-0.012647	0.418466	0.101455	0.025049	-0.006324	0.209233
(4) x_4	-0.177636	0.057849	-3.07070	0.091699	-0.426540	0.071267	-0.088818	0.028924	-0.213270	0.035633
(5) x_5	0.773409	0.050098	15.43777	0.004170	0.557853	0.988966	0.386705	0.025049	0.278926	0.494483

Рівняння регресії

$$y=0,738-0,045x_1+0,125x_2+0,101x_3-0,089x_4+0,387x_5$$

Парето-карта



Графічні залежності впливу конструкторсько-технологічних
чинників на пошкодження насіння проса висівним апаратом

