

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження процесу висіву зернових культур із
використанням вібраційних технологій»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи _____
Дзюба А. В.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Канівець О. В.
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

ЗМІСТ

ВСТУП.....	.....
1 РІЗНОРІВНЕВИЙ ВИСІВ НАСІННЯ І ДОБРИВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЇ .....	.....
1.1 Агротехнічні вимоги, що впливають на рівномірність розподілу насіння по глибині .....	.....
1.2 Фактори, що впливають на ріст та розвиток рослин .....	.....
1.3 Способи та обладнання для одночасного закладення насіння та внесення добрив .....	.....
1.4 Вібрація в промисловості та АПК .....	.....
Висновки.....	.....
2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	.....
2.1 Обґрунтування удосконалення технології різнорівневого закладення насіння та добрив .....	.....
2.2 Конструктивно-технологічна схема, параметри та режими нового засобу механізації для одночасного закладення насіння та внесення добрив .....	.....
2.3 Програма лабораторних досліджень .....	.....
2.4 Загальна характеристика модернізованого сошника.....	.....
2.5 Обладнання та методика проведення лабораторних досліджень...	.....
2.6 Методика планування багатофакторного експерименту.....	.....
2.7 Методика визначення глибини закладення насіння та гранул мінеральних добрив.....	.....
Висновки.....	.....
3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	.....
3.1 Результати впливу режимів роботи віброприводу на щільність ґрунтового прошарку між насінням та добривами.....	.....
Висновки.....	.....
4 РЕКОМЕНАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	.....
4.1 Охорона праці.....	.....
4.2 Екологічна експертиза.....	.....
4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень.....	.....
Висновки.....	.....
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	.....
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	.....

ВСТУП

Закладення насіння в ґрунт має велике значення при формуванні рослини. По якісно заробленому по глибині насінні можна прогнозувати врожай. За різними дослідженнями близько 60% втрати енергії проростання зернових викликано за рахунок порушення показників рівномірності закладення насіння по глибині.

Агротехнічні вимоги передбачають посів насіння на вологе ущільнене ложе із щільністю 1,1-1,3 г/см³. При цьому глибина загортання не повинна відхилятися більше ніж на ± 1 см. Особливо важливим є дотримання агротехнічних вимог при одночасному посіві насіння з добривами.

Стартова доза добрив вноситься разом із зерном в одному рядку і на одну глибину. При цьому залишається ймовірність його хімічного опіку. Як правило, даний спосіб використовують на дискових сошниках. Під час обертання диска існує ймовірність вильоту зерна на поверхню поля. Крім того, сам ґрунт, внаслідок отриманого імпульсу обертального руху, перемішує насіння в хаотичному порядку, що призводить до погіршення рівномірності загортання зерна по глибині.

Підготовка насінневого ложа під посів після самоосипання ґрунту зводиться до утворення борозни та щільного насінневого ложа, що відповідає агротехнічним вимогам. Процес утворення канавки із щільною основою може відбуватися як із використанням статичного тиску, так із статичних і динамічних навантажень. Для динамічного впливу пропонується використовувати вібраційний дебалансний привід ненаправленої дії. Під впливом вібрації частинки ґрунту починають інтенсивно рухатись та заповнювати порожнечі після проходу сошника.

У даний час для забезпечення локального передпосівного внесення добрив спільно з насінням за один прохід застосовують різні пристрої. Найбільш поширеними є дискові сошники. Принцип дії ґрунтується на тому, що насіння засипається спільно з добривами в одну борозну. Крім того, застосовуються лапові сошники, які виконують кілька операцій одночасно, що

призводить до розпушування ґрунту, і в цьому випадку насіння лягає на утворене насіннєве ложе.

Мета дослідження. Визначення параметрів та режимів процесу посіву зернових культур із одночасним внесенням мінеральних добрив.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес вібраційного утворення прошарку між насінням та добривами при різномірівневому їх внесенні в ґрунт.

Предмет дослідження. Залежності процесу вібраційного впливу виконавчого елемента, що здійснює процес ущільнення насіннєвого ложа до агротехнічних вимог, на характеристики ущільненого прошарку між насінням та добривами.

Методологія і методи дослідження. Методи досліджень базуються на основах теорії планування експерименту, статистичного аналізу з використанням програм Statistica, Microsoft Excel, Mathcad, Компас-3D та методиках розрахунку вібромеханізмів.

Наукову новизну досліджень складають:

- залежності, що описують параметри та режими вібрації елемента, що здійснює підготовку насіннєвого ложа під закладення насіння;
- математична модель, що описує параметри режимів впливу виконавчого віброелемента на насіннєве ложе.

РОЗДІЛ 1

РІЗНОРІВНЕВИЙ ВИСІВ НАСІННЯ І ДОБРИВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЇ

1.1 Агротехнічні вимоги, що впливають на рівномірність розподілу насіння по глибині

Вирощування озимої пшениці має відбуватися із дотриманням усіх агротехнічних вимог, що направлені на збереження вологи у ґрунті та рівномірний розподіл насіння по глибині після посіву. Одночасне внесення добрив під час посіву може привести до травмування зерна через хімічний опік. Це знижує потенціал високої врожайності, який може бути досягнутий за рахунок локального внесення добрив спільно із зерном.

Питаннями закладення насіння в ґрунт займалися такі вчені, як: А.С. Архіпов [1], Н.М. Беспам'ятнова [2], Д.В. Боків [3], В.В. Василенка [4], Є.В. Демчук [5], С.А. Івженка [6], Н.П. Ларюшин [7], А.Ф. Пономарев [8], Д.О. Тискінеєв [9], Е. Lund [10], В.В. Голубєв [11], Д.М. Рула [12], А.А. Гафаров [13], К.Р. Казаров [14], Н.В. Максимов [15], І.К. Смирнов [16], І.Д. Шишлянников [17], С.В. Кравченка [18], С.І. Камбулов [19], Д.Т. Атнагулів [20], І.В. Морозов [21] та ін.

Відповідно до досліджень С.В. Кардашевського, приблизно 60% втрати енергії проростання викликано порушеннями показників рівномірності закладення насіння по глибині, що відбувається, в тому числі, через недотримання агротехнічних вимог щодо щільності насінневого ложа. Відповідно до рекомендацій оптимальна щільність насінневого ложа для зернових культур при посіві в чорнозем має становити 1,1-1,3 г/см³ [22].

Відхилення закладення зерна по глибині не повинно перевищувати $\pm 15\%$ або ± 1 см при посіві зернових культур на 6-8 см. При сівбі на 3-4 см відхилення не повинно перевищувати $\pm 0,5$ см [1].

Посів тільки із дотриманням даних вимог не може гарантувати високих урожаїв, оскільки рослині не завжди вистачає усіх необхідних елементів для живлення. Ця проблема виникає навіть у багатих на органічні речовини чорноземах. Таким чином, правильне внесення мінеральних добрив забезпечує достатнє живлення рослини та є важливою умовою для отримання високих урожаїв необхідної якості.

1.2 Фактори, що впливають на ріст та розвиток рослин

Для нормального розвитку, рослині необхідно використовувати у достатній кількості як зовнішні, так і внутрішні джерела живлення. Нестача необхідних мінеральних елементів приводить не тільки до повільного розвитку, зниження врожаю, але й до зниження якості рослини. Основними джерелами енергії для розвитку рослин є: сонячне світло, тепло, повітря, вода та мінеральні речовини, що знаходяться у ґрунті.

Велике значення для отримання якісного врожаю має використання мінеральних добрив, які вносяться як перед посівом (основне внесення), так і при посіві (передпосівне). Крім того, навесні (для озимих зернових культур) виконують підживлення з внесенням добрив у міжряддя та поверхневим способом (розкидним, обприскуванням).

Норми внесення регулюються залежно від вмісту у ґрунті та в самій рослині елементів, що потрібні для росту та розвитку.

При основному внесенні норми підживлення для зернових культур становлять 100-150 кг/га.

У разі одночасного висівання зернових та добрив підживлення не повинні бути більшими за основне. Оскільки добрива вносяться у ґрунту, тому збільшення норми є недоцільним та може привести до випалювання епідермісу насіння.

На 50-98% рослини складаються із води, яку отримують переважно через кореневу систему. Внаслідок безпосереднього дотику, масового потоку та дифузії до рослин потрапляють також і поживні речовини.

Особливе значення недостатньої кількості елементів живлення має у початковий період розвитку, коли коренева система рослини тільки почала формуватися. У цей період, що триває близько чотирьох тижнів, молода рослина споживає близько 20% основних поживних речовин, які отримує протягом усіх циклів дозрівання. І їй буде достатньо добрив, внесених у ґрунт одночасно з посівом насіння у потрібній пропорції.

При цьому необхідно зазначити, що природним розвитком кореневої системи багатьох рослин зернових культур вважається розвиток у сторону із більшим вмістом вологи. У свою чергу контакт добрив із насінням призводить до опіку та загибелі зерна. Саме тому при використанні існуючих та проектуванні нових посівних машин і комплексів має велике значення, де будуть зароблені добрива у ґрунт, які є важливим джерелом енергії рослини.

У зв'язку з цим необхідно підняти питання про найбільш вигідний спосіб посіву, що забезпечує створення найбільш сприятливих умов для зростання та розвитку рослини, а також про засоби, що дозволяють належним чином задовольняти потреби сучасного рівня розвитку сільського господарства.

Незважаючи на безліч способів, що поєднують процес одночасного посіву насіння та добрив, різноманітність конструкцій робочих органів, що дозволяють здійснювати одночасний посів насіння та добрив, вони не позбавлені недоліків.

Потрібно врахувати, що ґрунт після проходу робочого органу, що забезпечує створення борозни, не може миттєво відновити колишній стан. Якийсь час вона перебуває у зваженому стані, і деякі конструкції робочих органів забезпечують висів насіння практично в «порожнечу». Потім грудочки ґрунту, опускаючись вниз після проходу, знаходяться в розуцільненому стані, внаслідок чого порушується як рівномірність посіву по глибині, так і щільність

насіннєвого ложа. А якщо брати до уваги відмінність у властивостях ґрунту при погодних умовах або природних складових, що змінюються під час посіву, то більшу увагу необхідно приділити вивченню впливу активних робочих органів, що призначені для посіву з швидко змінними режимами. Це дозволить адаптувати процес релаксації ґрунту в процесі посіву та укладання насіння на ущільнене насіннєве ложе. Рослини після посіву деякий час розвиваються за рахунок власного потенціалу. Через деякий час їм необхідно забезпечити надходження елементів живлення в необхідній кількості через кореневу систему.

1.3 Способи та обладнання для одночасного закладення насіння та внесення добрив

Існує багато способів внесення мінеральних добрив, серед яких варто виділити локальний – коли насіння та добрива вносяться одночасно. При локальному внесенні добрив зростають коефіцієнти використання азоту на 10-15%, фосфору на 5-10% та калію на 10-20% на відміну від розкидного способу [23].

Такий спосіб вважається традиційно вигідним з економічної точки зору. Крім того, покращуються якісні та кількісні показники врожаю.

Основними пристроями для одночасного висівання насіння та добрив є на дискові сошники 1 (рисунок 1.1). Вони мають просту та найпоширенішу конструкцію, в яких зерно та добрива змішуються в зоні бункера та закладаються в один ряд. Дискові сошники також мають недоліки, що пов'язані із заглиблюваністю, налипанням ґрунту, а також внаслідок обертання диска взаємодії його з насінням. Найчастіше відбувається викидання насіння на поверхню або порушення його закладення по глибині. Крім того, дискові сошники не утворюють плоского дна. Опіраючись на ґрунт заточеними частинами дисків, вони розпушують насіннєве ложе.

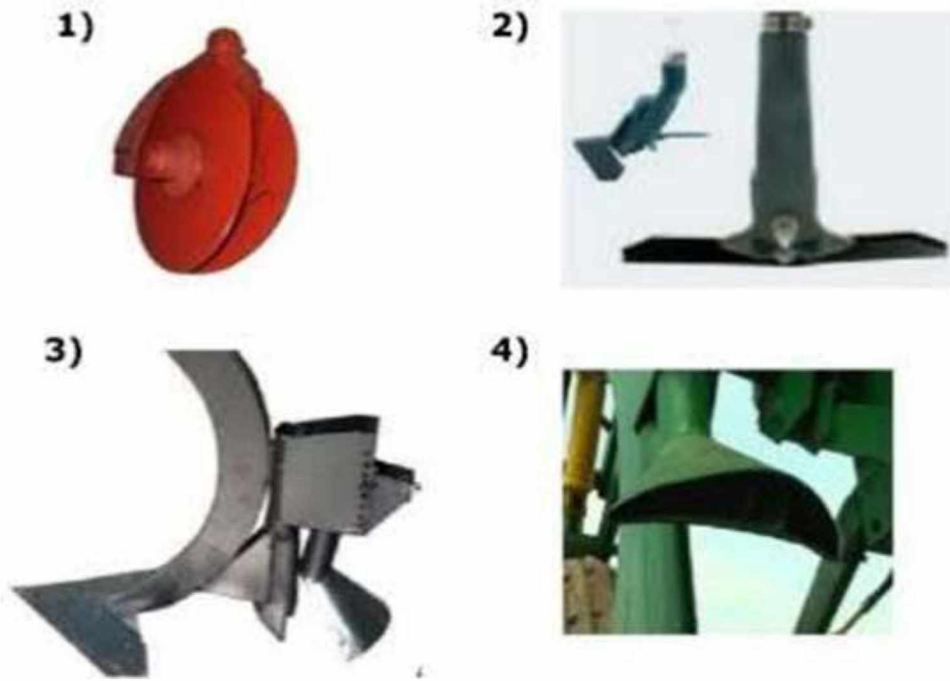


Рисунок 1.1 – Робочі органи для одночасного висівання насіння та добрив: 1 – дисковий сошник; 2, 3 – лапові сошники; 4 – розподільник насіння лапового сошника

Лапові сошники 2, 3 (рисунок 1.1) здатні працювати у вологому ґрунті, здійснювати одночасно культивуацію, внесення добрив та закладання насіння. Вони активно використовуються на кам'янистому ґрунті. Головним їх недоліком є сильне порушення ґрунтового покриття. Також, сівалки з лаповими сошниками мають малу ширину захвату. Виняток становлять посівні комплекси. Ще однією відмінністю лапових сошників є утворення ґрунтового валу. У поєднанні з одночасним внесенням добрив та загортанням насіння, це може призвести до нерівномірного загортання за глибиною та змішуванням у загальну масу ґрунту, зерна та добрив. Прикочування при цьому здійснюється важкими котками.

Долотоподібні сошники мають кращі показники розміщення насіння по глибині перед лаповими та дисковими (рисунок 1.2). Цей тип сошників активно використовується для нульового посіву, однак, до суттєвих недоліків можна віднести волочіння стерні.

За рахунок конструктивних особливостей долотоподібні сошники не утворюють борозни, можуть здійснювати посів на велику глибину і працювати на великих швидкостях, а також вони невибагливі до нерівностей поля.

Насіння за допомогою цих сошників може висіватися рядом біля добрив. Крім того, одним сошником можна висівати відразу у два рядка із міжряддям до 12 см.

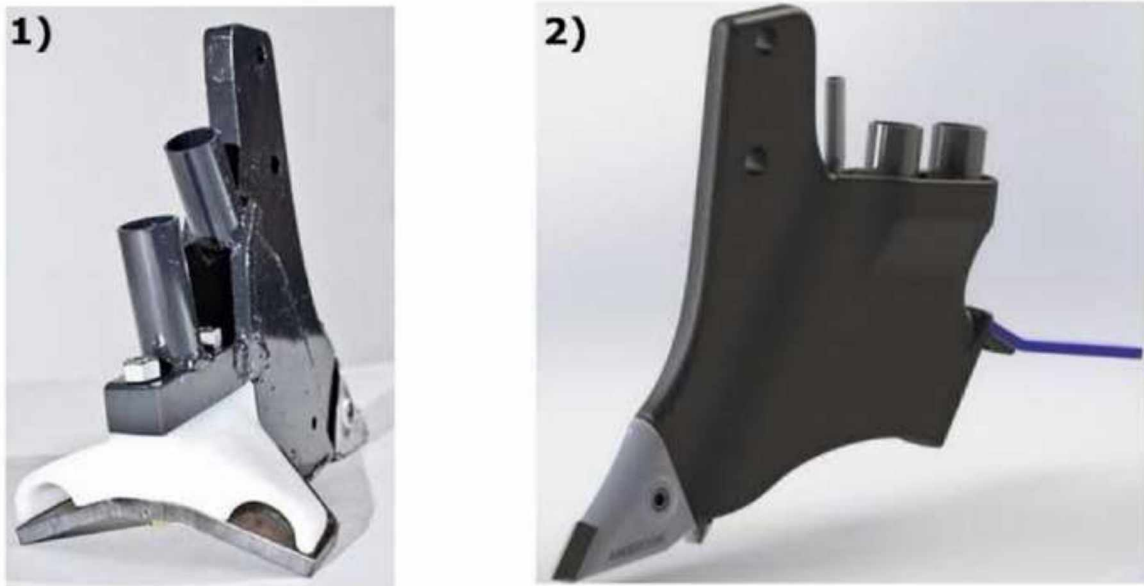


Рисунок 1.2 – Долотоподібні сошники для одночасного висіву насіння та добрив

Процес поширення добрив у ґрунті після внесення описано у роботі [93] (рисунок 1.3). Зокрема, у ній йдеться про те, що стрічка аміаку (NH_3) та амонію (NH_4) збільшується у діаметрі до 75 мм протягом 24 годин після внесення добрив у ґрунт. А після чотирьох тижнів стрічка збільшується до 200 мм у діаметрі. На цьому етапі більша частина внесених добрив перетворюється на корисну для рослини форму і стає безпечною для контакту з насінням або кореневою системою.

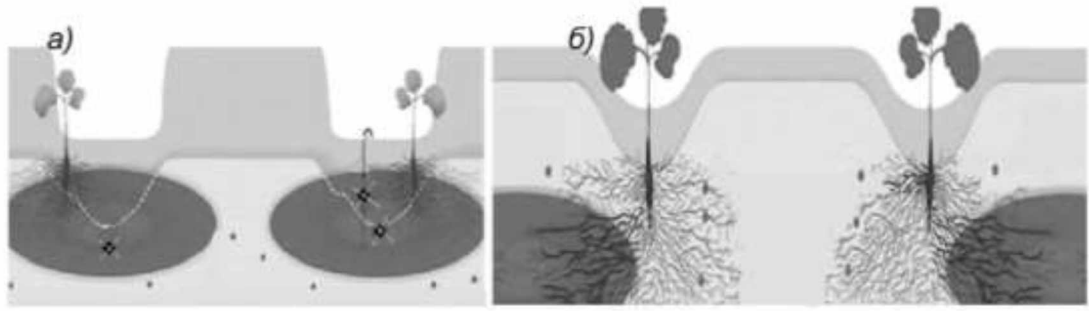


Рисунок 1.3 – Відмінність у способах посіву насіння та добрив після чотирьох тижнів після посіву

Таким чином, мінеральні добрива негативно впливають на неукорінену рослину в найбільш агресивній фазі, тобто на початку внесення. У цей період вони пригнічують потенціал розвитку рослини, що знаходиться у зародковому стані.

На даному етапі для найкращого розвитку рослини, необхідно забезпечити контакт зерна із зволженим ґрунтом, що й прописано в агротехнічних вимогах. А після формування кореневої системи – забезпечити харчуванням, у тому числі тими мікроелементами, які знаходяться у зоні внесення добрив у ґрунт.

Технологію ущільнення насінневого ложа за допомогою усіченого клиноподібного бороздоутворювального диска, за яким розташовується укладач насіння в борозну, розробив Боков Є.В. [24]. Щільне дно борозни сприяє притоку вологи, а ущільнені стінки борозни – меншому обсіпанню ґрунту. У якості висівного апарату виступає труба. Вона заглушена з торців та має по всій довжині щілини, що розташовані в задній і бічних стінках. Висіваючий матеріал самопливом надходить з бункера в стійку сім'япроводу. При вібрації останньої зерно переходить у псевдозріджений стан, за рахунок чого підвищується його плинність, а потім насіння розподіляється по всій поздовжній щілині, тобто по всій ширині захвату лапи. Зазначений пристрій, по суті, не має висівного апарату як елемента, тому він не може здійснювати рівномірність висіву насіння з бункера.

Аналіз існуючих засобів для різнорівневого посіву дрібнонасіньєвих культур проведено у роботі [25]. На основі блочно-модульного принципу розроблено нові технічні засоби під закладення насіння, що забезпечують підготовку насінньєвого ложа із щільністю, що відповідає агро вимогам. Автор стверджує, що закладення насіння має проводитися на трапецеподібне щільне насінньєве ложе. На думку автора, дискові сошники забезпечують ущільнення стінок борозни, що згодом призводить до загортання насіння верхнім шаром, який не відповідає необхідним агротехнічним вимогам рихлості.

І.М. Ковриков детально вивчав висів насіння зі стійки сівалки-культиватора в різних варіантах. Однак точність глибини ходу лапового робочого органу в його дослідженнях склала при глибині ходу 6-8 см не більше 20%. Таким чином, використання лапових робочих органів для дрібного посіву 2-3 см виявилось не раціональним [26].

Комбінований агрегат для підготовки ґрунту та посіву зернових культур [27], що здійснює підґрунтьєво-розкидний посів насіння з одночасним внесенням добрив нижче рівня насіння. Агрегат складається з бункера для насіння та добрив; сошників, що здійснюють культивуацію; розподільника насіння, який розташований на стійці лапи. Розподільник насіння представлений у вигляді варіантів із різними формами, що поєднує функцію передущільнювача насінньєвого ложа. Після внесення добрив та укладання насіння відбувається загальне коткування двох шарів котком.

Недоліком даного агрегату є те, що під час взаємодії культиваторної лапи з ґрунтом утворюється так званий ґрунтьєвий вал, у якому частинки ґрунту перебувають у зваженому стані. У цей момент і відбувається процес відокремлення насіння від розподільника та попадання його в пухкий ґрунт із непідготовленим насінньєвим ложем у відповідності до агротехнічних вимог (рисунок 1.4).

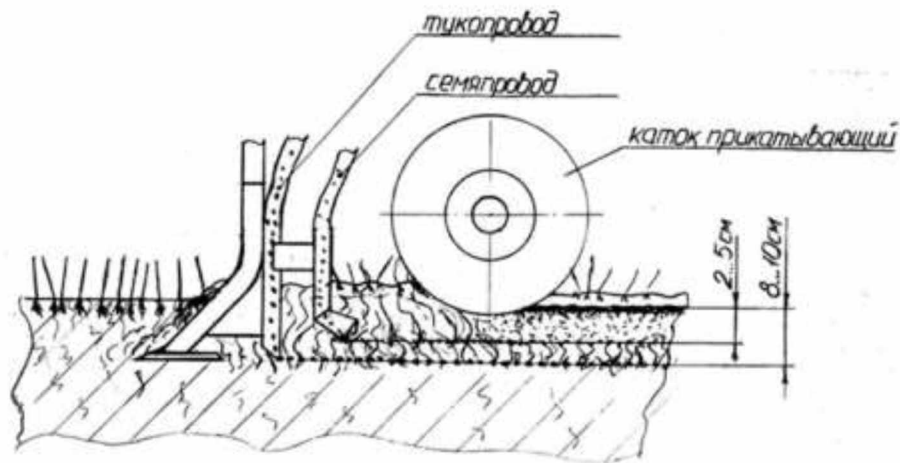


Рисунок 1.4 – Комбінований агрегат для підготовки ґрунту та посіву зернових культур

Сошник сівалки-культиватора [28] здійснює укладання насіння та внесення добрив на різну глибину. Він обладнаний додатковою стійкою та повідком, що здійснює вдавлювання насіння у насіннєве ложе. Недоліком сошника є адаптація тиску на насіннєве ложе залежно від структури ґрунту.

Для усунення вказаних недоліків необхідно розмістити гребінь-ущільнювач 6 перед сем'яукладачем 5, що розташований за розпушувальною лапою 2 по ходу руху сівалки (рисунок 1.5). Гребінь-ущільнювач кільцевим хомутом закріплений із сем'яукладачем. Крім того, гребінь-ущільнювач пов'язаний з ресорним елементом 11, за рахунок чого при контакті з ґрунтом відбуваються коливання, що забезпечують інтенсифікацію процесу підготовки щільного насіннєвого ложа для укладання насіння.

Але утворення ґрунтового валу після проходу культиваторної лапи супроводжується розущільненням ґрунту, що нівелює можливість рівномірного загортання насіння по глибині та відповідності агротехнічним вимогам.

Недоліками запропонованого сошника є незмінні відстані між тукопроводом і сім'япроводом по горизонталі та вертикалі, які унеможливають будь-які регулювання параметрів і режимів.

При різнорівневому висіву насіння та добрив з дотриманням агротехнічних вимог щільності насінневого ложа, запропоновано використання віброуцільнення для інтенсифікації процесів масообміну у ґрунті.

На рисунку 1.7 показано спосіб безконтактного вібровнесення насіння і добрив. У пристрої як ущільнювачі використовуються нижній прикочувальний коток 8 і верхній коток 9, що сприймає вібрацію вібромашиною 7. Вібромашина приводиться в дію гідросистемою трактора.

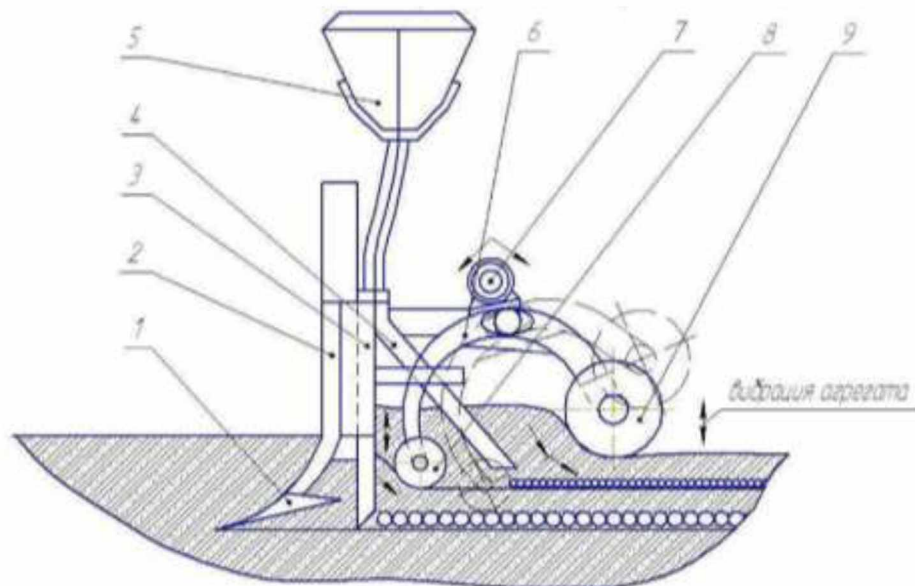


Рисунок 1.7 – Спосіб безконтактного вібровнесення насіння та добрив

Сошник для різнорівневого підґрунтового-розкидного посіву насіння та добрив (рисунок 1.8) обладнано пристроєм, що управляє ущільненням підґрунтового пласта між насінням та добривами залежно від структури ґрунту без зміни конструкції робочого органу. При цьому розподільник насіння 4 виконує роботу ущільнювача ґрунтового прошарку.

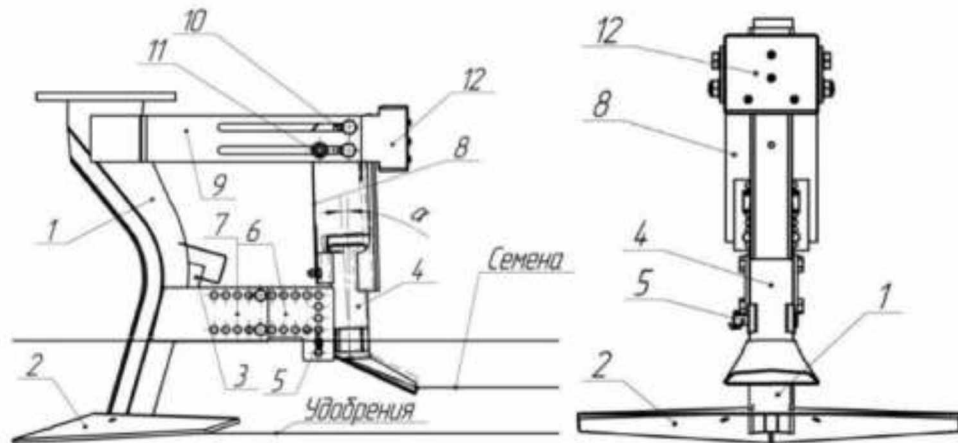


Рисунок 1.8 – Сошник для різнорівневого підґрунтового-розкидного посіву насіння та внесення добрив

Принцип роботи даного сошника полягає у попередній культивуванні ґрунту та утворенні борозни для посіву насіння та добрив, унесенні добрив на рівень культиваторної лапи, у формуванні насінневого ложа за допомогою раціональних параметрів та режимів розподільника насіння 4, що виконує коливальні рухи навколо осі 5 на кут, величина якого регулюється перестановкою обмежувача 10 вздовж кронштейна стійки 9. Після того як електромагнітний імпульс переривається, розподільник насіння повертається у вихідний стан за допомогою ресори 8. Її жорсткість змінюється за допомогою перестановки обмежувача 11, який закріплений на верхньому кронштейні стійки 9 болтовим з'єднанням у положенні, що відповідає необхідній жорсткості 4.

Одночасне внесення добрив у процесі боронування ґрунту все частіше знаходить застосування у сучасній аграрній промисловості. Зокрема, Д.Т. Атнагулов [5] обґрунтував конструктивні параметри, що впливають на ущільнення посівного ложа під час висіву насіння. Крім того, вирішено проблему рівномірності розподілу насіння на площі посіву. Але у розробленому сошнику не передбачено можливості одночасного внесення добрив разом із посівом зернових.

Розглядаючи використання вібрації для одночасного висіву насіння і добрив активними робочими органами запропоновано схему розміщення вібронаконечника на ущільнювальній пластині сошника (рисунок 1.9).

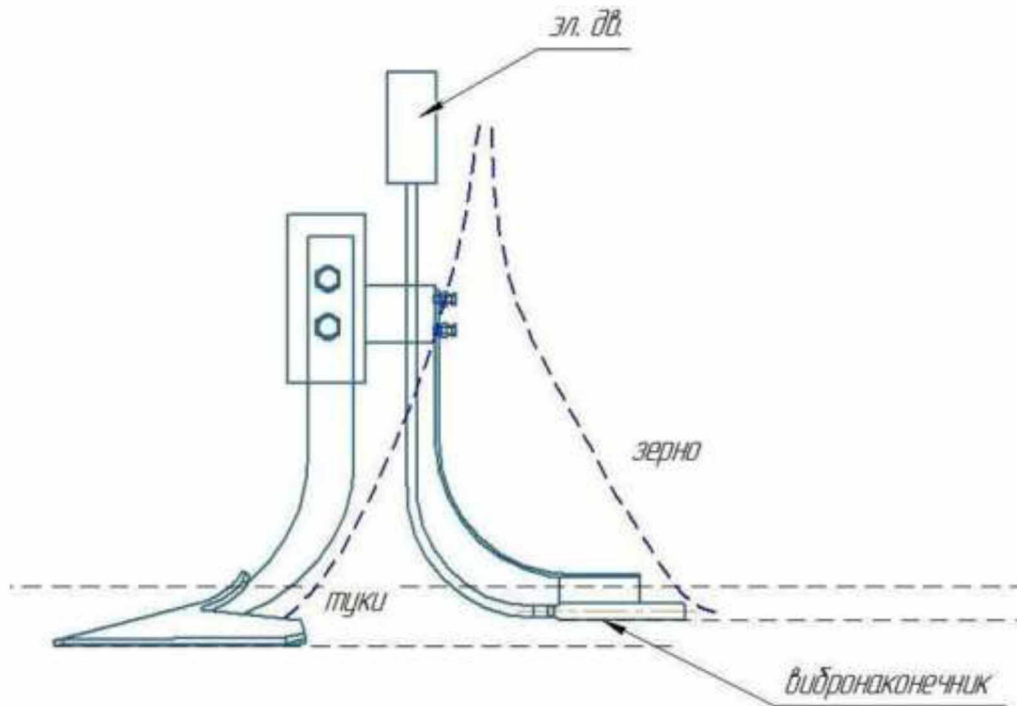


Рисунок 1.9 – Сошник із розміщеним на ньому ущільнювальним пристроєм

До переваг такого пристрою можна віднести можливість передачі коливань від електродвигуна локально. Це дозволить економити велику кількість енергії шляхом зменшення дисипативних складових процесу. Крім того, використання даного пристрою сприятиме більшій зручності монтажу електродвигуна у важкодоступних місцях сівалки.

До недоліків можна віднести те, що, незважаючи на невеликі розміри віброконечника, існує ймовірність утворення борозни при сівбі.

Крім того, в ході проведення пошукових досліджень було запропоновано сошник (рисунок 1.10), що призначений для внесення в ґрунт добрив та ущільнення прошарку між добривами та насінням.

Сошник працює наступним чином. Долотоподібна лапа 2 розрізає шар ґрунту, утворюючи борозну, в яку за допомогою тукопровода 3 вносяться

добрива. Повідець 4, виконаний у вигляді вигнутої пластини, формує ущільнений прошарок. Процес інтенсивного розподілу частинок ґрунту та видалення порожнин забезпечується за рахунок вібрації, утвореної електромагнітним вібратором 6. Посів насіння здійснюється сошником, що розміщений відразу за лаповим.

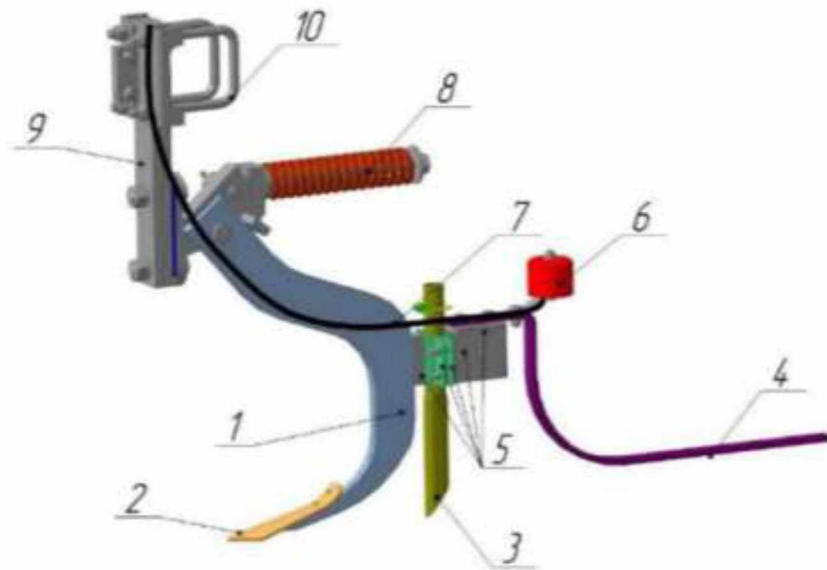


Рисунок 1.10 – Сошник з електромагнітним вібратором

У роботі [30] розглядається використання декількох сошників в одному робочому органі. Технологічний процес складається з кількох етапів. Дисковий сошник забезпечує утворення борозни, якою надалі проходить наральниковий сошник. За рахунок того, що наральниковий сошник рухається після дискового, відкидання ґрунту мінімальне. Крім того, наральниковий сошник зазнає меншого опору. Застосування подібних пристроїв для одночасного загортання насіння та добрив є найперспективнішим за рахунок поділу двох процесів.

1.4 Вібрація в промисловості та АПК

Вібраційні машини набули великого поширення і використовуються як для транспортування сипучих матеріалів, так і для сортування насінневого зерна, круп, м'ясних виробів, будівельного матеріалу, поверхневого зміцнення та ін.

Як правило, коливання та вібрації у різній технічній літературі прикладного характеру розглядаються з точки зору зниження надійності, працездатності, небезпеки для технічних засобів та умов праці робітника. Тим не менш, вібраційні процеси можуть виконувати позитивну роль і бути реалізовані в практичному застосуванні для перетворення тих чи інших робочих середовищ у заданий стан як шляхом інтенсифікації масообміну, так і шляхом структурування та перетворення біохімічної структури речовини.

За допомогою вібрації при малій амплітуді передається велика питома енергія, а регулювання параметрів дозволяють використовувати вібрацію у багатьох фізичних процесах як універсальний інструмент тепло-масообміну частинок щодо центру мас.

Реологічні складові, найскладніші процеси, що відбуваються при перебігу фізичного процесу вібрації. Саме сукупність геометричних та енергетичних складових знаряддя, режими і параметри якого впливають на перенесення енергії вібрації, характеризуються спрямованістю імпульсу на частинки середовища, що обробляється. Необхідно зазначити, що середовище, яке обробляється, змінює свій стан та властивості в часі. Це часто зводить дослідницький процес до статистичного аналізу та побудови моделі, що базується на експериментальних дослідженнях. Але теоретичні передумови дають основу для вибору технологічних процесів та технічних засобів, що здійснюють вібраційні процеси. Вони можуть суттєво підвищити точність експериментальних досліджень та наблизити їх до необхідного результату.

Великий внесок у використання вібрації у промисловості зробили такі вчені, як: І. І. Артоболевський, І. І. Блехман, І. І. Биховський, Р. Ф. Ганієв,

В. Ф. Журавльов, Н. Б. Ур'єв, А. А. Дудніков, В. В. Дудник, Ю. І. Неймарк, К. М. Рагульскіс, Н. В. Михайлов, Р. Ф. Нагаєв, Я. Г. Пановко, П. А. Ребіндер, К. В. Фролов, І. Ф. Гончаревич, В. М. Челомей, та багато інших.

У сільському господарстві великий внесок у вивчення вібрації зробили такі великі вчені, як: В. П. Горячкін, Н. М. Беспам'ятнова, П. М. Василенко, О. В. Фоміних, В. В. Гортинський, П. М. Заїка, Г. Є. Листопад, П. М. Лапшин, А. А. Дубровський, П. І. Леонтьєв, В. М. Усаковський, Г. Д. Терсков, та інші вчені.

На думку Н. М. Беспам'ятної [2], введення в систему, що знаходиться під впливом вібрації, де рух частинок носить хаотичний характер, направлено вектора швидкостей і прискорень, дозволить зробити впорядкування даного процесу, причому з меншими зусиллями, оскільки керувати хаотичними явищами набагато простіше, ніж змінювати процес, що має напрямок швидкості. У зв'язку з цим тип коливальних процесів, призначення, мета застосування відіграють першорядну роль при виборі конструктивних особливостей механізмів зі змінними параметрами та режимами вібрації.

Праці Н. М. Беспам'ятної [2] присвячені як дослідженням впливу автоколивань на процес рівномірності ходу сошників, так і висіву слабосипучих, сильносипучих різних зернових сільськогосподарських культур. Зокрема, явище автоколивань розглядалося з погляду адаптації коливань, що виникають під час руху сівалки при взаємодії з нерівностями поля з метою досягнення рівномірного загортання насіння по глибині. Автор у своїх роботах наголосив на енергетичних складових, керуючись теорією автоматичного регулювання. Крім цього, описано процес взаємодії власних частот коливань виконавчих підсистем (механізм) та об'єкта впливу (грунт, зерно), а також описано принципи роботи виконавчих ланок згідно з теорією автоматичного регулювання. Зокрема, автор стверджує, що порушення глибини загортання насіння при посіві в грунт, що має природні нерівності рельєфу з тими чи іншими характеристиками довжини хвилі нерівностей,

спричинене недоліком енергії, що передається з боку виконавчих підсистем. Інакше кажучи, йдеться про адаптацію автоколивань, що виникають під час руху сівалки. Адаптація здійснювалася за допомогою гасіння автоколивань за допомогою гідро- та пневмосистеми сівалки. Роль пневмосистеми виконував циліндричний резервуар, який одночасно є силовим елементом рами сівалки.

За дослідженнями автора, ґрунт, як відкрита система, не завжди здатна поглинути штучно передану енергію. Таким чином, сукупність швидкості поглинання, тобто надходження енергії в ґрунт, кількість енергії, необхідна та реальна глибина загортання насіння, форма робочого органу та режими впливу на пласт ґрунту визначають ступінь зміни режимів та параметрів, що адаптують до заданої агротехнічними вимогами рівномірності розподілу насіння у ґрунті по глибині.

У промисловості є різні машини для ущільнення ґрунту як з використанням вібрації, так і без неї. В основному це машини, що працюють в ударно-вібраційному режимі. До них відносяться самохідні, причіпні вібраційні візки, кулачкові вібраційні візки, що виконують мінімальне розпушування ґрунту на виході з нього; вібраційні плити; вібротрамбування; ручні трамбування; волокуші; віброзанурювачі та інші машини. Особливістю таких машин є їхня велика маса, що створює спрямований вектор дії сили.

На рисунку 1.11 наведено найбільш поширені схеми існуючих вібротрамбовок. На схемах а-д показані вібротрамбування, де при кожному обороті вібродвигунів машини підстрибують і удараються об ґрунт. Тим самим досягається його ущільнення. На даних схемах використовуються додаткові вантажі, які працюють від електроприводу, або підвішені на навісній рамі вантажу.

На останніх трьох схемах піддон постійно притиснутий до ґрунту. Ущільнення ґрунту відбувається за рахунок ударів бойка об накувальню, що є найбільш ефективним способом. При ударі величини, що характеризують рух тіл один щодо одного, змінюють свої значення практично миттєво, а швидкості в момент удару в деяких випадках перевищують швидкість звуку.

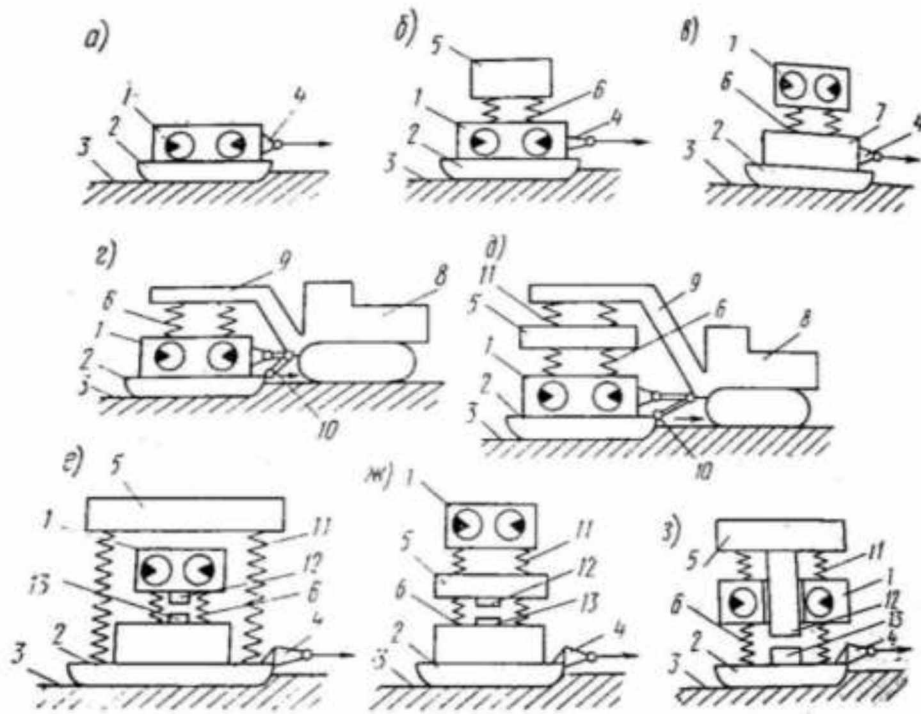


Рисунок 1.11 – Схеми вібротрамбовок з відцентровими вібробудниками

Розглянемо процес ущільнення бетону на прикладі ручного глибинного електровібратора з гнучким валом (рисунок 1.12), який складається з електродвигуна 1, гнучкого вала 2 та змінного вібронаконечника 3. Такі вібратори здатні працювати на частоті від 167 до 334 Г. Діаметр наконечника 51-76 мм, довжина 420-430 мм. Він використовується для ущільнення різних бетонних сумішей як у вертикальному, так і горизонтальному положенні, яке вибирається робітником.

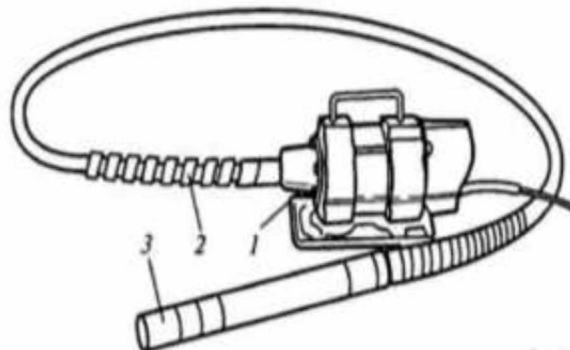


Рисунок 1.12 – Ручний глибинний електровібратор із гнучким валом

На рисунку 1.13 зображені вібронаконечники із зовнішнім (а) та внутрішнім (б) охопленням дебалансу. При роботі бігунок-дебаланс

відхиляється на кут 5° та завдає удари по втулці (пальцю) і, тим самим, передає коливання на корпус наконечника.

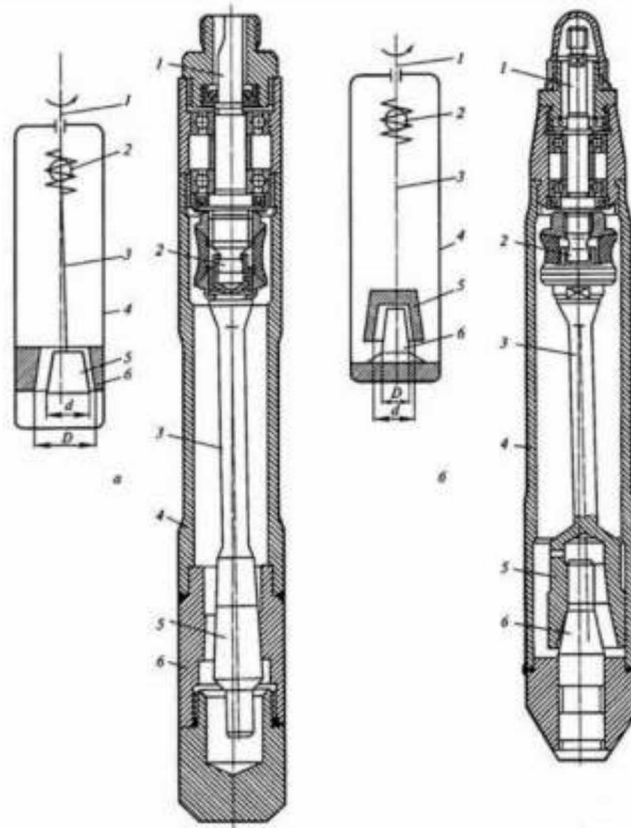


Рисунок 1.13 – Вібронакінецьник із зовнішньою (а) та внутрішньою (б) обкаткою бігунка дебалансу

Дебаланс-бігунок 5 під дією пружної муфти 2 відхиляється на певний кут. Під час обертання він передає коливання вібронаконечнику, що планетарно обертається навколо втулки або сердечника 6, який має конусну поверхню і жорстке з'єднання з корпусом.

Крім перерахованих, розроблено ще багато інших видів конструкцій віброзбудників. Це різні вібратори спрямованої дії, вібратори з планетарним механізмом, електромагнітні вібратори, пневматичні вібратори, відцентрові, одновальні віброзбудники з круговою силою, одновальні віброзбудники з прибудованим електродвигуном фланцевого виконання, віброзанурювачі, вібромолоти.

Значне поширення отримали електромагнітні вібратори [124, 123]. Основні їх переваги це – компактність і відсутність інерційної складової, що властива для дебалансних вібраторів. Крім того, до переваг відноситься можливість роботи в запиленому середовищі, такі вібратори не вимагають технічного обслуговування, прості в регулюванні, випускаються в різних модифікаціях як за геометричними параметрами, так і вольтамперною характеристикою. Робоча частота таких вібраторів становить від 25 до 120 Гц, амплітуда від 2 до 4,5 мм. Термін служби практично необмежений. Найбільшого поширення електромагнітні вібратори набули при завантаженні та розвантаженні сипких матеріалів, їх транспортуванні, сушінні (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Різновиди сучасних електромагнітних вібраторів

Висновки

1. Важливе значення має правильне розташування насіння відносно добрив та дотримання агротехнічних вимог. Від цього залежить інтенсивність поширення добрив у ґрунті, отже, і необхідне надходження необхідних поживних елементів, які необхідні рослині на початковому етапі розвитку. Крім того, підготовка насіннєвого ложа відповідно до агротехнічних вимог забезпечує отримання якісного врожаю в максимальній кількості. Зокрема, агротехнічними вимогами передбачено посів насіння на насіннєве ложе щільністю 1,1–1,3 г/см³.

2. Існуючі пристрої для одночасного посіву насіння та добрив часто сприяють сильному розпушенню ґрунту, викиданню насіння на поверхню, а також не ущільнюють насіннєве ложе перед закладанням зерна. Під час одночасного загортання насіння та добрив з'являється нерівномірність, що веде до нерівномірних сходів та зменшення енергії проростання.

3. Насіння та добрива перемішуються, що призводить до обпалювання епідермісу зерна або до його загибелі. На практиці деякі з представлених та описаних способів і пристроїв здійснити неможливо без певного відсотка перемішування насіння з добривами або без порушень агротехнічних вимог до рівномірності посіву насіння по глибині.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Обґрунтування удосконалення технології різнорівневого закладення насіння та добрив

Після огляду літературних джерел запропоновано схему технологічного процесу формування насінневого ложа з ущільненням прошарку між насінням та добривами з використанням вібрації. Дана схема показана на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема технологічного процесу одночасного закладення насіння та внесення добрив з розміщенням насіння над добривами

Відповідно до схеми технологічного процесу було запропоновано спосіб одночасного посіву насіння та добрив та пристрій для його реалізації.

Даний спосіб рядного посіву (рисунок 2.2) передбачає розміщення насіння над добривами.

До переваг необхідно віднести можливість розміщення добрив у більш вологих шарах ґрунту для більш інтенсивного їх розчинення у ґрунті.

Моделювання процесу висіву [8] можна здійснити фізичним, математичним та комбінованим фізико-математичним способом.

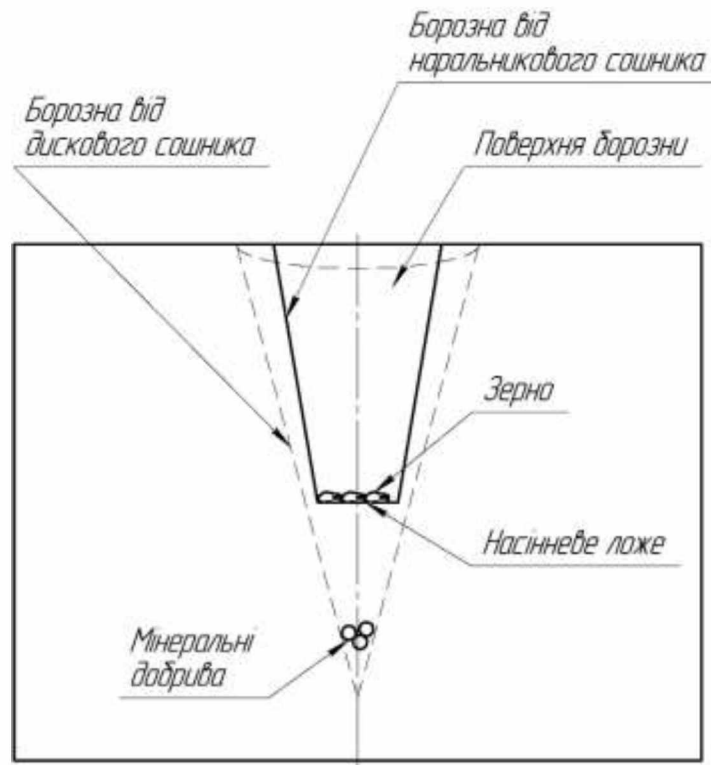


Рисунок 2.2 – Спосіб різнорівневого посіву насіння та добрив

Із трьох видів моделювання процесу висіву у даній роботі краще провести комбіноване фізико-математичне моделювання, яке передбачає математичне обґрунтування лише частини системи із практичними польовими випробуваннями та проведенням статистичного аналізу отриманих даних у ході лабораторних експериментів.

2.2 Конструктивно-технологічна схема, параметри та режими нового засобу механізації для одночасного закладення насіння та внесення добрив

Пристрій для ущільнення насінневого ложа схожий на вигнуту пластину із закріпленим на ній віброприводом або наральниковим сошником, який відрізняється від пластини тим, що має бічні стінки. Вони захищають насінневе ложе від обсіпання ґрунту до моменту потрапляння насіння.

Крім вище перерахованих переваг використання вібрації для обробки ґрунту та одночасного висіву зернових ще однією перевагою є зниження тягового опору. Оскільки під час русу робочого органу під дією вібрації буде утворюватися менша борозна за рахунок обсіпання ґрунту.

В ході аналізу існуючих типів віброприводів було встановлено, що дебалансний інерційний вібропривод є найбільш доступним і має просту конструкцію, тому в даних дослідженнях перевага віддана саме йому.

Коефіцієнт пружності розпушеного ґрунту близький до нуля, тобто після прикладання зусилля ґрунт не відновлює свій первісний стан. Методи інженерного розрахунку вібротрамбовок побудовано за принципом взаємодії «робочий орган – ґрунт», які залежать від фізико-механічних характеристик ґрунтів. Для досягнення необхідної щільності ґрунту статичні зусилля вибираються із таблиць.

Найбільш поширеним типом сошників на даний момент є дисковий сошник. Але даний тип сошників здійснює посів насіння з великою нерівномірністю загортання по глибині. В результаті взаємодії з дисковим сошником насіння може викидатися на поверхню ґрунту.

Для того, щоб мінімізувати нерівномірність посіву по глибині при одночасному посіві насіння та добрив, запропоновано використовувати дисковий сошник для внесення добрив, а вище рівня добрив проводити висів зерна наральниковим сошником, що йде слідом за дисковим та готує насіннєве ложе.

Прошарок між насінням та добривами повинен бути ущільнений додатковим виконавчим елементом під впливом статичних та динамічних сил.

Слід вважати, що спосіб загортання насіння ґрунтом в основному відбувається за рахунок самоосипання ґрунту після проходу сошника.

Технологічна схема наведена на рисунку 2.3. Дводисковий сошник 1 утворює борозну і вносить добрива на глибину 7-10 см. Після самоосипання ґрунту наральниковий сошник закладає насіння на глибину 5-6 см (на кілька сантиметрів вище добрив) у ту ж саму борозну. При цьому наральниковий

сошник 2, що має плоске дно, попередньо готує насіннєве ложе для загортання насіння.

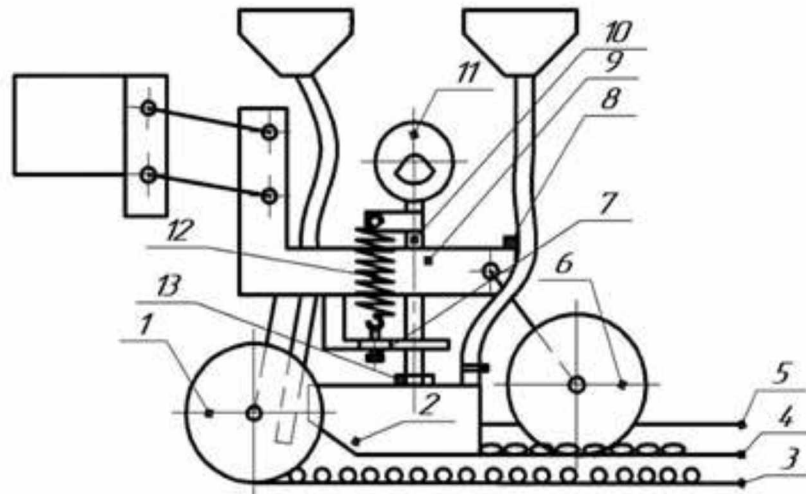


Рисунок 2.3 – Технологічна схема різнорівневого закладення зерна та внесення добрив

Прикочувальне колесо 6 призначене для створення опори, регулювання глибини ходу сошника та доущільнення насіннєвого ложа після проходу дискового та наральникового сошників. Регульовальним болтом 7 регулюється зусилля, що створюється пружиною розтягу 12. Дане зусилля передається за допомогою штока 10 на наральниковий сошник 2. Вібропривід 11 створює додатковий динамічний вплив зі змінними режимами вібрації. Глибина загортання насіння відносно добрив регулюється за допомогою загвинчування штока у верхню частину наральникового сошника та фіксування його положення гайкою 13.

При розрахунку вібротрамбовок важливе значення має розрахунок ваги вібротрамбовки, збудовуючої сили, статичного моменту дебалансу, амплітуди та частоти коливань [29]. Вага вібротрамбовки в даному випадку складається із ваги віброприводу, штока, що з'єднує вібропривод та наральниковий сошник, наральникового сошника. У теоретичних розрахунках вібротрамбовок для дорожніх робіт збудовуюча сила повинна бути в 2 рази більша за вагу вібротрамбовки.

Залежно від типу ущільнюваного ґрунту, його щільність безпосередньо залежить від питомого статичного тиску q , який наведено в деяких таблицях із літературних джерел. Так, для супіску із оптимальною вологістю значення питомого статичного тиску під час ущільнення вібротрамбовками знаходиться у межах 10-20 кН/м² [97]. Цим же значенням відповідає тиск більшості прикочуючих котків, з яким вони діють на ґрунт під час посіву.

Визначення площі опорної поверхні, $S_{оп}$, м² :

$$S_{оп} = B \cdot L_2, \quad (2.1)$$

де B – ширина наральникового сошника, м;

L_2 – довжина контактної частини горизонтальної поверхні наральникового сошника, м.

Вага віброелемента, Н:

$$Q = Q_v + Q_{н.с.} + F_{пр}, \quad (2.2)$$

де Q_v – вага віброприводу, Н,

$Q_{н.с.}$ – вага наральникового сошника, Н,

$F_{пр}$ – зусилля на пружині, Н.

Звідси питомий статичний тиск, Н/м²:

$$q = \frac{Q}{S_{оп}}. \quad (2.3)$$

Статичний момент дебалансу, кг·м:

$$K = m \cdot R, \quad (2.4)$$

де m – маса дебалансу (неврівноважена маса), кг;

R – відстань від центру тяжкості дебалансу до осі обертання, м.

Збурююча сила, Н:

$$F_v = K \cdot \omega_1^2, \quad (2.5)$$

де ω_1 – кутова швидкість обертання, рад / с.

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot n_d, \quad (2.6)$$

де n_d – частота обертання дебалансу, хв⁻¹.

Збурююча сила розраховується за виразом:

$$F_v = Q \cdot \gamma, \quad (2.7)$$

де γ – відносна збурююча сила, $\gamma = 2-2,5$.

Прийmemo масу дебалансу $m_d = 0,047$ кг, $R = 9$ мм, і задамо діапазон частоти обертання $2000-3000$ хв⁻¹ з кроком 500 хв⁻¹. При цьому відносна збурююча сила буде змінюватися в діапазоні від 1 до 2.

Амплітуду коливань визначимо з виразу (м):

$$A = \frac{K}{Q}. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт пористості ґрунту визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{\rho} - 1. \quad (2.9)$$

де γ – питома маса твердої фази ґрунту, г/см³;

ρ – щільність насінневого ложа, г/см³.

Звідси щільність насінневого ложа:

$$\rho = \frac{\gamma}{\varepsilon + 1}. \quad (2.10)$$

Коефіцієнт пористості при тиску P визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \frac{1}{B_1} \ln \frac{P}{9,8 \cdot 10^4}, \quad (2.11)$$

де P – тиск на ґрунт, Па;

ε_0 – коефіцієнт пористості при відповідному навантаженні $9,8 \cdot 10^4$ Па;

B_1 – ступінь змінювання ε_0 під час навантаження.

Підставляючи (2.28) у (2.27) та (2.27) у (2.26), отримаємо:

$$\rho = \frac{\gamma B_1}{B_1(1 + \varepsilon_0) - \ln \frac{P}{9,8 \cdot 10^4}}. \quad (2.12)$$

Для чорнозему, що сильно стискається, рекомендується вибирати $\varepsilon_0 = 0,75-0,85$; $B_1 = 5-10$; γ при глибині 0-20 см – $2,4$ г/см³.

Швидкість сівалки визначається за формулою, м/с:

$$V \leq \frac{L \cdot n}{C \cdot 60}, \quad (2.13)$$

де n – частота обертання дебалансу, хв⁻¹;

C – кількість повторень прикладеного навантаження.

2.3 Програма лабораторних досліджень

До програми лабораторних досліджень сошника для різнорівневого закладення насіння та внесення добрив згідно з ГОСТ 31345-2017 входило:

- створення конструкторської документації та виготовлення робочого органу для посіву насіння з одночасним внесенням добрив та ущільнення прошарку між ними;
- розробка конструкції ґрунтового каналу з робочим органом для одночасного різнорівневого загортання насіння з внесенням добрив та ущільнення прошарку між ними, а також адаптування висівної системи вібродискретної дії для посіву насіння та внесення добрив у лабораторних умовах;
- розробка плану експерименту щодо впливу обраних факторів на щільність насінневого ложа.

2.4 Загальна характеристика модернізованого сошника

Удосконалення сошника сівалки «Деметра» (рисунок 2.4) полягала в установленні наральникового сошника, що йде за дводисковим сошником. Наральниковий сошник поєднує три операції – ущільнення насінневого ложа, закриття борозни від обсіпання землі та укладання насіння вище добрив. Вібрація на ущільнювач подається від віброприводу, що взаємодіє з ущільнювачем насінневого ложа за допомогою штока. У ущільнювач насінневого ложа встановлюється насіннепровід, через який насіння обсіпається в підготовлену борозну на ущільнене ложе. Добрива надходять у ґрунт через тукопровід (рисунок 2.5). Загальний вид модернізованого сошника сівалки показано на рисунку 2.6.

Вібропривід було встановлено над корпусом сошника. Це пояснюється його габаритами і простором між дводисковим сошником і прикочувальним котком.



Рисунок 2.4 – Вихідний варіант сошника сівалки «Деметра»

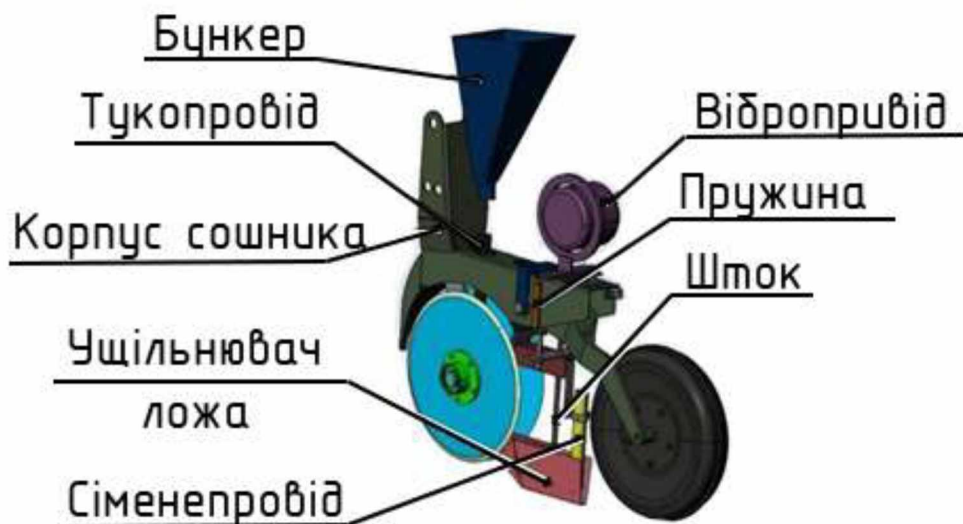


Рисунок 2.5 – Доопрацьований варіант сошника сівалки «Деметра»

Лабораторні дослідження проводились у ґрунтовому каналі з електричним приводом, який був з'єднаний із сошником за допомогою троса. Для запобігання перекиданню сошник притримували вручну в процесі переміщення та засипали насіння та добрива у відповідні сім'ятукопроводи. Норми висіву регулювалися за допомогою підбору величини технологічних отворів заслінок, вмонтованих у бункери для насіння та добрив. Після

проходів робочого органу було оцінено вплив параметрів та режимів на процес одночасного пошарового висіву насіння та добрив.



Рисунок 2.6 – Модернізований сошник сівалки «Деметра»

Для проведення лабораторних досліджень було виготовлено агрегат з електроприводом та ємністю для ґрунту (рисунок 2.7). Довжина ґрунтового каналу становить 8 м, ширина 0,6 м.

Характеристики електроприводу:

- частота обертання трифазного електродвигуна – 1500 хв^{-1} ;
- потужність трифазного електродвигуна – 1,1 кВт;
- діаметр великого та малого барабанів – 110 та 300 мм відповідно;
- передаточне відношення редуктора – $1/25$.

Швидкість пересування візка змінюється в залежності від використання того чи іншого барабана, на який намотується трос. Іншим кінцем трос з'єднується з візком.



Рисунок 2.7 – Агрегат для проведення лабораторних досліджень з системою вібродискретного висіву

На рисунку 2.8 зображено схему агрегату для проведення лабораторних досліджень. Агрегат складається із пересувного візка 1; стійки сошника 2 з тукопроводом 3, що має рухоме з'єднання для регулювання глибини внесення добрив; повідець-ущільнювача 4; вібродвигуна 5; додаткових вантажів 6; сім'япроводу 7. До рами прикріплений бункер 11 з висіву поділу насіння з добрив та регулювання норми внесення добрив.

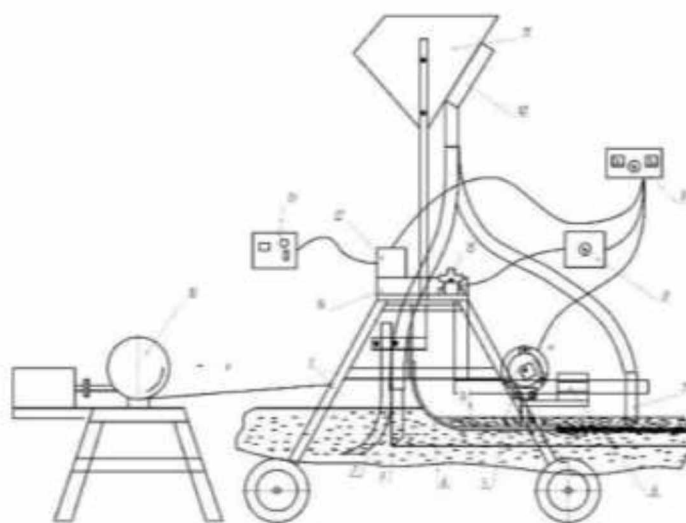


Рисунок 2.8 – Принципова схема роботи агрегату для лабораторних досліджень з навісним долотоподібним сошником

На рамі змонтовано обладнання для роботи висівного апарата: регулятор напруги 8, стабілізатор напруги 12, пульт управління 13, процесорний пристрій 14. До підлоги жорстко закріплений електропривод 16, що складається з трифазного електродвигуна з частотою обертання 1500 об/хв і потужністю 1,1 кВт, черв'ячного редуктора 8 з передавальним відношенням 1/25; малого та великого барабанів 7 та 9 з діаметрами 110 та 300 мм відповідно.

Через блок живлення 9 напруга подається на пульт керування вібродвигуна і через регулятор напруги на генератор імпульсів 15. Для вирівнювання стрибків напруги, що подається на процесорний пристрій, передбачений стабілізатор напруги 12. За допомогою регулятора напруги 8 проводиться регулювання напруги, що подається на двигун генератора імпульсів 15, в який вмонтований автомобільний датчик Холла.

2.5 Обладнання та методика проведення лабораторних досліджень

Для проведення лабораторних досліджень використовується наступне обладнання:

1. Фотостробохрометр.
2. Вологомір цифровий.
3. Ваги електронні.
4. Труба (кільце).
5. Мультиметр.
6. Кельня.
7. Лінійки з ціною розподілу 1 мм.
8. Молоток.
9. Граблі.
10. Фотоапарат.

Мультиметр 5 (рисунок 2.9) є багатофункціональним пристроєм для вимірювання напруги, сили струму, опору.

Вологомір 2 складається з цифрового монітора, щупа для визначення вологості ґрунту на різних горизонтах, щупа для визначення температури ґрунту.



Рисунок 2.9 – Обладнання для проведення лабораторних досліджень:
1 – фотостробомер; 2 – вологомір; 3 – електронні ваги; 4 – труба;
5 – мультиметр; 6 – кельня

Лабораторні дослідження проводились у наступній послідовності. Для регулювання частоти обертання двигуна за допомогою фотостробомера визначили залежність між напругою, що подається на обмотки електродвигуна 11, та частотою обертання (рисунок 2.10). При цьому ввели припущення сталості кутової швидкості.



Рисунок 2.10 – Визначення частоти обертання електродвигуна

Вимірювання вологості ґрунту проводилося у трьох повтореннях (рисунок 2.11) на глибинах 0-5; 5-10; 10-15 см за допомогою приладу для вимірювання вологості.



Рисунок 2.11 – Вимірювання показників вологості ґрунту

Щільність ґрунту визначали за методом Качинського. Для цього за допомогою сталевого кільця (рисунок 2.9) відбирали зразок ґрунту природного складу. Зразок ґрунту виймали з кільця (рисунок 2.12), зважували, визначали вологість ґрунту та розраховували щільність ґрунту.



Рисунок 2.12 – Відбір проб для визначення щільності ґрунту

2.6 Методика планування багатофакторного експерименту

Основним завданням планування експерименту є оптимізація часу, що витрачається на проведення досліджень, підвищення продуктивності праці та одержання достовірних показників досліджуваного параметра оптимізації (відгуку), на який впливають незалежні фактори.

Вибір трирівневого плану експерименту було зроблено у зв'язку із зменшенням ступеня впливу похибки експерименту. Значення рівнів факторів та інтервал варіювання критерію оптимізації відіграє важливу роль у плануванні та постановці експерименту. Як було сказано вище, на нерівномірність посіву, а в кінцевому рахунку на дружну появу сходів та врожайність впливає правильно підготовлене насінневе ложе, щільність якого має становити 1,1-1,3 г/см³. Математична модель будується виходячи з сукупності вибраних факторів, що впливають на критерій оптимізації. За даний критерій була обрана щільність насінневого ложа.

Інтервали варіювання наведені в таблиці 2.1. Вони вибиралися виходячи із балансу найбільшого розкидання та найкращої точності, яка необхідна для досягнення оптимальних показників критерію оптимізації.

Таблиця 2.1 – Рівні варіювання факторів

Фактор	Позначення	Рівні факторів			Інтервал
		Нижній (-1)	Основний (0)	Верхній (+1)	
Частота обертання дебаланса, n_{∂} , хв ⁻¹	X_1	2000	2500	3000	500
Вага віброелемента, Q, Н	X_2	20	22	24	2
Швидкість переміщення, V, м/с	X_3	0,6	0,8	1	0,2

Відомо, що із збільшенням частоти коливань амплітуда зменшується. У зв'язку з цим регулювання амплітуди здійснювалося шляхом варіювання маси дебалансу та його ексцентриситету. Вихідні показники амплітуди вимірювалися за допомогою відеокамери.

Для спрощення заміни конструктивних елементів та зміни режимів роботи віброприводу досліди проводилися у стандартній послідовності, відповідно до матриці повного факторного експерименту за типом 3^3 .

Крім режимів вібрації та тиску на ґрунт з боку сошника, конструктивні параметри так само впливають на ступінь нерівномірності загортання насіння. Але додавання цих параметрів у багатofакторний план експерименту не є раціональним з точки зору трудомісткості проведення експерименту. У свою чергу, при збільшенні трудомісткості знижується точність. Це відбувається тому, що в процесі проведення досліду структура ґрунту схильна до змін.

2.7 Методика визначення глибини закладення насіння та гранул мінеральних добрив

Відповідно до ГОСТ 31345-2017 для визначення глибини загортання насіння існують три методи. Один із них включає безпосереднє знаходження насіння та добрив у ґрунті не пізніше двох днів після посіву. 80% заробленого насіння та гранул мінеральних добрив має перебувати на заданій глибині. Визначення даного показника проводять наступним чином: рядок, що утворюється сошником, розбиваємо на декілька ланок щоб забезпечити не менше 25 вимірів для кожного ряду; для проведення вимірювання розчищаємо ґрунт шарами по довжині рядка.

Контроль глибини загортання насіння та добрив здійснювався за допомогою вимірювальної лінійки з похибкою 1 мм після проходу сошника (рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 – Контроль глибини загортання насіння та добрив у лабораторних умовах

Висновки

1. Розроблено спосіб і запропоновано пристрій для здійснення одночасного висіву насіння та добрив з використанням вібрації для підготовки насінневого ложа;

2. Розроблено методику розрахунку параметрів і режимів вібраційного ущільнення насінневого ложа при одночасному висіву насіння та добрив. Зокрема, отримано залежність щільності насінневого ложа від частоти обертання дебалансу. При зміні частоти обертання дебалансу від 2000 до 3000 хв^{-1} , щільність насінневого ложа міняється від 1,116 г/см^3 до 1,179 г/см^3 ;

3. Отримані результати можуть бути використані в експериментальних дослідженнях для визначення залежностей щільності насінневого ложа, рівномірності глибини загортання насіння від швидкості переміщення сівалки, параметрів та режимів пристрою для одночасного загортання насіння та внесення добрив.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати впливу режимів роботи віброприводу на щільність ґрунтового прошарку між насінням та добривами

Аналіз отриманих параметрів і режимів, що впливають на ущільнення ґрунтового прошарку між насінням та добривами, проводили з використанням таких програм для обробки даних, як Excel та Statistica.

Загальне рівняння множинної регресії має вид:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (3.1)$$

де $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$ – вектор незалежних змінних;

β – вектор параметрів, що підлягають визначенню;

ε – випадкова помилка (відхилення);

Y – залежна змінна (щільність).

Теоретичне (лінійне) рівняння має вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon, \quad (3.2)$$

де β_0 – вільний член, що визначає значення Y , при $X_j = 0$.

Емпіричне рівняння регресії представимо у вигляді:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_m X_m + e. \quad (3.3)$$

де b_0, b_1, \dots, b_m – оцінки теоретичних значень $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ коефіцієнтів регресії (емпіричні коефіцієнти регресії);

e – оцінка відхилення ε .

Значення щільності, що отримані в залежності від вибраних факторів, відображені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця планування та результати експерименту

№ дослідю	Частота обертання, n_{∂} , хв ⁻¹	Вага, Q , Н	Швидкість, V , м/с	Щільність, ρ , г/см ³
1	-1	-1	0	1,1
2	1	-1	0	1,3
3	-1	1	0	1,25
4	1	1	0	1,32
5	-1	0	-1	1,3
6	1	0	-1	1,32
7	-1	0	1	1,2
8	1	0	1	1,25
9	0	-1	-1	1,25
10	0	1	-1	1,32
11	0	-1	1	1,19
12	0	1	1	1,25
13	0	0	0	1,2
14	0	0	0	1,19
15	0	0	0	1,22

Рівняння регресії в закодованому вигляді без взаємодії незалежних факторів виглядає наступним чином:

$$Y = 1,24 + 0,04X_1 + 0,03X_2 - 0,03X_3. \quad (3.4)$$

Рівняння регресії у натуральному вигляді без взаємодії незалежних чинників має вигляд:

$$Y = 0,76900 + 0,00009n_{\partial} + 0,01876Q - 0,1875V, \quad (3.5)$$

де n_{∂} – частота, хв⁻¹;

Q – вага, Н;

V – швидкість, м/с.

Для графічного відображення отриманих результатів побудували поверхні відгуків (рисунок 3.1, 3.2, 3.3).

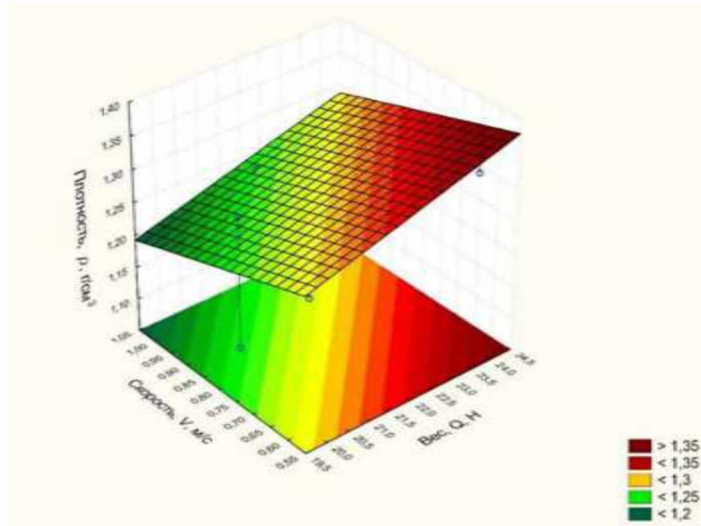


Рисунок 3.1 – Поверхня відгуку, що характеризує зміну щільності насінневого ложа від швидкості та ваги віброелемента при частоті обертання 3000 хв^{-1}

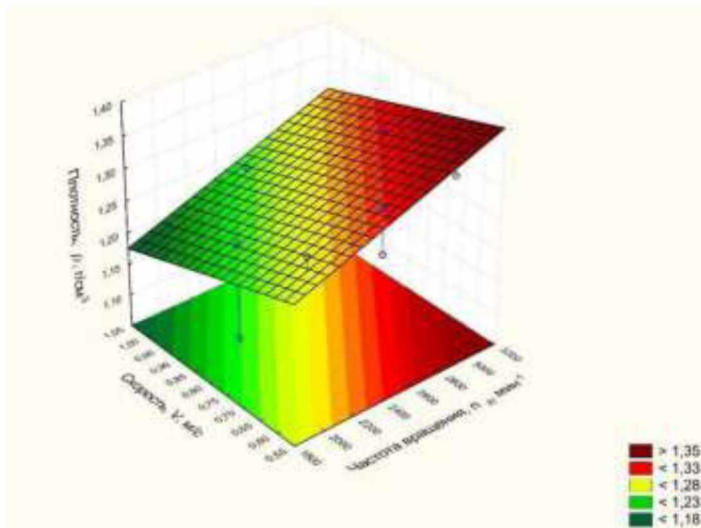


Рисунок 3.2 – Поверхня відгуку, що характеризує зміну щільності насінневого ложа від частоти обертання та швидкості при вазі віброелемента 24 Н

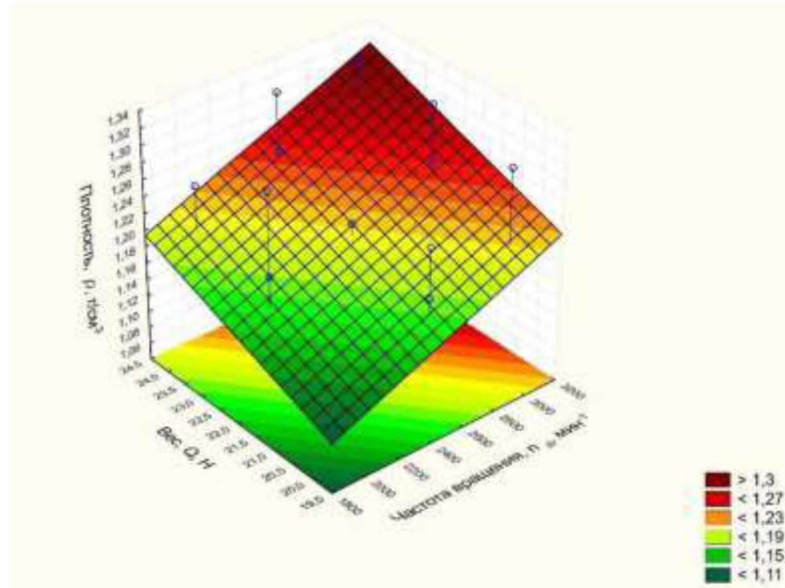


Рисунок 3.3 – Поверхня відгуку, що характеризує зміну щільності насінневого ложа від ваги віброелемента та частоти обертання при швидкості 1 м/с

Із поверхонь відгуку (рисунки 3.1, 3.2, 3.3) наглядно видно, що ступінь ущільнення насінневого ложа зростає у разі зростання значень частоти обертання і ваги віброелемента, і знижується із збільшенням швидкості.

Після того, як оптимальні показники вібрації, при яких досягається необхідна щільність прошарку ґрунту визначено, було здійснено висів насіння із внесенням добрив із вібрацією та без вібрації (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Частка зерна пшениці у шарах ґрунту

Глибина, мм	Відсоток насіння у шарах ґрунту на швидкості, %					
	0,6 м/с	0,8 м/с	1,0 м/с	0,6 м/с	0,8 м/с	1,0 м/с
	з вібрацією			без вібрації		
20-30				3		9
30-40		6	6	11	11	23
40-50	20	31	11	29	11	14
50-60	74	60	69	51	54	34
60-70	6	3	14	6	23	20
Відсоток насіння на глибині 40-60 мм, %	94	91	80	80	66	49

Дані свідчать, що понад 80% насіння розподілено на заданій глибині з похибкою ± 10 мм. Зокрема, при мінімальній швидкості переміщення візка понад 90% зерна висаджено на задану глибину. При збільшенні швидкості цей показник знижується. Аналогічну тенденцію можна спостерігати за відсутності вібрації, проте відсоток зерна, заробленого на задану глибину, виявився значно меншим. Таким чином, найкращий результат без використання вібрації отримано за мінімальної швидкості переміщення висівального апарату.

Після посіву в лабораторних умовах оцінили схожість насіння пшениці озимої за відомою методикою (рисунки 3.4, 3.5).

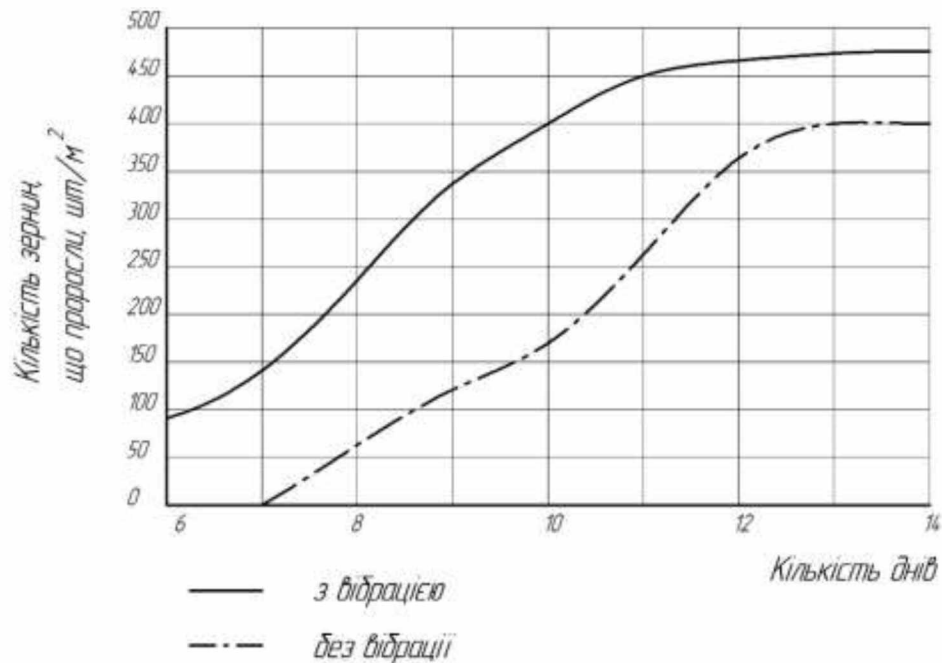


Рисунок 3.4 – Динаміка сходів насіння озимої пшениці при посіві у лабораторних умовах

Відображені на графіку дані свідчать про те, що сходи озимої пшениці з'явилися на два дні раніше при використанні вібрації. При цьому лабораторна схожість з використанням вібрації також виявилася вищою і склала 95%. Лабораторна схожість без використання вібрації склала 80% за норми висіву 225 кг/га.



Рисунок 3.5 – Сходи після посіву із застосуванням вібрації (ліворуч) та без використання вібрації (праворуч) у лабораторних умовах

Значну розбіжність у показниках схожості насіння можна пояснити великою різницею у рівномірності глибини закладення насіння з використаними під час лабораторних експериментів способами посіву. Рисунок 3.5 відображає дружність сходів. Отримані дані в результаті лабораторних експериментів, свідчать про те, що використання вібрації сприяє не тільки більш якійс підготовці насінневого ложа для висіву, але і, як наслідок, більш рівномірному розподілу насіння по глибині закладення, а отже, і одержання більших урожаїв.

Висновки

1. Під час лабораторних досліджень було здійснено висів озимої пшениці з використанням пересувного лабораторного візка.

2. Зроблено аналіз незалежних факторів при проведенні лабораторних досліджень на адекватність і значимість. За результатами лабораторних досліджень отримано рівняння регресії та знайдено чисельні значення найбільш значимих факторів. При максимальній швидкості значення факторів, що забезпечують діапазон щільності насінневого ложа 1,1-1,2 г/см³ рівні: Частота обертання: 3000 хв⁻¹; вага віброелемента 24 Н (тиск на ґрунт, що чиниться при отриманому значенні ваги та заданої площі 0,003 м² становить 0,008 МПа).

3. Встановлено, що відсоток насіння, заробленого на задану глибину з виконанням вібрації в товщі ґрунту 40-60 мм після висіву в лабораторних умовах, склала 80-94% при швидкості 0,6-1 м/с. Без вібрації ці показники склали 49-80 % на швидкості 0,6-1 м/с.

4. Розраховані параметри та режими дозволили при нормі висіву 225 кг/га, підвищити лабораторну схожість на 5%.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Охорона праці

Основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці визначає закон України «Про охорону праці» № 2695-ХІІ від 14.10.92р. Він регулює, за участю відповідних органів державної влади, відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

До експлуатації сільськогосподарських машин допускаються особи не молодші 18 років, які мають права тракториста-машиніста. Персонал, який обслуговує сівалки, повинен пройти інструктаж з техніки безпеки.

Посівні агрегати повинні бути обладнані двосторонньою сигналізацією. Не можна працювати на машинах, що не обладнані підпільними дошками шириною 350 мм. Поверхня дошки повинна мати антиковзні властивості. Сівалки повинні мати поручні з гладкою поверхнею та перила, які встановлені на висоті 1 м.

Кришки тукових банок та насінневих ящиків повинні щільно та надійно закриватися.

Не дозволяється працювати, якщо механізм передачі не закритий щитками.

Помічникам забороняється працювати без респіраторів, рукавиць та захисних окулярів. Одяг повинен бути заправлений. Частина одягу, що вільно розвіваються, не допускається.

Заповнення зернових ящиків протруєним насінням і туковими мінеральними добривами необхідно здійснювати з підвітряного боку.

Під час руху висівних агрегатів забороняється заправляти вручну насіннєві, тукові ящики та банки; залишати відкритими їх кришки без фіксації. Таке обладнання може впасти та травмувати кінцівки.

Сівалки мають бути укомплектовані чистиками з довгими ручками для очищення робочих органів, дерев'яними лопатками для розрівнювання зерна у насіннєвих ящиках.

Забороняється під час руху перебігати із однієї сівалки на іншу, забігати попереду агрегату і маркера.

Під час руху агрегату забороняється зрушувати рукою диски сошників, що забилися або не обертаються.

Помічники, які безпосередньо працюють із протруєним насінням і добривами, повинні кінці рукавів зав'язувати навколо кистей рук, а перед вживанням їжі добре прополіскувати рот водою, мити руки з милом і очищати робочий одяг.

Під час роботи з мінеральними добривами усі працюючі повинні суворо дотримуватися правил техніки безпеки та охорони праці.

До роботи з добривами та вапняними матеріалами допускаються особи не молодші 18 років. Усі працівники (комірники, механізатори, вантажники та ін.) перед початком роботи з добривами повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та охорони праці. Правила техніки безпеки та санітарні правила при поводженні з добривами вивішуються у приміщенні складу. При роботі з добривами на складі і поза складом усі працюючі повинні одягнути спецодяг, що рекомендується для даного виду роботи: комбінезон, рукавиці, окуляри, респіратори або (при роботі з аміачною селітрою) протигази. При зберіганні аміачної селітри необхідно дотримуватись протипожежних правил. Не можна зберігати її навалом поза складом і разом із горючими речовинами (торфом, соломою, нафтопродуктами та інших.). На складі, де зберігають аміачну селітру, не можна курити, користуватися відкритим вогнем та обігрівальними

приладами., Якщо виникає пожежа, то гасити її потрібно тільки водою. При гасінні пожежі необхідно користуватися протигазом, щоб уникнути отруєння оксидами азоту. Особливо обережно необхідно працювати із рідким аміаком. Ємності для його зберігання і транспортування повинні мати герметично закриті люки. У разі потрапляння рідких азотних добрив на шкіру їх необхідно швидко змити великою кількістю води. При тяжкому отруєнні аміаком потерпілого виносять на свіже повітря та викликають лікаря. У разі припинення дихання необхідно зробити штучне дихання.

При внесенні добрив не можна перебувати поблизу активних робочих органів машини, а при роботі дискових розкидачів – ближче 50-80 м від них. Завантаження машин добривами проводять тільки при повній їхній зупинці. Усі приводи машини мають бути закриті щитами. Змащування та регулювання робочих органів проводять тільки при повній зупинці машини та вимкненому двигуні трактора. Не можна сидіти на машині або перебувати між трактором та машиною під час транспортування та внесення добрив. Швидкість руху машин при внесенні добрив не повинна бути вищою за встановлену технічними умовами. У транспорті з мінеральними добривами забороняється перевезення людей, харчових продуктів, питної води та предметів домашнього вжитку.

При безперервній роботі з добривами рекомендується робити 5-ти хвилинні перерви через кожні півгодини перебування в респіраторі.

Після закінчення роботи потрібно прийняти душ і ретельно вимитися з милом. На місці роботи постійно повинні бути запас чистої води та аптечка.

4.2 Екологічна експертиза

Суворе дотримання правил екологічної безпеки та необхідних санітарних правил є неодмінною умовою правильної організації праці під час роботи з мінеральними добривами.

Усі тверді мінеральні добрива доцільно постачати лише у гранульованому чи крупнокристалічному видах. При цьому необхідно, щоб вони мали вирівняний гранулометричний склад: вміст гранул діаметром 2-4 мм – 80%, у тому числі 2-3 мм – 50%, вміст пилу (фракція менше 1 мм) 1%. Статична міцність гранул основної фракції всіх мінеральних добрив має бути 30-50 кг/см², а динамічна міцність – 85-90.

Добрива повинні зберігати 100% розсипчастість після транспортування та зберігання у насипах до 10-12 м заввишки протягом терміну придатності при дотриманні встановлених правил зберігання. Збільшення в асортименті мінеральних добрив у найближчі роки частки рідких форм, таких як КАС (карбамід-аміачна селітра), забезпечить кращий розподіл поживних речовин по полю при внесенні.

Велике значення набуває підвищення частки поживних речовин у добривах. Скорочення баласту у них знизити витрати при їх застосуванні, помітно розвантажить транспорт, скоротить вантажно-розвантажувальні роботи, зменшить необхідні потужності для зберігання, скоротить витрати на внесення одиниці поживної речовини в ґрунт.

У свою чергу, зернові сівалки повинні забезпечувати задану норму висіву насіння, рівномірний розподіл насіння та добрив на площі та в рядках. Відхилення загального висіву насіння від заданої норми не має перевищувати $\pm 3\%$, а відхилення дози внесення добрив від заданої $\pm 10\%$. Середня нерівномірність висіву окремими апаратами допускається до 3% для зернових культур, 4% для бобових культур і 10% для добрив. Сошники сівалки повинні укладати насіння на ущільнене дно борозни і закладати їх вологим ґрунтом. Відхилення від заданої глибини загортання насіння та ширини міжрядь допускаються ± 1 см.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Для техніко-економічної оцінки визначаємо витрати на виготовлення конструкції обладнання, очікувану загальну економічну ефективність капітальних вкладень, річні економічні ефекти.

Витрати на виготовлення конструкції залежать від місця виконання робіт. Так як роботи по виготовленню конструкції виконуються в ремонтній майстерні, для якої вона призначена, то витрати на виготовлення пристосування підраховуємо за формулою [11]:

$$C_{\text{вк}} = C_{\text{од}} + C_{\text{пд}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{зв}} + C_{\text{кд}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{пд}}$ – вартість виготовлення оригінальних деталей, грн;

$C_{\text{зп}}$ – повна заробітна плата (з урахуванням виробничих працівників, зайнятих на збиранні продукції), грн;

$C_{\text{зв}}$ – загальні накладні витрати на виготовлення конструкції, грн;

$C_{\text{кд}}$ – вартість виготовлення корпусних деталей, грн;

До вартості купованих деталей включаємо і вартість деталей, які виконуються на замовлення (прокат, гайки).

Вартість виготовлення корпусних деталей:

$$C_{\text{кд}} = Q \cdot C_{\text{гд}}, \quad (4.2)$$

де Q – маса матеріалу, що використали на виготовлення корпусних деталей.

$C_{\text{гд}}$ – середня вартість 1 кг готових деталей.

Вартість виготовлення оригінальних деталей визначаємо за формулою:

$$C_{\text{од}} = C_{\text{зп пов}} + C_{\text{мз}}, \quad (4.3)$$

де $C_{\text{зп пов}}$ – заробітна плата виробничих працівників зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн.;

$C_{\text{мз}}$ – вартість матеріалу для виготовлення оригінальних деталей, грн.

Повну заробітню плату підраховуємо за формулою:

$$C_{\text{зп пов}} = C_{\text{пр}} + C_{\text{д}} + C_{\text{соц}}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{пр}}$ і $C_{\text{д}}$ – основна і додаткова заробітна плата виробничих працівників, грн.;

$C_{\text{соц}}$ – нарахування до єдиного фонду державного страхування, грн.

Основну заробітну плату робітників визначаємо за формулою:

$$C_{\text{пр}} = t_{\text{ср}} \cdot C_{\text{год}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (4.5)$$

де $t_{\text{ср}}$ – середня трудомісткість виготовлення оригінальних деталей (плита, прижимні колодки, стойки, винт кріпильний, траверса, ручки)

Приймаємо 90 годин.

$C_{\text{год}}$ – годинна ставка робітників, яка вираховується по середньому розряду, приймаємо $C_{\text{год}} = 80$ грн;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує доплату до основної заробітної плати, приймаємо $K_{\text{д}} = 1,025$.

Додаткову заробітну плату підраховуємо за формулою:

$$C_{\text{д}} = (13 \dots 30) \cdot C_{\text{пр}} / 100, \quad (4.6)$$

Нарахування до єдиного фонду державного страхування:

$$C_{\text{соц}} = 33,2 (C_{\text{пр}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (4.7)$$

Продуктивність сівалки з урахуванням швидкості та робочої ширини захвату складає:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot V_{\text{д}} \cdot B_{\text{р}}, \quad (4.8)$$

де $V_{\text{д}}$ – справжня середня швидкість руху сівалки, км/год;

$B_{\text{р}}$ – робоча ширина захоплення сівалки, м.

Основна доза добрив вноситься до посіву, тому продуктивність проектованої сівалки та базового варіанта приймаємо однаковою, незважаючи на те, що деякі операції (завантаження добрив, насіння) виконуються по-різному. Але сумарний обсяг завантажувальних добрив і насіння однаковий.

Затрати праці обчислюються за співвідношенням:

$$T_{\text{р}} = \frac{n}{W_{\text{ч}}}, \quad (4.9)$$

де n – кількість робітників, чол.

Питома витрата палива:

$$g_{\text{п}} = \frac{G_{\text{ч}}}{W_{\text{ч}}} \quad (4.10)$$

де $G_{\text{ч}}$ – витрата палива на годину, кг/год

Прямі експлуатаційні витрати на одиничний обсяг виконаних робіт визначаємо за формулою:

$$I_{\text{т}} = I_{\text{зп}} \cdot I_{\text{а}} \cdot I_{\text{р}} \cdot I_{\text{г}}, \quad (4.11)$$

де $I_{\text{зп}}$ – заробітна плата робітників, зайнятих посівом, грн/га;

$I_{\text{а}}$ – амортизаційні витрати, грн/га;

$I_{\text{р}}$ – відрахування на ремонт (капітальний, поточний), грн/га;

$I_{\text{г}}$ – вартість ПММ, грн/га.

Питомі капітальні вкладення:

$$K_{\text{пт}} = \frac{B_i}{W_{\text{ч}} \cdot T}, \quad (4.12)$$

де B_i – балансова вартість сівалки, грн;

T – річне завантаження машини, год

Питомі приведені витрати:

$$i_j = I_{\text{т}j} + \varepsilon_{\text{м}} \cdot K_{\text{пт}j}, \quad (4.13)$$

де $\varepsilon_{\text{м}}$ – нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капіталовкладень.

Границя ефективності:

$$\Gamma_e = \frac{i_{\text{п}} \cdot W_{\text{чп}}}{i_{\text{б}} \cdot W_{\text{чб}}}, \quad (4.14)$$

де $i_{\text{п}}$, $i_{\text{б}}$ – приведені витрати на гектар;

$W_{\text{чп}}$, $W_{\text{чб}}$ – продуктивність, га/год.

Коефіцієнт резерву ефективності:

$$K_{\text{ре}} = \frac{B_{\text{ф}} \cdot W_{\text{чп}} - \Gamma_e}{\Gamma_e \cdot W_{\text{чб}}}, \quad (4.15)$$

Отриманий коефіцієнт виявився більшим за нормативний, що дорівнює 0,1. Це означає, що ефективність використання розробленої технології досить висока і її можна впроваджувати у виробничий процес посіву зернових культур.

Проведений економічний аналіз показав, що використання нової технології посіву дозволить значно знизити експлуатаційні витрати порівняно із традиційною технологією, коли виконується кілька проходів сівалкою для основного внесення мінеральних добрив та посіву.

Таблиця 4.1 – Показники ефективності застосування нової технології посіву

Показник	Нова технологія	Традиційна технологія		
		Посів зерна	Внесення добрив	Разом
Середня годинна продуктивність	0,51	0,51	0,51	-
Питомі витрати палива, кг/га	5,9	5,9	5,9	11,8
Прямі експлуатаційні витрати, грн/га	1024	1017	739	1756
Питомі капіталовкладення, грн/га	2446	2403	668	3071
Питомі приведені затрати, грн/га	1391	1377	839	2216
Коефіцієнт потенційного резерву ефективності:	0,375			
Показник зменшення експлуатаційних витрат, %	41,7			
Термін окупності	0,85			

Загальні висновки

1. Важливе значення має правильне розташування насіння відносно добрив та дотримання агротехнічних вимог, якими передбачено висів насіння на насінневе ложе щільністю 1,1–1,3 г/см³.

2. Існуючі пристрої для одночасного посіву насіння та добрив часто сприяють сильному розпушенню ґрунту та викиданню насіння на поверхню, а також не ущільнюють насінневе ложе перед закладанням зерна. Під час одночасного загортання насіння та добрив з'являється нерівномірність, що веде до нерівномірних сходів та зменшення енергії проростання.

3. Обґрунтовано, що перемішування насіння та добрива призводить до обпалювання епідермісу зерна або до його загибелі.

4. Розроблено спосіб і запропоновано пристрій для здійснення одночасного висіву насіння та добрив з використанням вібрації для підготовки насінневого ложа;

5. Розроблено методику розрахунку параметрів і режимів вібраційного ущільнення насінневого ложа при одночасному висіву насіння та добрив. Зокрема, отримано залежність щільності насінневого ложа від частоти обертання дебалансу. При зміні частоти обертання дебалансу від 2000 до 3000 об/хв, щільність насінневого ложа змінюється від 1,116 г/см³ до 1,179 г/см³;

6. За результатами лабораторних досліджень отримано рівняння регресії та знайдено чисельні значення найбільш значимих факторів. При максимальній швидкості значення факторів, що забезпечують діапазон щільності насінневого ложа 1,1-1,2 г/см³ становлять: частота обертання: 3000 об/хв; вага віброелемента 24 Н (тиск на ґрунт, що чиниться при отриманому значенні ваги та заданої площі 0,003 м² становить 0,008 МПа).

7. Встановлено, що відсоток насіння, заробленого на задану глибину з виконанням вібрації в товщі ґрунту 40-60 мм після висіву в лабораторних умовах, склала 80-94% при швидкості 0,6-1 м/с. Без вібрації ці показники склали 49-80 % на швидкості 0,6-1 м/с.

8. Розраховані параметри та режими дозволили при нормі висіву 225 кг/га, підвищити лабораторну схожість на 5%.