

"КАРТОПЛЯ"

Удосконалення технології садіння картоплі гребневим способом

АНОТАЦІЯ

На сьогоднішній день відбувається виродження якісної картоплі із збільшенням великої кількості дрібної і хворої. Така ситуація складається через ураження бульб різними вірусами, які розвиваються внаслідок недотримання технологій вирощування картоплі. Інший фактор, що істотно впливає на якість картоплі - це висока температура, при якій формуються бульби. Третя причина виродження картоплі це недостатню кількість поживних речовин у ґрунті, як необхідний фактор росту рослин.

Вирощування картоплі на території України є прибутковим бізнесом, про що вказують ціни на ринку у момент збирання врожаю поточного року. Ефективний розвиток цього ринку пов'язаний із структурою виробництв, у якій лише невелику частку займають великі сільськогосподарські підприємства. Вирощування картоплі в індивідуальних господарствах не може забезпечити їх високу урожайність, якість продукції, тривалість її зберігання та логістику при переміщенні з поля до ринку.

Але однією із найбільших **проблем** вирощування картоплі в Україні є зниження вологості у поверхневому родючому шарі(гребенях). Середньорічна температура повітря зростає, кількість дощів зменшується, що призводить до зневоднення ґрунтів. Тому, застосування нових технологій, удосконалення технічних засобів для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив із високою вологоутримуючою здатністю є важливим завданням сьогодення.

Запропоновані результати є частиною досліджень комплексної роботи, запозичення результатів з яких не перевищує 25%, з вирішення проблеми вирощування картоплі в умовах Західного Полісся.

Запропонована наукова робота обсягом 30 стр. машинописного тексту, який включає 19 рисунків(з них 10 фотографій), 2 таблиці, 14 літературних джерел, 4 додатки на 15 стр. в окремому конверті.

Ключові слова: картопля, бульби, органіка, добрива, садіння, формування, зона живлення, хімічний захист, конструкція, параметри.

Зміст

	стр.
1. Аналіз стану проблеми.....	4
2. Особливості садіння картоплі гребневим способом.....	6
2.1 Використання добрив при вирощуванні картоплі.....	6
2.2 Інтенсивна технологія вирощування картоплі.....	7
2.3 Конструктивна пропозиція вдосконалення садильного апарата....	11
3. Створення умов отримання високого врожаю.....	14
3.1 Особливості підготовки рядка до вкладання насіння картоплі.....	14
3.2. Результати експериментальної перевірки переміщення сошників ґрунтовому каналі.....	15
4. Результати досліджень використання сил гравітації при подачі насіння картоплі у полоси з суміші органічних і мінеральних добрив.....	17
4.1 Параметри органічних добрив для формування полос живлення насіння картоплі.....	20
4.2 Теоретичні дослідження процесу кочення картоплі кулястої форми по поверхнях різної кривизни.....	23
4.4 Дослідження садіння картоплі пристроєм гравітаційного типу.....	24
4.5 Конструктивно – компоновальна схема комбінованого агрегату для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив.....	26
Висновки	
Література	

1. - Аналіз стану проблеми

Дослідженнями доведено, що використання родючості ґрунтів дозволяє збільшувати врожай сільськогосподарських культур на 20-50%. При цьому важливо враховувати п'ять відомих, визначених агрономічною наукою основних факторів, які впливають на ріст та розвиток рослин: тепло, волога, сорти, живлення та заходи захисту[1,2]. Серед вище перелічених факторів, на сьогоднішній день особливим є фактор, пов'язаний з елементами живлення.

Потребу картоплі в поживних речовинах можна забезпечується одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив. Так, на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах Полісся із середнім показником забезпеченості рухомими формами фосфору та обмінного калію оптимальними нормами внесення мінеральних добрив урожай є N90–120 P90 K120–150 кг/га на фоні 40–50 т/га напівперепрілого гною або 35–40 т/га, зароблених у ґрунт сидератів. Для отримання максимальної врожайності картоплі забезпечення високої якості продукції співвідношення N:P:K у системі удобрення має бути таким: на дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтах — 1,2:0,8:1,5. На чорноземах — 1:1,3:1, на торф'яниках — 1:3–5:6–10. [2,4,7,11].

Картопля (*Solanum tuberosum* L) – багаторічна трав'яниста рослина з родини пасльонових (*Solanace* L.), яка об'єднує до 150 диких і культурних бульбоплідних видів. У культурі її вирощують як однорічну рослину - щороку висаджують бульби, з яких протягом одного вегетаційного періоду одержують урожай нових стиглих бульб. Можна вирощувати картоплю також із насіння, що застосовується переважно у селекційній практиці [11].

В бульбах в залежності від місця вирощування і сорту міститься 11 -25% крохмалю, близько 2 - білка, 0,3% - жиру. Білок картоплі найбільш повноцінний із усіх рослинних. Він багатий на амінокислоти і відноситься до повноцінних. Із мінеральних речовин картопля найбільш багата на калій (568 мг на 100 г сирової маси) і фосфор (50 мг). У ній містяться солі кальцію, магнію, заліза, вітаміни С і групи В.

Залежно від використання розрізняють чотири основні групи сортів: столові, технічні, кормові та універсальні.

В Україні вирощують такі сорти: столові - Астерікс, Берегиня, Бородянська рожева, Водограй, Гарт, Віра, Карлена, Коруна, Кобза, Либідь, Поран, Молодіжна, Посвіт, Пролісок та ін.; технічно-столові - Воловецька, Древлянка, Зарево, Ласунак, Ікар, Темп та ін. [2,4]. На Волині виведено більше 100 сортів картоплі(рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Окремі сорти картоплі Волинської селекції

До посадки картоплі висувають наступні вимоги[2,4]:

- 1) для посадки використовують здорові, цілі бульби вагою 50-60 г; у пророслих бульб паростки довжиною більше 3 см обламують;
- 2) бульби висаджують рівномірно по всій площі, в кожне гніздо може вкладатись по дві бульби з одночасним внесенням добрив;
- 3) ширина міжрядь встановлюється з врахуванням ґрунтово-кліматичних умов;
- 4) дозволяється відхилення ширини основних поздовжніх міжрядь на +2 см і стикових до +10 см; при квадратно - гніздовій посадці відхилення центрів гнізд від лінії поперечних рядків на довжині, рівній трьом суміжним робочим захопленням агрегату, не повинна перевищувати + 7 см.
- 5) всі бульби закладаються на однакову глибину при гладкій посадці на 8-14 см, при гребеневій на 10-18 см, в залежності від ґрунтових умов; відхилення від заданої глибини не повинні перевищувати +2 см.

За таких вимог на особливу увагу заслуговує гребеневий спосіб посадки картоплі.

2. – Особливості садіння картоплі гребневим способом

2.1 – Використання добрив при вирощування картоплі

За умов біологізації землеробства важливим є зменшення кількості препаратів хімічного походження для отримання продуктів харчування та негативного впливу на навколишнє середовище (табл. 2.1). Якщо на органо-мінеральному фоні удобрення під картоплю вносять 60 т/га гною і $N_{60}P_{60}K_{80}$, то на органічному – 5 т/га гною, за стартових доз мінеральних добрив ($N_{20}P_{40}K_{40}$), необхідно заробляти у ґрунт сидерати та соломку.

Таблиця 2.1 – Урожайність бульб картоплі залежно від системи удобрення та способів основного обробітку ґрунту, ц/га

Варіант дослідження	Спосіб обробітку ґрунту					
	звичайна оранка на 25-27 см		чизельний на 25-27 см		ярусний на 25-27 см	
	урожайність, ц/га	± до контролю	урожайність, ц/га	± до контролю	урожайність, ц/га	± до контролю
Органо-мінеральна система удобрення (контроль)	178	0	175	0	182	0
Органічна система удобрення	181	+3,0	179	+4,0	191	+9,0

На більшості типів ґрунтів, за винятком чорноземів, вирощувати високі й сталі врожаї картоплі без внесення органічних добрив практично неможливо, навіть за внесення достатньої кількості мінеральних добрив. Однак за останні роки через стрімке зменшення поголів'я великої рогатої худоби, високих витрат на внесення добрив і низку інших чинників органічні добрива під картоплю вносять дуже рідко, що є однією з причин низької середньої урожайності в країні. Отримання високих врожаїв за рахунок збільшення норми внесення мінеральних добрив сприяє зараженню картоплі бактеріальними хворобами, серед яких рак і нематода, що не дозволяє Україні з 2003 року вийти з продукцією на світовий ринок[7].

Органічні добрива, підготовлені до внесення, повинні мати мінімальні втрати органічних речовин та азоту; не містити життєздатного насіння бур'янів та гельмінтів, хвороботворних мікроорганізмів. Застосування під картоплю

свіжого гною, так само як і наявність у добривах сторонніх предметів (каміння, уламки деревини тощо) не допускається.

При суцільному внесенні органічних добрив їх рівномірно розкидають по полю з подальшим загортанням у ґрунт при передпосівній культивуванні або оранці на глибину 10...20 см. Спосіб суцільного внесення є найбільш поширеним і використовується у випадках внесення великих доз добрив в межах 40...60 т/га. Такі об'єми вимагають значних транспортних витрат, зростає собівартість вирощеної продукції.

Зниження норми внесення органічних добрив без зменшення врожайності культур, що вирощуються, є важливим при ціноутворенні продуктів харчування для населення країни. Його можна досягти, коли в період посіву чи посадки одночасно внести органічну частину. Тоді норму внесення можна знижувати до 50% і більше у порівнянні з традиційними технологіями. До органічних добрив можна віднести всім відомі гній, пташиний кал, компост, стружку, тирсу й так звані зелені добрива [6, 8, 14].

У зв'язку з дефіцитом гною, актуальним є приготування і внесення компостів. З'явилась інформація щодо приготування сапропелевих компостів на основі стеблової частини врожаю зернових культур [14].

Для Північно-Західного Полісся характерне розміщення значної кількості прісноводних озер кастового походження. Проведенні дослідження в останніх десятиліттях [8, 9] вказують на значні запаси в них сапропелів органічного походження, придатних для ефективного використання при вирощуванні сільськогосподарських культур у якості, як чистих добрив, так і складника компостів.

2.2 – Інтенсивна технологія вирощування картоплі

Правильно вибрана технологія вирощування є запорукою високих врожаїв сільськогосподарської культури. Картопля відноситься до плодоовочевої продукції, яка має свої особливості використання, бо така продукція містить у собі значну кількість води. Чим більше сухої речовини у

продукції, тим краща її лежкість. Україна з своїм ґрунтовим потенціалом займає четверте місце серед найбільших країн з виробництва картоплі(рис.2.1).

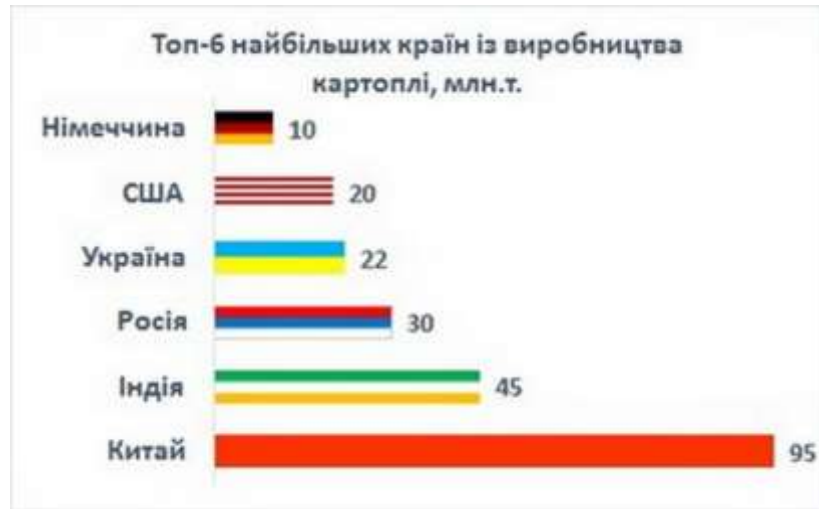


Рисунок 2.1 – Розподіл провідних виробників картоплі у світі

Технологія вирощування картоплі включає в себе багато елементів, кожному з яких потрібно приділяти особливу увагу[2, 10, 16, 17, 21]. Перш ніж почати огляд кожного елемента технології вирощування картоплі слід виділити два основні методи її вирощування - це гребневий метод, коли її підгортають та вирощування картоплі без гребенів. На важких запливаючих ґрунтах проводити підгортання обов'язково, якщо ґрунти легкі піщані, то картоплю не підгортають. Все це пояснюється підвищеними вимогами бульб до пухкості ґрунту і наявності в ньому повітря. Вирощування не допускається на переущільнених ґрунтах, так як безпосередньо урожай формується у самій землі.

Тому вирощування картоплі включає в себе наступні заходи:

- вибір ділянки та підготовка ґрунту під посадку;
- підготовка насінневого матеріалу та посадка картоплі;
- підбір і застосування добрив з врахуванням природно-кліматичних умов;
- захист від хвороб і шкідників;
- збирання картоплі з подальшим зберіганням картоплі в зимовий період.

Підготовка ділянки (рис.2.2). Картоплю не можна садити після пасльонових культур - перцю, баклажанів, помідорів, ну і, зрозуміло, після самої картоплі. Постійне вирощування картоплі на одному місці протягом декількох років призводить до накопичення в ґрунті хвороб і шкідників та однобічному виносу поживних елементів. З осені необхідно підготувати ґрунт - прибрати бур'яни, внести добрива, зорати ділянку на глибину 25 - 27 см. Навесні необхідно розпушити верхній шар ґрунту, щоб з нього не випаровувалася волога.



Рисунок 2.2 – Підготовка ґрунту до посадки картоплі

Підготовка насіння картоплі до посадки. Для посадки картоплі механізованим способом необхідно вибрати добре відсортовану фракцію насінневих бульб круглолої форми. Рівномірним сходам сприяє пророщування у теплом приміщенні при температурі від 15 °С до 20 °С. з достатньою кількістю світла. Тоді паростки будуть короткими, товстими і добре триматимуться на клубні, але при цьому підвищуються вимоги до конструкції садильних апаратів.

Посадка картоплі. Картоплю висаджують за умови, коли ґрунт добре прогріється до 9 – 10 °С. Схема посадки вибирається з цільового використання картоплі - якщо це раннє насіння і воно не буде зберігатися, то посадку роблять густішою, якщо на зберігання - тоді рідше. Найбільш поширені схеми для ранньої картоплі - 50 на 30 або 60 на 25, для пізнього - 60 на 30 або 75 на 25. При гребневому способі вирощування ширину міжрядь збільшують до 90 см.

Глибина посадки бульб є важливим параметром. Проте картоплю радять садити неглибоко на 6 –8 см.

Догляд за картоплею (рис. 2.3). Високий урожай картоплі можна отримати лише при ретельному догляді за картоплею. При появі сходів необхідно провести підгортання бульб, при цьому висота гребеня може бути і 30 см у висоту (чим вище гребінь, тим краще). При вирощуванні картоплі ґрунт потрібно постійно тримати в розпушеному стані, не допускати пересихання або перезволоження. Так само важлива боротьба з бур'янами, їх краще всього знищувати на початку вегетації, так 3 – 4 рази за сезон бур'яни потрібно прибирати з площі. Сучасні технології, як захід боротьби з бур'янами, використовують періодичне нагортання гребенів.



Рисунок 2.3 – Експериментальний засіб внесення рідких препаратів, виконаний за участі авторів роботи

Боротьба з хворобами і шкідниками. При сучасній інтенсивності технології вирощування картоплі використання агрохімікатів стає обов'язковим. Хвороби картоплі, такі як: фітофтороз, альтернаріоз – контролюють препарати фунгіциди. Високий урожай картоплі можна отримати при проведенні 4-5 обробок за весь період вирощування. Основним же шкідником на картоплі є колорадський жук його кількість можна контролювати через використанням хімічних засобів. Сучасний ринок пестицидів пропонує дуже великий вибір, важливо використовувати фірмові препарати і остерігатися підробок. Все більше поширення знаходить листостеблове живлення рослин. Тому дослідження, створення та використання технічних засобів для внесення рідин є актуальним питанням [13] (рис. 2.3).

Збирання картоплі. Коли бадилля зів'яне, а шкірка на бульбах перестає обдиратися, слід почати збирання. Важливо, щоб бадилля було напівсухим, так

як в м'ясистому бадиллі є ще важливі елементи, які надходять в бульби. Не варто залишати на площі бадилля і дрібні бульби, так як вони стають накопичувачами хвороб і шкідників на наступний рік. Відразу після збирання його необхідно просушити на сонці протягом декількох годин.

Зберігання картоплі в зимовий період. Перед закладанням на зберігання готують сховище, а картоплю сортують. Вилучають хворі, порізані, уражені шкідниками бульби. Оптимальна температура зберігання картоплі становить 5 -10 °С.

2.3 – Конструктивна пропозиція вдосконалення садильного апарату

У більшості випадків насіння картоплі на поверхню поля потрапляє за допомогою садильного апарату через трубопроводи або, як правило, забирається ложечками безпосередньо з бункера. При цьому зростає вірогідність пошкодження картоплі і в одну ложечку потрапляє декілька картоплин. Для усунення вказаних недоліків необхідно відмовитись від механічного впливу рухомих елементів садильного апарату на бульби, використавши їх масу, як параметр який пов'язаний із силою гравітації (рис. 2.4.).

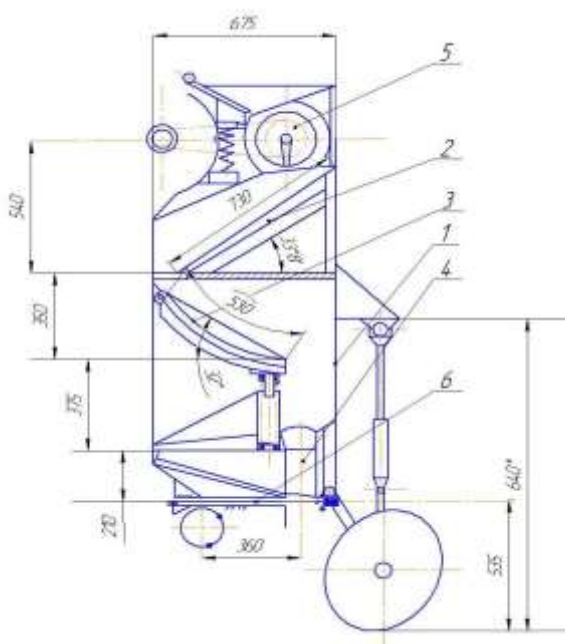


Рисунок 2.4 – Схема пристрою для подачі картоплі

Для цього у бункері залишаються лише ворушилка та відокремлювач 5 картоплі, які забезпечують поштучну подачу картоплі на похилі каскади у вигляді лотків. Якщо картопля буде наближатись до форми кулі, то вона вільно переміщатиметься (котитиметься) по їх поверхнях. Аналіз бункерів картоплесадильних машин показав, що бункерам надають прямокутну форму з оберненими зрізаними конусами у нижній частині, щоб забезпечити поштучний відбір і потрапляння картоплі після садильного апарату на сформовану полосу з твердих добрив. Зменшення габаритних розмірів формувачів потоку в поперечному перерізі вимагає встановлення двох похилих каскадів: розгону 2 та гальмування 3 перед потраплянням картоплі у вловлювач 4.

При цьому лоток каскаду розгону 2 має прямолінійну поверхню, гальмування - криволінійну, яка у верхній частині кріпиться шарнірно, а у нижній вільно опирається на підпружинений шток. Вловлювач 4, у вигляді циліндра, може помістити одночасно не більше трьох картоплин, у нижній частині закривається відсікачем 6, який кінематично пов'язаний з відсікачем 5 картоплі та опорно – ходовими колесами (на схемі не показано).

Кількість пристроїв подачі картоплі залежить від встановленої рядності машини для садіння картоплі. Загалом, таке конструктивне виконання можливе при створенні однорядних картоплесаджалок, модернізації двохрядних та модернізації комбінованих агрегатів для садіння картоплі на базі машин для поверхневого внесення твердих органічних добрив [11].

Для обґрунтування необхідних параметрів пристрою подачі картоплі, розроблена дослідна установка(рис. 2.5). Вона складається із зварної рами 1, на якій розміщено двокаскадний пристрій подачі картоплі з відсікачем потоку 9. Потік бульб, які подаються з бункера відділяються поштучно, попадають на лотки каскаду розгону 4, і далі на лоток каскаду гальмування 7, який досліджували, як з двома прямолінійними ділянками, так і криволінійною 6. У нижній частині передбачено вловлювач 8 з відсікачем потоку 9, який лімітує висоту падіння. Привід 10 відвідокремлювача 3 бульб здійснюється вручну, за допомогою ланцюгової передачі 11 і кінематично з'єднаний з відсікачем 9.

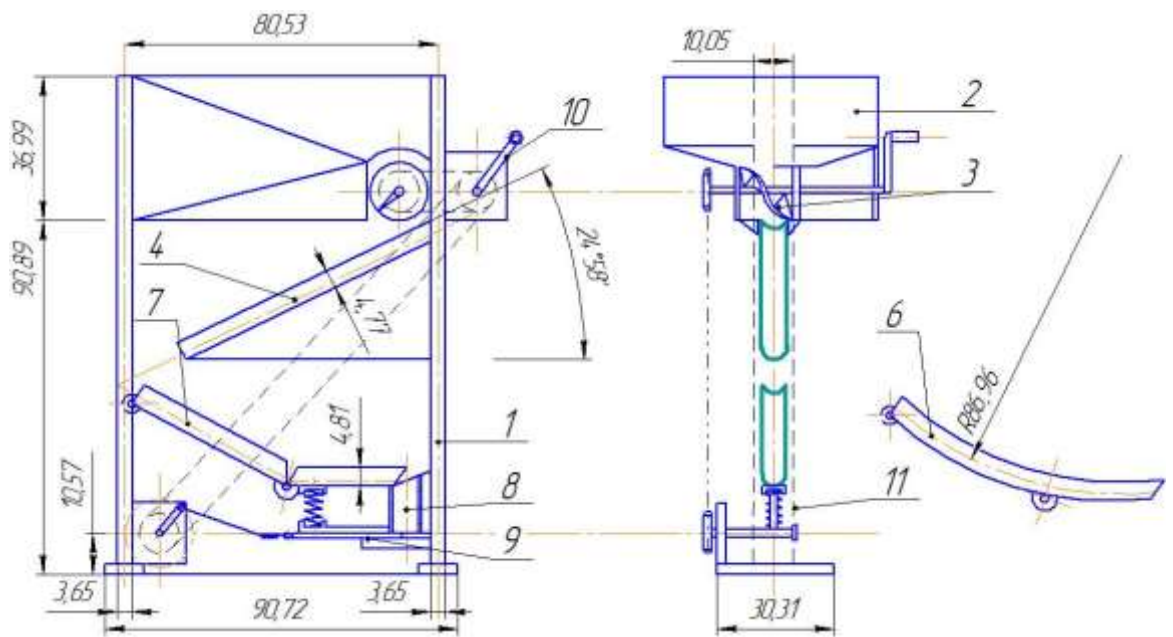


Рисунок 2.5 – Схема лабораторної установки для дослідження процесу подачі картоплі: 1 – рама; 2 – бункер; 3 – відокремлювач картоплі; 4 – каскад розгону; 5 – площадка сповільнення; 6 – криволінійний каскад; 7 – лоток; 8 – вловлювач картоплі; 9 – відсікач потоку; 10 – привід; 11 – ланцюгова передача.

Фізична модель пристрою подачі картоплі гравітаційного типу зображена на фото (рис. 2.6). Її використання дозволило встановити ефективність подачі насіння картоплі у приготовлену полосу сошником у лабораторії на ґрунтовому каналі.



а)



б)

Рисунок 2.6 – Загальний вигляд пристрою подачі картоплі методом гравітації (а - вигляд збоку та в – фронтальний вид)

Використання похилих поверхонь дозволяють відмовитись від стандартних садильних апаратів без втрати вимог до вкладання насіння картоплі у зони живлення рослин у вигляді суміші із органічних і мінеральних добрив.

3 – Створення умов отримання високого врожаю картоплі

3.1 – Особливості підготовки рядка до вкладання насіння картоплі

Важливою умовою отримання високих врожаїв картоплі є створення пухкого вологого шару ґрунту у гребені. За умови підготовки ґрунту в осінньо – весняний період шляхом переорювання ділянки поля осінню та проведення глибокого рихлення у передпосівний період, необхідно максимально зберегти вологу у ґрунті, призначеного для формування гребенів.

При цьому, для забезпечення точності вкладання картоплі за висотою, необхідно, щоб суміш органічних і мінеральних добрив вкладалась полосами на рівні поверхні поля. З цією метою, необхідно використовувати спеціальні сошники [13] (рис. 3.1), які потребують певних досліджень.



Рисунок 3.1 - Схема універсального сошника: а – вигляд збоку; б – вигляд зверху

За тяговим опором робочих органів машин можна судити про енергоємність виконання процесу, так як вона є однією з найважливіших експлуатаційних характеристик МТА.

Досліди із визначення тягового опору запропонованих робочих органів, проводили у лабораторних умовах на ґрунтовому каналі (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Проведення лабораторного дослід у ґрунтовому каналі

У верхній частині каналу розміщені направляючі, по яких переміщається візок на колесах. У платформі візка, з одного боку передбачено затискну головку для кріплення робочих органів, з другого – отвір для її з'єднання з динамометром. Тягову силу вимірювали ваговим терміналом КОДА 3, до якого було приєднано S - подібний тензOMETричний силовимірювальний датчик серії SBA.

При проведенні досліджень робочий орган кріпили в затискній головці візка, змінюючи висоту, щоб отримати глибину його ходу в ґрунті, рівній 5, 10, 15 см. З іншої сторони візка встановлювали тензOMETричний силовимірювальний датчик, який в свою чергу передавав дані на ваговий термінал КОДА 3. Візок переміщали з постійною швидкістю, яку забезпечував електродвигун з черв'ячним редуктором. Після встановлення плавного рівномірного ходу знімали покази вагового терміналу. Крім цього, проміряли зрізи сформованої борозни у вертикальній площині, її максимальну ширину та глибину для кожного із трьох варіантів ложеформувача. Досліди проводили для сухого, у межах 8...10 % та зволоженого 25...30% ґрунту, у трикратних повторностях.

3.2 – Результати експериментальної перевірки переміщення сошників у ґрунтовому каналі

Проведення дослідів із визначення тягового опору та формування необхідного профілю полоси(борозни) для вкладання суміші з органічних і

мінеральних добрив проводились у ґрунтовому каналі кафедри картопля. При цьому, було використано три конструкції сошників [14] та змінювали вологість ґрунту.

Аналіз графіків, представлених на рис. 3.3, вказують на подібність криволінійних залежностей тягового опору сошників, які при протягуванні у ґрунті утворюють прямокутне 1, трикутне 2 та трапецевидне 3 січення полоси. При цьому, у сухому ґрунті, вологістю 15-20%, форма сошника суттєвої різниці на тяговий опір не має. Але даний параметр залежить від глибини ходу сошника. При цьому відхилення від заглиблення робочого органу було до 50%. Різниця у ширині утвореної борозни незначна, і становить не більше 6 см. Варто також звернути увагу на тяговий опір при формуванні прямокутної та трапецевидної борозни. У варіанті 1 він дещо більший на глибині переміщення 5 см. Дане явище пояснюється зростанням сили тертя по боковим поверхням сошника у вигляді трапеції.

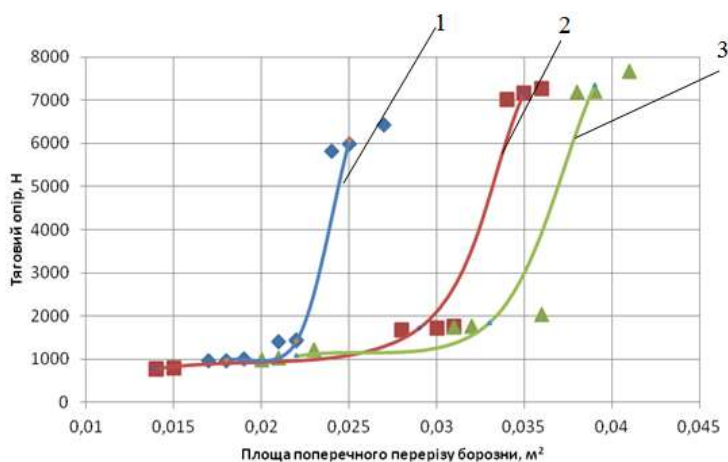


Рисунок 3.3 – Графічні залежності тягового опору сошника від площі поперечного січення полоси у ґрунті вологістю 15-20

Аналогічні результати отримані у випадку формування полоси у ґрунті з вищою вологістю до 40% (рис. 3.4). Лише частково лінійна залежність тягового опору від поперечного січення для обох варіантів ґрунту прослідковується лише на ділянках, коли сошники заглиблювали більше 10см. Тяговий опір, в свою чергу, в значній мірі не залежить від вологості.

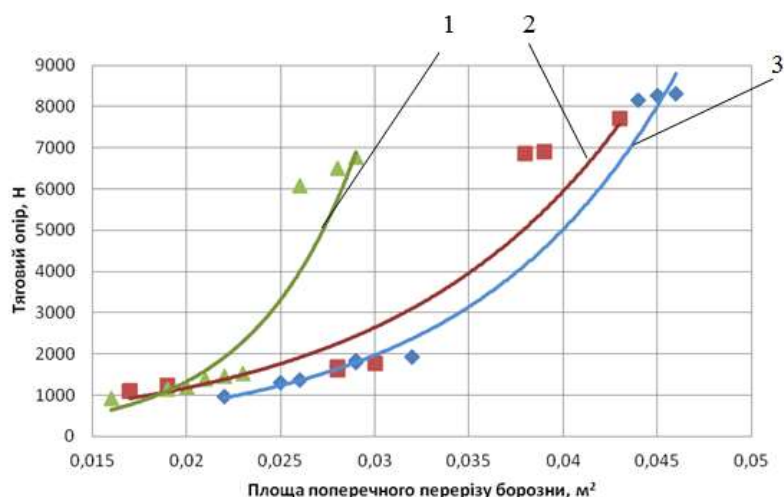


Рисунок 3.4 – Графічні залежності тягового опору сошника від площі поперечного січення полоси у ґрунті вологістю 30-40%

Запропонований універсальний сошник (рис. 3.1) забезпечує будь-який профіль полоси у поперечному січенні, відповідно до вимог садіння картоплі та розрахунку норми внесення суміші з органічних і мінеральних добрив. При цьому, розгортання ґрунту забезпечує два валки пухкого ґрунту призначеного для подальшого нагортання гребенів після вкладання насіння картоплі, а створена борозна заповнюється поживними речовинами у вигляді суміші з органічних і мінеральних добрив.

4 – Результати досліджень використання сил гравітації при подачі насіння картоплі у полоси з суміші органічних і мінеральних добрив

4.1 – Параметри органічних добрив для формування полос живлення насіння картоплі

Основним компонентом для удосконаленої технології формування умов живлення при вирощуванні картоплі гребневим способом є тверді органічні добрива різного походження. Ефективність таких добрив проявляється, якщо при їх виробництві використовувати місцеві ресурси (підстилковий гній, торф, сапрпель, органічні відходи, тощо). Волинський регіон багатий на сапрпель, які володіють високою вологоутримуючою здатністю, тому існує велика

кількість досліджень із виробництва твердих органічних добрив на основі сапропелю [9].

Такі добрива мали місце у даних дослідженнях (рис. 4.1), де врахували висоту падіння бульб на компости основою яких є озерний сапропель. Початкова відносна вологість загальної маси приготовлених твердих органічних добрив складала 75-50 %, що вимагає їх зневоднення до вологості 30-45 % з подальшим подрібненням для надання властивості сипкості.

На основі отриманих даних будувались графічні залежності з врахуванням висоти розміщення заслінки отвору, через який просипались добрива. Тут важливим було забезпечення рівномірності вкладання добрив у вигляді полоси з прямокутним(трапецеподібним) січенням у поперечному перерізі, що створює хороші умови при падінні картоплі з висоти.

Як видно з рис. 4.1, запропоновані органічні добрива однорідні за складом і дозволяють сформувати добру основу для вкладання бульб. При проведенні досліджень формували зону живлення шириною 150 мм та висотою 10, 30 і 50 мм у центрі розміщення добрив.

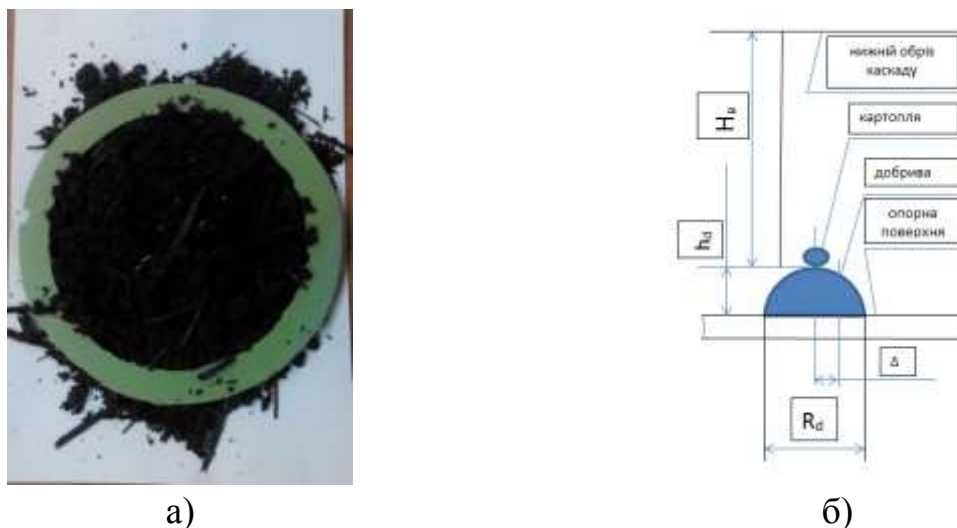


Рисунок 4.1 – Дослідження твердих органічних добрив як зони живлення
а) формування зони живлення; б) встановлення падіння картоплі

Попередні дослідження показали, що маса картоплини, при її падінні з висоти рівній 50, 150 і 300 мм (відстань від крайньої точки розміщення добрив

до обрізу відсікача), не впливає на точність вкладання у сформовану зону живлення. При цьому, було п'ять варіантів бульб за масою: 85,0; 113,5; 106,0; 87,4; 92,2 гр.. Таким чином, при середній масі твердих органічних добрив 588,81 г, за допомогою спеціальних кілець, висоту у центрі h_d встановлювали 10, 30, і 50 мм. Висота H_e характеризує положення крайнього обрізу відсікача. Відхилення від центру Δ вимірювали лінійкою, а дані записували у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Відхилення картоплин при падінні на полосу добрив.

Висота падіння картоплі/висота добрив, мм	50	150	300
100	20	50	0
200	25	40	10
300	60	30	70

За табличними даними будувались графічні залежності(рис. 4.2).

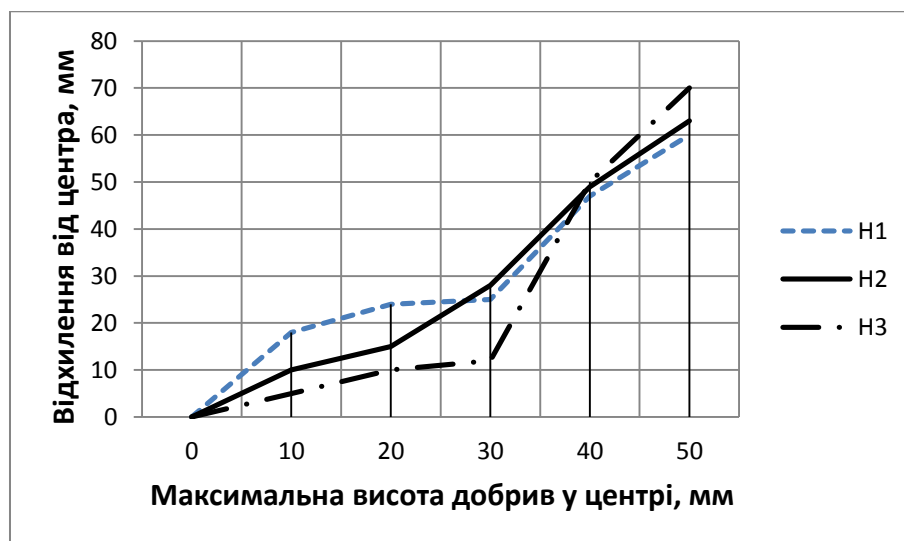


Рисунок 4.2 – Вплив висоти розміщення відсікача та розмірів полоси добрив на відхилення від центра при падінні картоплі

Аналіз графіків, представлених на рис.4.2 вказують, що для отримання якісного розміщення бульб з використанням каскадного пристрою подачі бульб, на сформовані полоси із приготвлених твердих органічних добрив показують, що визначальними параметрами при цьому є висота полоси, яка

становить 10-20 мм по центру борозни шириною 150 мм. У такому випадку, насінневі бульби масою до 100 грам не відхиляються від точки їх падіння. При появі гребеня на полосі відбувається скочування картоплини від центральної вісі, що впливає на точність розміщення картоплі у зоні живлення.

4.2 - Теоретичні дослідження процесу кочення картоплі кулястої форми по поверхнях різної кривизни

Для режиму чистого кочення тіла по плоскій похилій поверхні [10] (рис.4.3) мають виконуватись такі умови:

- похила площина абсолютно шорстка;
- бульба котиться без проковзування.

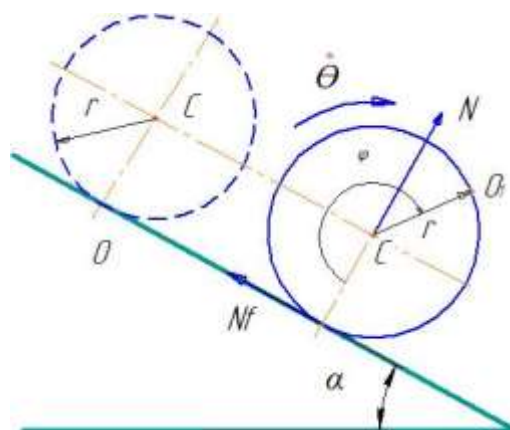


Рисунок 4.3 – Переміщення бульби кулястої форми по плоскій похилій поверхні у режимі чистого кочення

Якщо допустити, що у картоплини, яка котиться по каскаду у вигляді лотка без контакту у його бокові поверхні, то для вказаних умов найбільш важливо враховувати наступні кінематичні параметри руху: швидкість, прискорення та час переміщення. Бульба вважається кулею, якщо розподіл маси у ній є рівномірним, тобто відношення радіуса інерції ρ до радіуса кулі r є рівним - $\rho/r = \sqrt{0,4}$.

Так як бульба котиться по лотку у режимі чистого кочення, то швидкість геометричної точки контакту O рівна нулю, тобто вона є миттєвим центром швидкостей.

$$V_o = V_c - r\dot{\theta}, \quad (4.1)$$

де V_c - лінійна швидкість центра мас, яка направлена вздовж похилої площини, м/с;

$\dot{\theta}$, - кутова швидкість бульби, с^{-1} ;

r – радіус бульби, м.

Кінетична енергія бульби при її русі по похилій площині визначатиметься за формулою:

$$T = m \frac{V_c^2}{2} + I_c \frac{\dot{\theta}^2}{2} \quad (4.2)$$

де I_c – момент інерції кулі відносно центральної горизонтальної вісі, перпендикулярної площини її руху. Він дорівнює:

$$I_c = m\rho^2 \quad (4.3)$$

З врахуванням 4.3, кінетична енергія кулі становитиме:

$$T = m \frac{r^2 + \rho^2}{2} \dot{\theta}^2 \quad (4.4)$$

Потенційна енергія бульби, яка рухається по похилій площині дорівнює:

$$\Pi = -mgS \sin \alpha \quad (4.5)$$

де S – шлях руху бульби, або довжина лотка розгону картоплі, м.

Закон збереження енергії для такої механічної системи можна записати з врахуванням, що $\dot{S} = V_c$ та $\dot{\theta} = \frac{V_c}{r}$ і з відповідними перетвореннями:

$$T + \Pi = \frac{m}{2} \lambda^{-1} \dot{S}^2 - mgS \sin \alpha = c_1 \quad (4.6)$$

де c_1 - постійна, а λ – визначається за співвідношенням $\lambda = \frac{r^2}{r^2 + \rho^2}$

З врахуванням вище сказаного, в початковий момент часу $t = 0$, постійна $c_1 = \frac{mV_0^2}{2\lambda}$.

Отже, диференціальне рівняння картоплини кулястої форми матиме вигляд:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)^2 = 2gS\lambda \sin \alpha + V_0^2 \quad (4.7)$$

Відповідно швидкість центра мас бульби дорівнює:

$$\frac{ds}{dt} = \sqrt{2gS\lambda \sin \alpha + V_0^2}. \quad (4.8)$$

Диференціювання 4.8, дозволяє отримати рівняння, яке характеризує прискорення бульби по похилій поверхні:

$$\frac{d^2 s}{dt^2} = \frac{\sqrt{2gS\lambda \sin \alpha + V_0^2}}{ds} \frac{ds}{dt} = g\lambda \sin \alpha \quad (4.9)$$

При коченні картоплини кулястої форми по криволінійній поверхні каскаду для сповільнення руху, який має форму частини кола радіусом $R_{\text{пов.}}$, вона прискорюється у нижньому положенні до максимального значення і для її сповільнення необхідно, щоб край лотка був мав прямолінійну ділянку з деяким кутом до горизонталі або криволінійну поверхню.

Розглянемо рух бульби масою m , коли вона знаходиться у початковому положенні на робочій поверхні (рис. 4.4). У такому разі важливими є її кінематичні параметри.

Позначимо через θ кут між дотичною до даної кривої і віссю Ox , а шлях який пройде частинка через S . Відповідно кут PO_1Q також дорівнює θ . Таким чином $S = R \cdot (\pi/2 - \theta)$, а $Y_p = R \cdot \cos \theta$. Використавши закон збереження енергії при переміщенні кулеподібних тіл по криволінійних поверхнях запишемо рівняння:

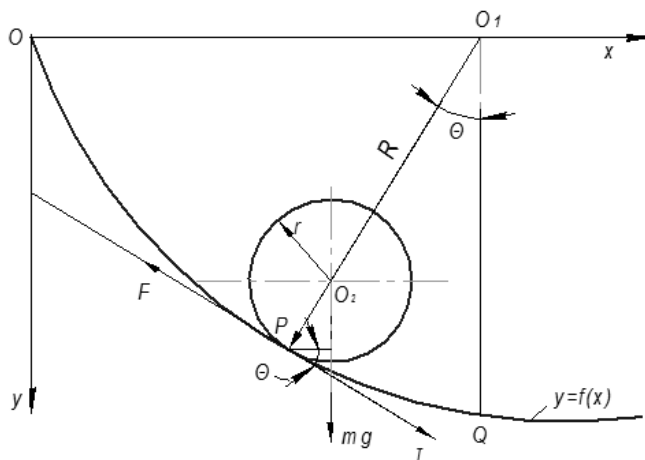


Рисунок 4.4 – Схема до розрахунку переміщення бульби кулястої форми по криволінійній поверхні

$$\frac{E_0}{m} = \frac{r^2 + \rho^2}{2} \theta^2 - gy_p + rg \cos \theta = \frac{r^2 + \rho^2}{2} \theta^2 - gR \cos \theta + rg \cos \theta, \quad (4.10)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{\dot{S}}{r} + \dot{\theta} = \frac{R}{r} \frac{d}{dt} \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) + \dot{\theta} = \frac{R-r}{r} \dot{\theta}, \quad (4.11)$$

У початковий момент часу $t = 0$, значення константи також $E_0 = 0$.

$$\frac{1}{2\lambda} = (R-r)^2 \theta^2 = g(R-r) \cos \theta, \quad (4.12)$$

Якщо прийняти $\lambda = \frac{r^2}{r^2 + \rho^2}$, то розв'язок рівняння 2.17 матиме вигляд:

$$\dot{\theta} = -\sqrt{\frac{2g\lambda}{R-r}} \sqrt{\cos \theta}, \quad (4.13)$$

Підставивши 4.13 в 4.11, отримаємо величину кутової швидкості переміщення бульби по криволінійній поверхні:

$$\dot{\varphi} = \sqrt{\frac{2g(R-r)}{r^2 + \rho^2}} \sqrt{\cos \theta}, \quad (4.14)$$

Швидкість центра мас кулеподібної частинки, та проекції її вектора на координатні вісі визначаються за відомими формулами:

$$V = r\dot{\varphi}, \quad V_x = V \cos \theta, \quad V_y = V \sin \theta. \quad (4.15)$$

Величину кутового прискорення отримаємо після диференціювання рівняння 4.14.

$$\ddot{\varphi} = \frac{d}{dt} \left[\sqrt{\frac{2g(R-r)}{r^2 + \rho^2}} \cdot \sqrt{\cos \theta} \right] = \sqrt{\frac{2g(R-r)}{r^2 + \rho^2}} \cdot \frac{\sin \theta}{2\sqrt{\cos \theta}} \frac{d\theta}{dt} = \frac{rg}{r^2 + \rho^2} \cdot \sin \theta, \quad (4.16)$$

При $R = 0,8$ м, $r = 0,05$ м, $V_0 = 0$, $\theta = 0$, максимальна швидкість та прискорення бульби наближеної по формі до кулі, у найнижчій точці криволінійної поверхні, будуть рівними:

$$\dot{\varphi} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot (0,8 - 0,05)}{0,0001 + 0,2294}} \cdot 1 = 8,218 \text{ рад/с}$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{0,05 \cdot 9,81}{0,0001 + 0,2294} \cdot 0 = 0.$$

Швидкість центра мас такої бульби та проекції її вектора на координатні вісі при цьому рівна, за умови коли $\theta = 0$:

$$V = V_x = 0,01 \cdot 8,218 = 0,082 \text{ м/с},$$

$$V_y = 0.$$

Інші параметри гравітаційних каскадів у вигляді прямолінійних і криволінійних поверхонь краще визначати за допомогою експериментальних досліджень, які дозволять вибрати раціональну конструкцію пристрою подачі картоплі без механічного впливу.

4.3 - Дослідження садіння картоплі пристроєм гравітаційного типу

Для отримання математичної моделі садіння та встановлення впливу відповідних факторів на точність їх попадання у зону розміщених твердих органічних добрив, було проведено двохфакторний експеримент згідно методики, що приводиться у додатку 1.

Мета експерименту полягала у визначенні зміни відхилення від заданої точки попадання картоплин в процесі подачі їх каскадним пристроєм при варіюванні таких факторів: висоти падіння бульб на підготовлену поверхню з органічних добрив, коефіцієнта, який враховує параметри твердих органічних добрив, як основи для вкладання картоплі та їх геометричних розмірів.

Обробка даних результатів двохфакторного експерименту за трирівневим планом другого порядку, за допомогою програми, створеної у середовищі Mathcad (додаток 2), дозволила отримати наступне рівняння регресії точності вкладання бульб картоплі у зону розміщення твердих добрив:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (4.17)$$

де x_1 – кодоване значення висоти падіння бульб з каскадного пристрою;

x_2 – узагальнений коефіцієнт, який враховує властивості твердих органічних добрив і геометричних розмірів картоплі;

b_0, b_1, b_2, b_{12} - коефіцієнти рівняння регресії.

Оцінку однорідності ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена.

Оскільки, $G^{розр.} = 0,097 < G^{табл.} (0.05; 15; 2) = 0.637$, табличне 0,77 то процес відтворюється.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії проводилася за допомогою критерію Стьюдента згідно методики.

Критерій Стьюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1 = 2$ склав $t_{0,05;2} = 2,3$. В результаті цього рівняння (4.17) набуло вигляду:

$$Y = 133,37 - 0,124x_1 - 41,17x_2 \quad (4.18)$$

Перевірку адекватності отриманого рівняння регресії (4.17) проводили за допомогою F - критерію Фішера. Розрахункове значення критерію Фішера становило $F^{розр.} = 3,705$ при дисперсії неадекватності $S_{неад.}^2 = 0,00006611$ і дисперсії відтворюваності $S_y^2 = 0,0000311$. Табличне значення критерію Фішера при прийнятому 5%-му рівні значущості та ступенях вільності $f_1 = 2$, $f_2 = 8$ склало $F^{табл.} = 5,318$. Оскільки $F^{розр.} = 3,705 < F^{табл.} = 5,308$, то отримана модель адекватна.

Остаточне рівняння з факторами у натуральному вигляді набуде вигляду:

$$R_z = 133,37 - 0,124H - 41,17k \quad (4.19)$$

За рівнянням регресії (4.19) було побудовано поверхні відгуку (рис. 4.5, а) та її двомірне січення (рис. 4.5, б).

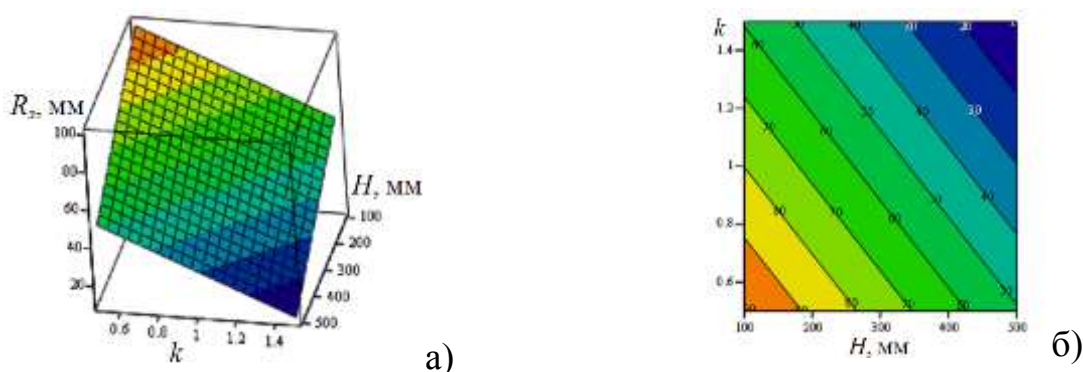


Рисунок 4.5 – Поверхня відгуку(а) та двомірні січення(б), які характеризують точність вкладання бульб картоплі, в залежності висоти падіння H , м і узагальненого коефіцієнта k , який враховує параметри твердих органічних добрив і геометричні розміри бульб

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що обидва фактори мають суттєвий вплив на забезпечення точності вкладання бульб картоплі у зону її живлення.

4.4 – Конструктивно-компонувальна схема комбінованого агрегату для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив

Садіння картоплі забезпечують картоплесаджалки різної рядності, у більшості випадків, з одночасним внесенням мінеральних добрив. Підвищення якості формування умов живлення рослин за рахунок органічних добрив, відбувається в осінній період підготовки ділянок поля, шляхом поверхневого внесення 40-60 т/га підстилкового гною або компостів органічного походження. Порушення балансу між тваринницькою галуззю і галуззю рослинництва призвело до різкого зменшення вказаної норми або відмови від органіки загалом. Тому поповнення поживи для гумосоутворюючих бактерій, можливе зниженням норми внесення менше 10 т/га, у першу чергу, при садінні картоплі.

Для цього, на основі відомих досліджень, запропоновано машину (рис. 4.6) для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив[10]. При цьому органічні добрива необхідно приготувати: надати їм сипучості шляхом подрібненням і сепаруванням.

Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив складається з рами 1, на якій встановлено бункер органічних добрив у вигляді ковша 2 з гідроциліндром 3 і дозатором - змішувачем 4, опорно – ходові колеса 5, сошник 6 з спрямовувачем 7 потоків суміші добрив, ємкість мінеральних добрив 8 з дозатором 9, бункер для картоплі 10 з ворушилкою 11 та відокремлювач картоплі 12, які кінематично з'єднані з опорно–ходовими колесами 5 і відсікачем 13 гравітаційних пристроїв подачі картоплі 14, розташованих у задній частині машини з зафіксовану напівциліндричною поверхнею каскаду розгону 15 та криволінійною

поверхнею каскаду гальмування 16 з пружною опорою 17 і вловлювачем 18, формувач гребенів 19, гідроциліндри 20.

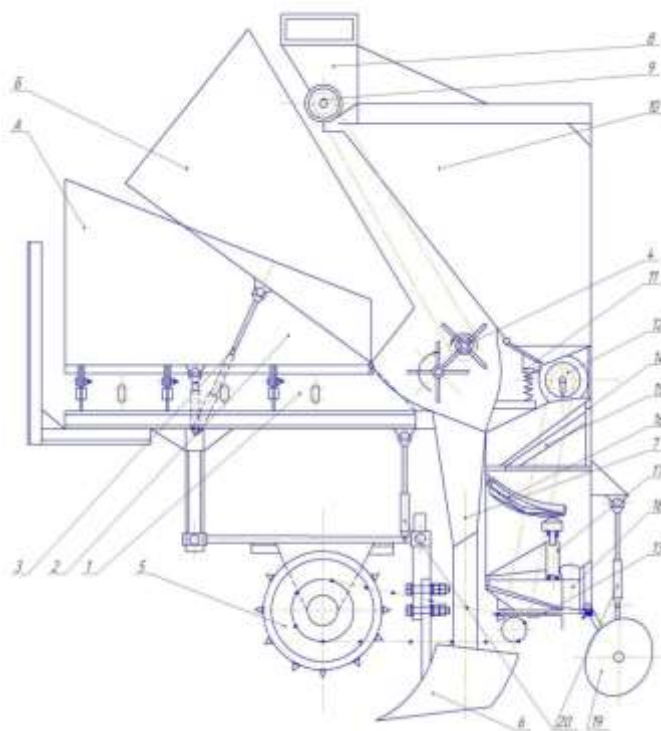


Рисунок 4.6 – Конструктивно-компонувальна схема машини для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив

Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив працює наступним чином. Підготовлені органічні добрива завантажуються у бункер органічних добрив у вигляді ковша 2 у положенні А, мінеральні добрива у ємкість для мінеральних добрив 8, а картопля – у бункер для картоплі 10. Після завантаження машини для садіння картоплі з одночасним внесенням суміші твердих органічних і мінеральних добрив і переміщення до місця садіння на попередньо підготовлене оранкою поле у загінку, гідросистемою трактора (на рисунку не показано) переводиться у робоче положення сошник 6 та формувач гребенів 19 гідроциліндрами 20.

При переміщенні машини для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив по полю, суміш з добрив готується дозатором-змішувачем 4 з органічних добрив, шляхом підйому бункера для органічних добрив у вигляді ковша 2 з положення А у положення Б

гідроциліндром 3 та подачею мінеральних добрив дозатором 9, з ємкості для мінеральних добрив 8, і направляється спрямовувачем потоків добрив 7 у полосу утворену сошником 6. Одночасно бульби картоплі ворушилкою 11 та відокремлювачем картоплі 12 з бункера для картоплі 10 направляються у гравітаційний пристрій подачі картоплі 14 на зафіксовану напівциліндричну поверхню каскаду розгону 15 та криволінійну поверхню гальмування 16. Криволінійна поверхня каскаду гальмування 16 переміщається під дією пружної опори 17 у вертикальній площині та обмежує одночасне попадання декількох бульб у вловлювач 18. Точність подачі картоплі забезпечують кінематично з'єднані опорно - ходові колеса 5 з відсікачем 13 і подавачем картоплі 12. Утворені рядки закриваються ґрунтом формувачами гребенів 19.

Після проходження загінки машину для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив переводять у транспортне положення до переміщення у наступну загінку за допомогою гідросистеми трактора.

Висновки

Активізація ринкових відносин із залученням АПК країни вимагає постійного пошуку виробництва конкурентоспроможної продукції не лише для внутрішнього ринку. Картопля, як другий хліб, може стати визначальною за умов налагодження процесів її максимальної переробки. Виробництво рослинної продукції має бути адаптовано до умов вирощування сільськогосподарських культур тоді зможуть забезпечити максимальний прибуток.

Картопля активно долучається до досліджень технологій садіння картоплі з використанням місцевих сировинних ресурсів, активна робота проводиться у лабораторії «Рослинних матеріалів і середовищ» кафедри.

Участь авторів у даних дослідженнях дозволила отримати нові результати та узагальнити попередні, на основі яких можна зробити наступні висновки:

1. Технології вирощування картоплі в умовах Західного Полісся є недосконалими і потребують модернізації операцій садіння з метою використання всього потенціалу рослин. Головною проблемою, яка на сьогодні не вирішена – це відсутність внесення органічних добрив.

2. Для збереження потенціалу ґрунтів, запропоновано технологію садіння картоплі з одночасним внесенням суміші з органічних і мінеральних добрив полосами. При цьому, норма внесення органічних добрив зменшується до 6-10 т/га.

3. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень, запропоновано конструктивно – компонувальну схему машини для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив, і пристрій подачі картоплі гравітаційного типу та подано заявку на КМ.

Література

1. Запевалов М.В. Технологии и средства превентивных процессов по уходу за сельскохозяйственными культурами. FUNDAMENTAL RESEARCH № 12, 2011. 326 – 331с.

2. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології вирощування основних польових культур. Львів: НВФ "Українські технології", 2006. – 730 с.

3. Картопля, Картопля, Картопля. Вдосконалення оприскувача для фермерських господарств. Зб. наук. статей «Картопля» вип. 44, Картопля 2020, – с. 105...109.

4. Операційна технологія виробництва картоплі / В.І.Дзюба, В.Г.Батюта, В.С.Куценко та ін.; За ред. В.І.Дзюби, В.Г.Батюти.: - К.: Урожай, 1987. - 200 с., іл.

5. Савчук В.І., Картопля. Мала механізація для садіння картоплі. Тези студ. НТК МБФ «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті», Картопля, Картопля. 2019р., с. 75...78..

6. Картопля, Поліщук М.М. Тенденції розвитку технологій формування врожаю сільськогосподарських культур. Зб. наук. праць Вінницького НАУ, «Серія: технічні науки», вип. 11. – т. 2 (66), Вінниця 2012 – с. 161...166.

7. <https://propozitsiya.com/ua/nematoda-zolotista-nebezpeka>

8. Ляшук В.М, Картопля, Поліщук М.М, Хомич А.В.. Дослідження використання озерних сапропелів при вирощуванні картоплі. Зб. наук. статей «Картопля» вип. 40, Картопля 2018, – с. 66...76.

9. Шевчук М.Й. Сапропелі України. Запаси, якість та перспективи використання / Шевчук М.Й. – Картопля: Надстир'я, 1996. – 383 с.

10. Заика М.П. Избранные задачи земледельческой механики: практическое пособие. –Киев. ИздательствоУСХА, 1992. -512с.

11. Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив, Картопля, Картопля., Ляшук В.М., Картопля, Картопля Заявка на видачу Патенту України на КМ. Супровідний лист Картопля № 153-21-35 від 30.01.2020 р.

12. Методичні рекомендації щодо проведення досліджень з картоплею. – Немішаєве: Українська академія аграрних наук, Інститут картоплярства, 2002. – 184 с.

13. Сошник для локального внесення органічних добрив. Картопля, Поліщук М.М., Картопля. Патент на корисну модель № 83890, опубл. 10.10.2013 р., бюл. №19, А 01 С 07/20.

14 Поліщук М.М. Обґрунтування процесу та параметрів машини для внесення сапропелевих компостів. Дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Картопля. 2015, 189 с.

Додаток 1.

Методика визначення точності вкладання картоплі у зону розміщення органічних добрив математичним методом планування експерименту

Дослідження проводилось на установках, зображених на рис. 3.1, 3.2 і 3.3. Досліджувались тверді органічні добрива за наявності стеблової подрібненої маси зі ступенем подрібнення 20% і початковою відносною вологістю твердих органічних добрив у межах 75%. Картопля, яка подавалась у зону, сформовану із твердих органічних добрив, була з середнім діаметром, що не перевищував 50 мм. Оцінка точності вкладання картоплі у зону розміщення органічних добрив проводилась за визначенням відхилення від центра падіння картоплин на поверхню, покриту твердими органічними добривами.

Досліджувався вплив на точності вкладання картоплі у зону розміщення органічних добрив наступних факторів:

- висоти падіння картоплі H , мм;
- безрозмірний показник, який враховує властивості та характер розміщення твердих органічних добрив (ТОД) на поверхні.

Для проведення повнофакторного експерименту необхідно провести N дослідів:

$$N = m^k, \quad (1)$$

де m – кількість рівнів дослідження;

k – кількість факторів в серії досліджень.

Згідно (1) проведення повнофакторного експерименту за двома факторами на трьох рівнях вимагає 4 дослідів. Враховуючи трудомісткість і ресурсоемність проведення дослідів, важливо було зменшити їх кількість.

З цією метою, для встановлення впливу точності падіння картоплі у зону розміщення органічних добрив, було використано симетричний некомпозиційний план Бокса-Бенкіна другого порядку. Для реалізації двохфакторного експерименту за цим планом необхідно провести 4 дослідів.

Планування експерименту передбачало наступні етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;
- проведення дослідів згідно з матрицею планування;
- визначення коефіцієнтів рівняння регресії;
- складання рівняння регресії;
- перевірка адекватності отриманої у вигляді рівняння регресії математичної моделі;
- розкодування факторів і представлення рівняння регресії в натуральному вигляді.

При складанні таблиці факторів і рівнів варіювання (табл.3.1) враховували результати попередніх досліджень і інформацію, отриману з літературних джерел. План Бокса-Бенкена розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: верхнього (+1), основного (0) і нижнього (-1).

Таблиця 1 - Фактори та рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Висота падіння бульб H , <i>мм</i>	Комплексний показник ТОД, k
	x_1	x_2
Верхній (+1)	100	1,5
Основний (0)	300	1,0
Нижній (-1)	500	0,5
Інтервал варіювання ε	200	0,5

Для переведення натуральних факторів у безрозмірні величини кодували використовували залежності:

$$x_1 = \frac{H-H_0}{\varepsilon_1}, \quad x_2 = \frac{k-k_0}{\varepsilon_2}, \quad (2)$$

де, H_0 , k_0 – значення факторів на основному рівні, відповідно, висоти падіння бульб, показника, який враховує властивості та характер розміщення твердих органічних добрив (ТОД) на поверхні.

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – інтервал варіювання фактора.

Дослідження проводили згідно з матрицею планування експерименту (табл.1). У розкодованому вигляді матриця планування експерименту представлена у табл.2.

Порядок проведення дослідів встановлювали, використовуючи таблицю випадкових чисел.

Функція відгуку (відхилення від центра падіння картоплини на сформовану площу живлення) в області факторного простору подана у вигляді нелінійного рівняння регресії:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (3)$$

Таблиця 2 - Матриця планування двохфакторного експерименту

№	X_1	X_2	$X_1 X_2$
1	-1	-1	+1
2	-1	+1	-1
3	+1	-1	-1
4	+1	+1	+1

Довірчі інтервали оцінок коефіцієнтів регресії розраховуємо за формулою:

$$\Delta_{b_i} = t_{\alpha; f_1} \cdot S_{b_i}, \quad (4)$$

де $t_{\alpha; f_1}$ – критерій Стьюдента при вибраній довірчій ймовірності α та числі ступенів вільності f_1 ;

S_{b_i} – середньоквадратичні помилки оцінок коефіцієнтів регресії.

Коефіцієнти регресії вважаються значущими за наступної умови:

$$|b_i| \geq \Delta_{b_i}. \quad (5)$$

Зважаючи на те, що експерименти проводились із однаковим числом

повторностей, то однорідність ряду дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена.

Для цього визначали розрахункову величину даного критерію:

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_i \max}^2}{\sum_{i=1}^n S_{y_i}^2}, \quad (6)$$

де $S_{y_i \max}^2$ - найбільша із дисперсій.

$S_{y_i}^2$ - дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в i -му досліді.

$$S_{y_i}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{g=1}^m (y_{ig} - \bar{y}_i)^2, \quad (7)$$

де m – число повторностей в досліді;

g – номер повторюваності;

y_{ig} – результат g -ї повторюваності i -го досліді;

\bar{y}_i – середнє арифметичне значення усіх повторностей i -го досліді.

Таблиця 3- Планування експерименту

Номер досліді	Фактори	
	$H, \text{ м}$	k
1	500	0,5
2	500	1,5
3	100	0,5
4	100	1,5

Ряд дисперсій рахували однорідним, якщо:

$$G^{розр.} < G^{табл.} (0.05; n; f), \quad (8)$$

де $G^{табл.} (0.05; n; f)$ – табличне значення критерію Кохрена за 5%-го рівня значущості, n -ї кількості дослідів та $f = m-1$ – числа ступенів вільності.

Перевірку адекватності моделі проводили за F - критерієм Фішера. Його розрахункове значення:

$$F_{f_2, f_1}^{розр.} = \frac{S_{неад.}^2}{S_y^2}, \quad (9)$$

де $S_{неад.}^2$ – дисперсія неадекватності;

S_y^2 – дисперсія досліджу.

Число ступенів вільності:

$$f_2 = N - k' - 1, \quad (10)$$

де k' – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії.

Величина $S_{неад.}^2$ дорівнює:

$$S_{неад.}^2 = \frac{SS_{неад.}}{f_2}. \quad (11)$$

Сума квадратів $SS_{неад.}$, зважаючи на трикратну повторюваність досліджу в центрі плану, визначається за формулою:

$$SS_{неад.} = n_o \cdot (y_{орозр.} - \bar{y}_o)^2 + \sum_{u=1}^{24} (y_{уорозр.} - \bar{y}_{уексп.})^2, \quad (12)$$

де $y_{орозр.}$ – розрахункове значення відгуку досліджу в центрі плану;

\bar{y}_o – середнє експериментальне значення відгуку досліджу в центрі плану;

$y_{уорозр.}$ – розрахункове значення відгуку в u -му досліді;

$\bar{y}_{уексп.}$ – середнє експериментальне значення відгуку в u -му досліді.

Модель вважається адекватною за умови:

$$F_{розр.} \leq F^{табл.}, \quad (13)$$

де $F^{табл.}$ – табличне значення F - критерію для вибраного рівня значущості.

Запропонована методика проведення експерименту за планом Бокса-Бенкіна дозволяє отримати математичну модель оцінки якості падіння бульб картоплі з врахуванням поверхні, яка характеризує площу і умови живлення рослин у вигляді рівняння регресії.

Аналіз рівняння регресії дає можливість оцінити вплив на якість садіння бульб картоплі пристроєм каскадного типу без ланцюгово-ложкового апарата з одночасним внесенням твердих органічних добрив із врахуванням таких факторів, як висота падіння бульб, комплексного показника, який враховує властивості та характер розміщення твердих органічних добрив (ТОД) на поверхні.

Додаток. 2

Математичний метод планування експерименту

ORIGIN := 1 n := 4 m0 := 3 k := 2 i := 1..4 - відомі величини

$$X := \begin{pmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ - план-матриця} \quad Y_u := \begin{pmatrix} 92 & 98 & 99 \\ 52 & 59 & 54 \\ 60 & 63 & 67 \\ 3 & 4 & 10 \end{pmatrix} \text{ - результати експерименту}$$

Перевірка відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена.

$$Y_{c_i} := \frac{1}{m_0} \cdot \sum_{j=1}^{m_0} Y_{u_{i,j}} \quad S_{u_i} := \frac{1}{m_0 - 1} \cdot \sum_{j=1}^{m_0} (Y_{u_{i,j}} - Y_{c_i})^2 \quad S_y := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_{u_i}$$

$$G_{koh} := \frac{\max(S_u)}{\sum_{i=1}^n S_{u_i}} \quad G_{koh} = 0.265$$

$$f_u := m_0 - 1$$

$$f_u = 2$$

Оскільки табличне значення критерію Кохрена 0,77, то дослід відтворюваний.

Визначення коефіцієнтів рівняння регресії. i := 1..3

$$b_0 := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Y_{c_i} \quad b_j := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_{i,j} \cdot Y_{c_i}) \quad b_1 := b_1 \quad b_2 := b_2 \quad b_{12} := b_3$$

$$b_0 = 55.083 \quad b_1 = -24.75 \quad b_2 = -20.583 \quad b_{12} = -4.083$$

Лінійна частина рівняння регресії. $Y_i := b_0 + b_1 \cdot X_{i,1} + b_2 \cdot X_{i,2}$

Перевірка адекватності моделі за допомогою критерію Фішера.

$$f_{ad} := n - k - 1 \quad f_{ad} = 1 \quad f_v := n \cdot (m_0 - 1) \quad f_y = 8$$

$$S_{ad} := \frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{c_i})^2 \quad F := \frac{S_{ad}}{S_y} \quad F = 4.94$$

Табличне значення критерію Фішера - 5,318, тобто модель адекватна.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.

Перевірка адекватності моделі за допомогою критерію Фішера.

$$f_{ad} := n - k - 1 \quad f_{ad} = 1 \quad f_v := n \cdot (m_0 - 1) \quad f_y = 8$$

$$S_{ad} := \frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{c_i})^2 \quad F := \frac{S_{ad}}{S_y} \quad F = 4.94$$

Табличне значення критерію Фішера - 5,318, тобто модель адекватна.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії за критерієм Стьюдента.

$$\Delta b := t \cdot \frac{\sqrt{S_y}}{\sqrt{n}} \quad \Delta b = 4.225 \quad t := 2.3$$

$$\underset{\text{~~~~~}}{b1} := \begin{cases} b1 & \text{if } |b1| \geq \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b1 = -24.75$$

$$\underset{\text{~~~~~}}{b2} := \begin{cases} b2 & \text{if } |b2| \geq \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b2 = -20.583$$

$$\underset{\text{~~~~~}}{b12} := \begin{cases} b12 & \text{if } |b12| \geq \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\underset{\text{~~~~~}}{b0} := \begin{cases} b0 & \text{if } |b0| \geq \Delta b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b0 = 55.083$$

Рівняння регресії: $y(x_1, x_2) := b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2$

Перейдемо від закодованих до натуральних значень факторів.

$$x_{10} := 300 \quad x_{20} := 1 \quad \Delta x_1 := 200 \quad \Delta x_2 := 0.5 \quad x_{n1} := 100..500 \quad x_{n2} := 0.5..1.5$$

Рівняння регресії з натуральними значеннями факторів.

$$y_n(x_{n1}, x_{n2}) := b_0 + b_1 \cdot \frac{x_{n1} - x_{10}}{\Delta x_1} + b_2 \cdot \frac{x_{n2} - x_{20}}{\Delta x_2}$$

Побудова поверхні відгуку та проєкції двомірних січень поверхні відгуку.

$$M := \text{CreateMesh}(y_n, 100, 500, 0.5, 1.5)$$