

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

\_\_\_\_\_ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

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

«Механізація вирощування сої з дослідженням та вдосконаленням  
сівалки точного висіву»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,  
групи АІ-24МЗ

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Котан Світлана Володимирівна

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Дмитро ПЕТРЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент

доцент, канд. техн. наук

\_\_\_\_\_ Олег БЕВЗ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

м. Кропивницький

## АНОТАЦІЯ

Метою роботи було підвищення ефективності вирощування сої через удосконалення пневмомеханічного висівного апарата сівалки точного висіву (на прикладі типового апарату УПС). Запропоновано інноваційне рішення – встановлення додаткового диска з напівотворами та фаскою для більш стабільного захоплення насіння. Експериментально визначено раціональні параметри, зокрема: оберти диска – 32...36 об/хв, розрідження – 1,2...1,6 кПа, діаметр отворів – 2,8...3,0 мм, що дозволить підвищити продуктивність посіву.

**соя, точний висів, додатковий диск, експеримент**

## ABSTRACT

The aim of the work was to increase the efficiency of soybean cultivation by improving the pneumatic-mechanical sowing device of the precision seed drill (using the example of a typical UPS device). An innovative solution was proposed - installing an additional disk with half-holes and a chamfer for more stable seed capture. Rational parameters were experimentally determined, in particular: disk speed – 32...36 rpm, rarefaction – 1,2...1,6 kPa, hole diameter – 2,8...3,0 mm, which will allow to increase the sowing productivity.

**soybean, precision seeding, additional disk, experiment**

## ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ
1	Вступ
2	Стан досліджуваного питання та вибір напрямку досліджень
3	Наукова частина
4	Практична реалізація результатів досліджень
5	Охорона праці
6	Висновок
	Список використаної літератури
	Додатки

## 1. ВСТУП

Останніми роками в українському агросекторі спостерігається значне зростання ролі бобових культур. Вони не лише стають важливою складовою сівозмін, а й відіграють все більшу роль у продовольчому та кормовому виробництві. Ці зміни вплинули і на структуру видового складу бобових: деякі традиційні культури втратили свої позиції, тоді як менш поширені або навіть некультивовані раніше почали активно вирощуватися [2, 3].

Особливе місце серед них посідає соя. Її виробничі обсяги за останнє десятиліття наблизилися до обсягів зернових та олійних культур. Згідно зі статистичними даними, соя становить близько 30% у структурі продуктової групи України. Такий успіх пояснюється стабільним попитом та постійним зростанням урожайності, яка при правильному дотриманні агротехніки може сягати понад 32 ц/га, а в інтенсивних сортів – навіть більше 50 ц/га [2-4].

Ключ до успіху – науково-обґрунтована агротехнологія, зокрема для досягнення високих показників урожайності необхідне суворе дотримання науково-обґрунтованої агротехнології, агротехнічних вимог та строків виконання всіх операцій. Це дає змогу мінімізувати вплив несприятливих погодних умов та запобігти втратам урожаю.

Одним із найважливіших етапів вирощування сільськогосподарських культур, особливо сої, є посів. Саме на цьому етапі закладаються основи для формування дружніх сходів, що є критично важливим для подальшого якісного догляду за посівами та успішного збирання врожаю. Від якісно виконаного посіву залежить вагома частина майбутніх врожаїв.

Метою цієї роботи є підвищення ефективності вирощування сої шляхом обґрунтування агротехнологічних прийомів її посіву з дослідженням та удосконаленням висівного апарата сівалки точного висіву. Це дозволить досягти максимальних результатів, використовуючи сучасні методи та підходи наукових досліджень.

## 2. СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Агротехнологічні особливості вирощування культури

Для успішного вирощування сої першочерговим і ключовим є правильний вибір її місця в сівозміні. Ця культура чутлива до засміченості поля, особливо на ранніх стадіях розвитку, доки листя не зімкнеться. Крім того, важливо, щоб попередник залишив достатні запаси води та поживних речовин у ґрунті. За даними досліджень [2-5], правильно підібраний попередник може підвищити врожайність сої на 1,5–2,5 ц/га.

Найкращими попередниками для сої вважаються озимі зернові. Їх раннє збирання дає змогу провести основний обробіток ґрунту в декілька етапів. Якщо поле вільне від бур'янів, сою також можна висівати після ярих зернових, зокрема кукурудзи, коренебульбоплодних та овочевих культур [2, 4].

Для запобігання виснаженню ґрунту та поширенню хвороб, не рекомендується розміщувати сою після соняшнику, сидеральних та багаторічних бобових трав [3, 5]. Також, через спільних шкідників та хвороби, її не слід висівати після зернобобових культур.

Важливо дотримуватися правил ротації: сою можна висівати на тому самому полі не раніше, ніж через 3-4 роки [2-4]. Це допомагає підтримувати родючість ґрунту та контролювати хвороби.

Окремою вимогою є розміщення посівів сої. Щоб запобігти ураженню спільними шкідниками, їх слід розташовувати не ближче ніж 500 м від насаджень акації, а також від полів із зернобобовими та іншими бобовими культурами.

Коренева система сої робить її чудовим попередником для інших культур. Вона збагачує ґрунт азотом, покращує його структуру, а також стимулює активність мікроорганізмів і процеси нітрифікації [4-6].

Соя – досить вимоглива до мінерального живлення культура. Для формування 1 тони зерна вона виносить із ґрунту близько 40 кг фосфору та калію, а також 70...100 кг азоту [2, 5, 6]. Це підтверджує, що соя позитивно реагує на внесення добрив.

Дослідження показують [6], що максимальне споживання азоту відбувається під час цвітіння та формування бобів. Калійні речовини інтенсивно засвоюються протягом 90 днів після сходів.

Соя ефективно використовує добрива, внесені під попередника. При цьому, більшу частину своїх потреб в азоті (близько 70%) рослина задовольняє завдяки симбіозу з азотфіксуючими бактеріями. Вона також здатна поглинати важкодоступні елементи живлення з ґрунту [5, 6].

За даними наукових досліджень [4-6], для Північного Степу України, за умови середнього забезпечення ґрунту поживними речовинами, орієнтовні норми внесення добрив становлять N30...40, P45...60, K35...60. Точні норми слід коригувати для кожного господарства індивідуально, зважаючи на аналіз ґрунту, систему удобрення попередників та заплановану врожайність.

Стартові дози добрив рекомендується вносити під основний обробіток ґрунту. Під час посіву можна вносити фосфорні або комплексні добрива (наприклад, N15P15K10) безпосередньо в рядки, якщо стартові дози не були внесені раніше. У регіонах з достатнім зволоженням на стадії цвітіння проводять підживлення комплексними добривами, наприклад N20P20 [2-3].

Дослідження [3, 6] показують, що поєднання мінеральних і бактеріальних добрив створює найкращі умови для взаємодії фотосинтезу та біологічної фіксації азоту. Інокуляція насіння сої бактеріальними препаратами (як-от Нітрогін чи Ризоторфін) підвищує врожайність на 2...4 ц/га [3, 6].

Обираючи сорт сої, потрібним є врахування кліматичних умов, технології вирощування, очікуваної врожайності та подальшого використання. Наразі в Україні доступно понад 60 сортів сої від вітчизняних та іноземних виробників. Наприклад, для Степу та Лісостепу ІСГ НААН пропонує ранньо- та середньостиглі сорти з потенційною врожайністю 35...38 ц/га [7].

Перед посівом насіння сої обов'язково обробляють від шкідників і хвороб, а також інокулюють бактеріальними препаратами, що містять мікроелементи та стимулятори росту [2-5].

Сівбу починають, коли ґрунт прогріється до 12...14°C на глибині загортання. Посів у холодний ґрунт може призвести до ураження насіння хворобами та, як

наслідок, до зріджених та недружніх сходів. Натомість, занадто пізні строки сівби спричиняють зниження польової схожості через пересихання верхнього шару ґрунту.

Зазвичай сою висівають широкорядним способом з міжряддям 45 см, рідше – 30 см або 60 см. На полях, де добре контролюється забур'яненість і застосовуються інтенсивні гербіциди, також рекомендується звичайний рядковий спосіб з міжряддям 15 см [2, 5]. Такий метод забезпечує рівномірніший доступ рослин до вологи, поживних речовин та світла.

Для посіву сої використовують як спеціалізовані сівалки (наприклад, ССН-5,8 Д), так і універсальні сівалки точного висіву для широкорядного посіву (45...60 см) або зернові сівалки, що дозволяють отримати міжряддя 15 см (рис. 2.1).



а)



б)

Рис. 2.1 – Сівалки, які використовують для посіву сої: а) універсального типу просапна ВЕСНА 12 від ТОВ АК ФАВОРИТ; б) сівалка зернова СЗ-14Т ТМ «ДТЗ»

Норма висіву сої залежить від кількох ключових факторів: особливостей сорту, ґрунтово-кліматичних умов, якості насіння та способу сівби. Для широкорядного посіву в умовах Північного Степу рекомендована норма становить 330...550 тис. схожих насінин на гектар. При рядковому посіві оптимальна норма зростає до 670 тис. насінин на гектар [2-5].

Для забезпечення рівномірних сходів критично важливим є дотримання правильної глибини загортання насіння. У достатньо зволжених ґрунтах її оптимальне значення 3...4 см. Якщо верхній шар ґрунту пересохлий, глибину варто збільшити до 4...6 см [2, 3].

Щоб забезпечити кращий контакт насіння з ґрунтом і підвищити схожість, після посіву обов'язково проводять прикочування. Це може бути зроблено за допомогою прикочувальних котків, вбудованих у сівалку, або окремими котками одразу після сівби.

## **2.2. Дослідження шляхів підвищення ефективності пневмомеханічних висівних апаратів**

Сьогодні сівалки точного висіву є невід'ємним елементом сучасного сільського господарства, а їхні висівні апарати – надважливими технологічними інструментами, що забезпечують надзвичайно точне дозування насіння. Цей процес можна умовно поділити на три ключові етапи [8-11]:

- відділення: відокремлення заданої кількості насінин із загальної маси в забірній камері;
- транспортування: безперебійна доставка насіння до місця скидання;
- скидання: точне скидання насіння в заданій точці з формуванням вихідного потоку, що відповідає всім заданим параметрам.

До сучасних висівних апаратів висувається цілий спектр вимог, покликаних забезпечити максимальну ефективність і мінімізувати втрати, зокрема.

Стабільність і рівномірність: апарат має створювати рівномірний, безперервний потік насіння, незалежно від умов роботи сівалки.

Стійкість до факторів зовнішнього середовища: висів має бути стабільним, незважаючи на швидкість руху агрегату, рельєф поля, вібрації та коливання [8].

Бережне ставлення до насіння: важливо, щоб апарат не травмував посівний матеріал, зберігаючи його життєздатність.

Універсальність: сучасні сівалки повинні мати можливість висівати насіння різних культур.

Надійність та простота: конструкція має бути не лише надійною, а й легкою в експлуатації, з можливістю простого регулювання норм висіву в широкому діапазоні [10].

На сьогодні успішно функціонують кілька типів висівних апаратів, що відрізняються принципом роботи [10-12]:

- механічні: найпоширеніший і перевірений часом варіант;
- пневматичні та пневмомеханічні: ці системи працюють на основі регулювання потоків повітря, що дозволяє забезпечувати високу точність дозування;
- гідравлічні висівні системи, що хоч і не набули широкого застосування, але все ж використовуються для точкового висіву пророщеного насіння овочів.

Механічні висівні системи, що давно зарекомендували себе в аграрній сфері, використовуються переважно для висіву зернових культур. Їхня конструкція вирізняється різноманітністю, що дозволяє адаптувати їх до різних потреб. Серед найпоширеніших типів механічних систем виділяють катушкові, внутрішньорєбристі, ложкові, пальчикові, мотилькові, втулкові, фрикційні, відцентрові, вібраційні та шнекові [8, 10, 11].

Механічні висівні системи відрізняються надійністю і універсальністю (рис. 2.2).

Головні переваги механічних систем – простота конструкції та надійність. Вони забезпечують стабільний потік насіння, універсальність та стійкість норми висіву [8, 10]. Однак, деякі їхні особливості накладають певні обмеження:

Непридатність для всіх культур: наприклад, популярні катушкові системи не завжди підходять для висіву просапних культур.

Вимоги до насіння: високоточні механічні системи потребують

каліброваного, а іноді й дражованого насіння.

Ризик пошкодження: існує підвищена ймовірність травмування посівного матеріалу.

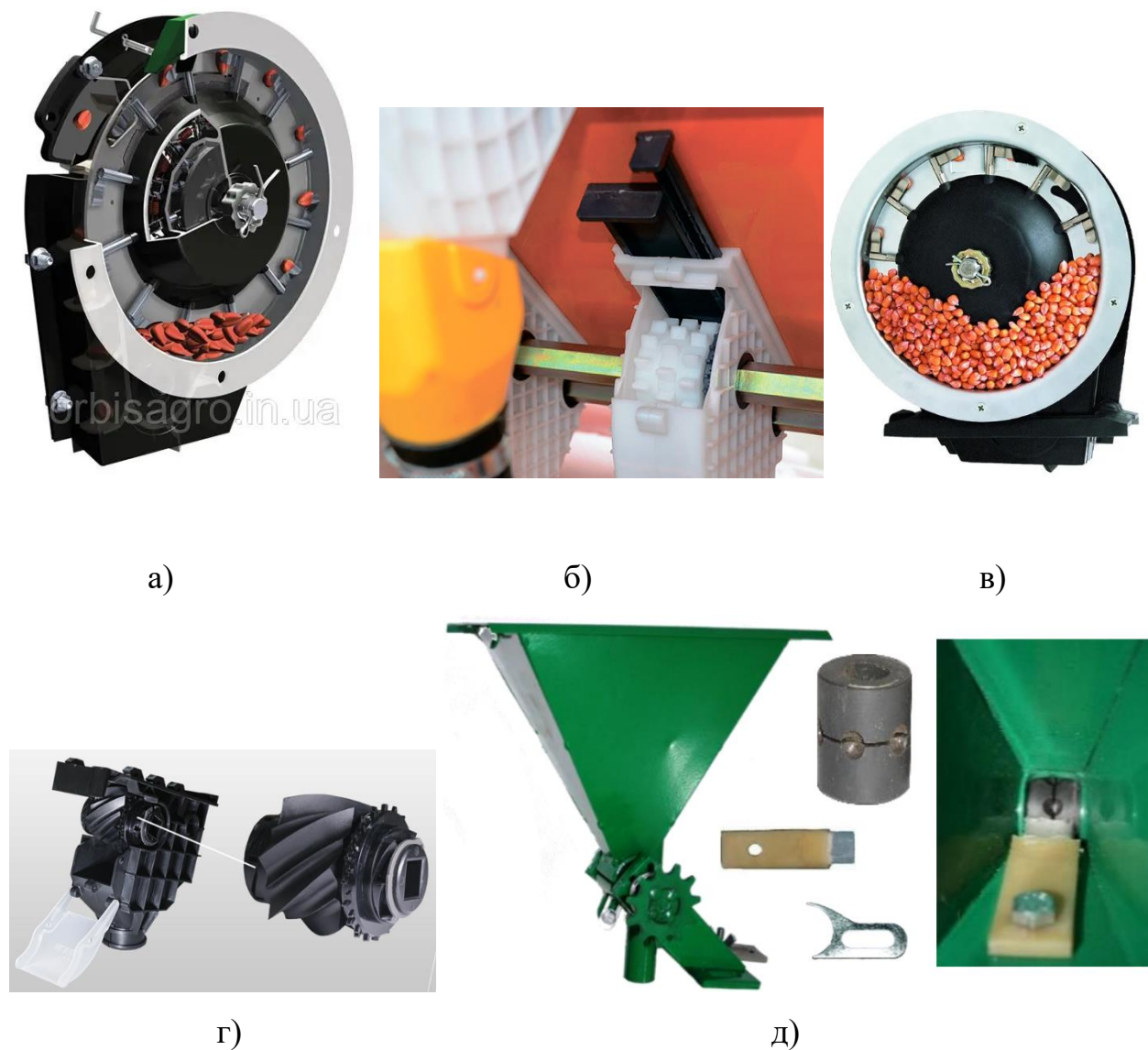


Рис. 2.2 – Системи дозування механічного типу: а) дискового типу Precision Meter; б) з котушковим типом дозуючого елемента; в) пальчиковий тип Kinze; г) котушковий тип (Elvorti); д) втулковий (комірковий) тип.

Пневматичні висівні системи відрізняються високою продуктивністю, але мають доволі значну складність конструкції.

На відміну від механічних, пневматичні висівні системи використовують стиснене повітря для дозування та розподілу насіння. У типовій конструкції (рис. 2.3) дозатори котушкового типу (10, 11) встановлюють норму висіву, а

пневматична головка (12) забезпечує рівномірний розподіл насіння по кількох потоках. Це дозволяє здійснювати прямий посів, підвищуючи продуктивність і універсальність.

Однак, пневматичні системи мають і свої недоліки:

- складність конструкції: вони значно складніші за механічні аналоги;
- габарити та енергоємність: такі апарати є більшими і вимагають значних витрат енергії, що підвищує експлуатаційні витрати.

Таким чином, вибір між механічною та пневматичною системою залежить від конкретних потреб аграрія та типу культури. Якщо пріоритетом є простота і надійність, варто звернути увагу на механіку. Якщо ж потрібна висока продуктивність та універсальність – пневматичні системи стануть оптимальним рішенням.

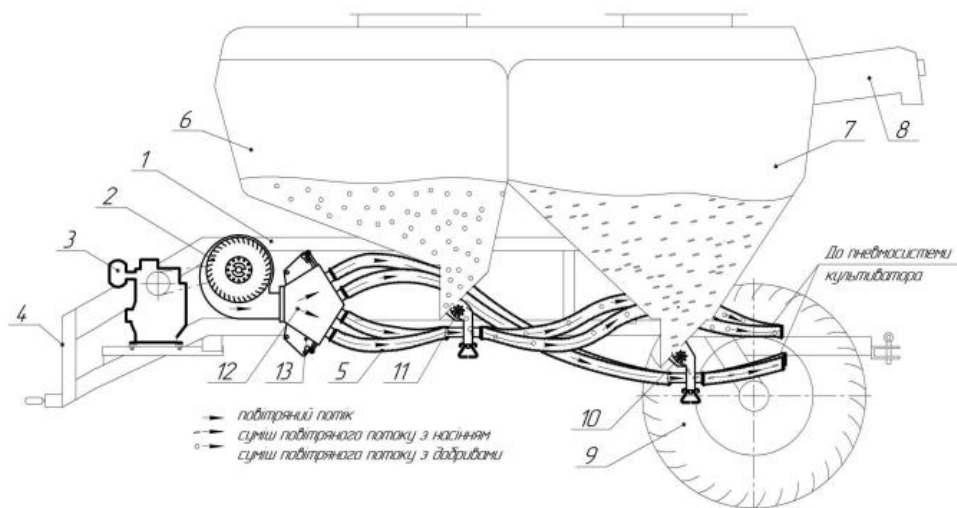


Рис. 2.3 – Функціональна схема сівалки, яка обладнана пневматичною дозуючою системою на прикладі комплексу АЛКОР-10 (Elvorti) [8]:

1 – рама; 2 – система створення потоку повітря; 3 – привод системи створення повітряного потоку; 4 – причіпна система; 5 – система пневматичного насіннепроводу; 6, 7 – бункери; 8 – система завантажувальна; 9 – пневмоколісна база; 10 – дозуючий елемент насіння; 11 – дозуючий елемент туків; 12 – пневмомеханічна головка розподілення; 13 – заслінки.

Принцип роботи гідравлічних систем (рис. 2.4) дозування насіння базується на об'ємному дозуванні спеціальної суспензії – рідини (зазвичай води

або гелю) з рівномірно розподіленим насінням. Дозування здійснюється поршневими насосами або клапанними системами, які порційно подають суспензію в борозну. Однак, незважаючи на інноваційність, ці системи мають обмежену універсальність і дещо поступають за якістю пневматичним аналогам [10, 11].

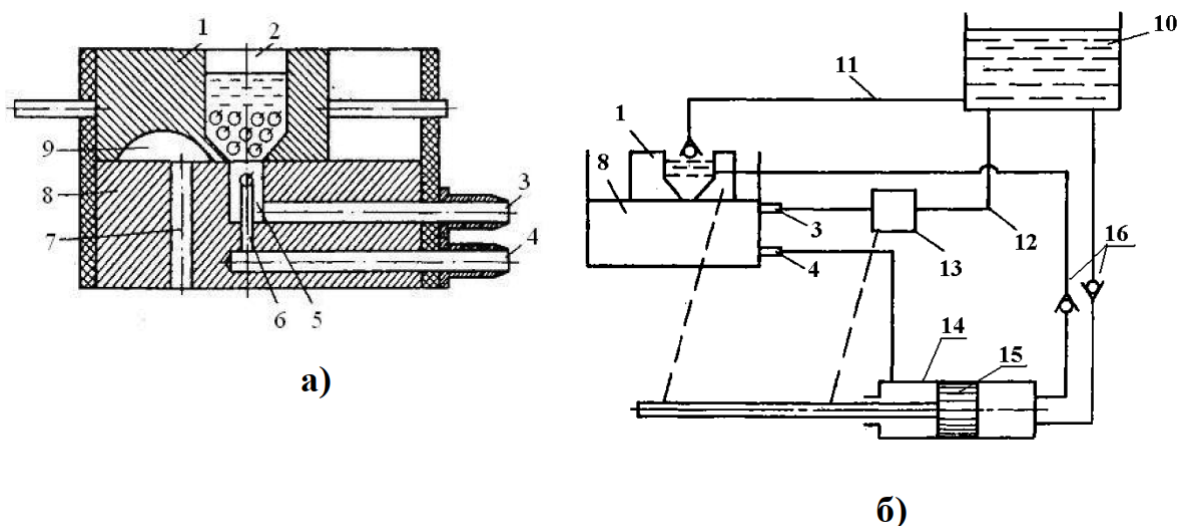


Рис. 2.4 – Пристосування, яке пропонується при посіві пророслого насіння (згідно АС US № 1660602): а – представлення системи в розрізі; б – зображення функціональної схеми;

1, 8 – корпус; 2 – бункер, що містить робочу суспензію; 3, 4, 5, 9 – канали, що з'єднують систему висівної системи; 6 – патрубок; 7 – насінняпровід; 10 – резервуар, що містить робочу рідину; 11, 12 – трубопроводи; 13 – клапан з електроприводом; 14 – циліндр; 15 – поршень; 16 – зворотні клапани.

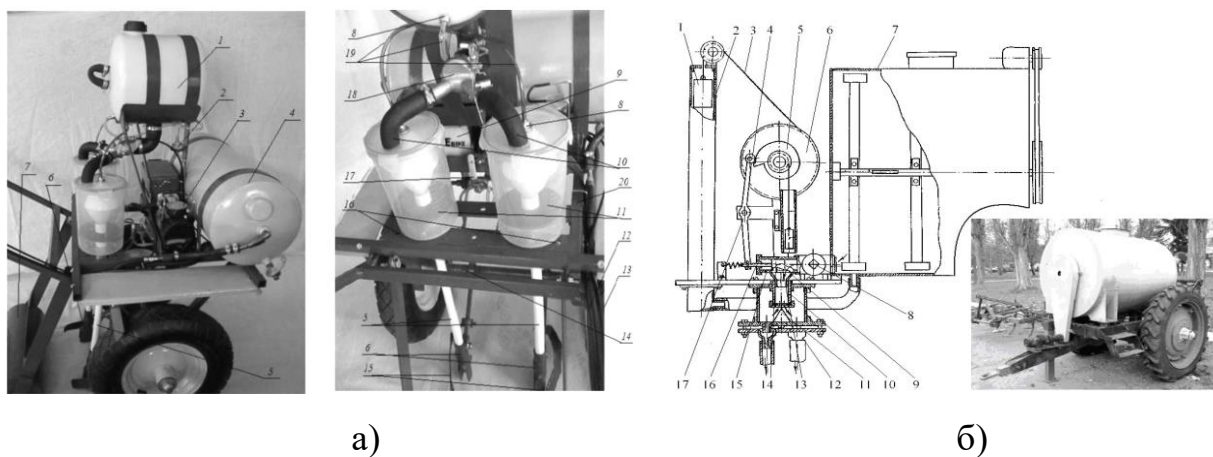


Рис. 2.5 – Системи гідровисіву: а) відповідно до конструкції НУБіП; б) відповідно до конструкції СГО-4,2 [9]

Серед фермерів спостерігається стійка тенденція до зростання застосування сівалок, обладнаних пневмомеханічними висівними апаратами. Це пояснюється низкою вагомих факторів. Зокрема, їхня відносна конструктивна простота, висока універсальність, що забезпечує швидке та легке переналаштування під різні сільськогосподарські культури. Важливою перевагою є і дбайливе ставлення до насінневого матеріалу (посівмату), висока точність дозування та можливість суттєво збільшувати робочу швидкість посівного агрегату без втрати якості [10-16]. Серед різновидів таких сівалок, найбільш поширеними залишаються апарати, оснащені дисковим дозуючим елементом.

До посіву просапних культур висуваються надзвичайно суворі агротехнічні вимоги, особливо щодо рівномірного розподілу насіння по довжині рядка. Ця рівномірність безпосередньо залежить від якості роботи висівних апаратів та точності дозування.

Згідно з агро вимогами, допустима межа пропусків у висіві становить не більше ніж 2%, а наявність двійників (коли до однієї комірки потрапляє дві або більше насінин) не повинна перевищувати 5%.

Таким чином, ключовою задачею посівної секції залишається забезпечення максимально точного дозування насіння із мінімізацією будь-яких відхилень від заданої норми висіву.

Як уже наголошувалося, висівний диск є одним із критично важливих елементів пневмомеханічного висівного апарата, оскільки саме він формує дозований потік насіння і безпосередньо забезпечує якість дозування.

Критичний огляд наукових досліджень конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів [8-10, 13] підтверджує, що якість їхньої роботи залежить не лише від загальної конструкції диска, але й від форми та параметрів дозуючих отворів. Саме ці отвори у взаємодії з параметрами пневмосистеми відповідають за захоплення насіння у забірній камері та його винесення до зони скидання.

Науковцями [10-15] були запропоновані та досліджені різноманітні форми дозуючих отворів, включаючи циліндричні, конічні, тороїдальні та інші. Хоча ці

рішення можуть забезпечувати високу якість дозування, вони часто вимагають складних технологій виготовлення, що підвищує їхню собівартість.

З огляду на вищезазначене, увага наших досліджень зосереджуватиметься на необхідності підвищення ефективності роботи висівних систем сівалок точного висіву. В якості досліджуваної системи був обраний пневмомеханічний висівний апарат вітчизняного виробництва типу УПС, який широко застосовується в конструкціях сівалок «Весна-8» та її модифікаціях виробництва ТОВ «АК «ФАВОРИТ».

Класичний технологічний процес роботи висівного апарата типу УПС включає такі етапи:

- захоплення: насіння з бункера надходить до насінневої камери, де під дією вакууму присмоктується до отворів вертикально розміщеного обертового висівного диск;
- транспортування: диск переносить насіння до камери скидання;
- видалення надлишку (оптимізація потоку): під час транспортування працює механізм скидання зайвого насіння, його функція – усунути «зайві» насінини, якщо до отвору присмокталося більше однієї, залишаючи лише одну (забезпечуючи гарантоване винесення однієї насінини);
- скидання: у камері скидання насіння відривається від отвору і подається до сошникової групи.

Аналізуючи роботу пневмомеханічних висівних апаратів вдалось виявити основну причину неякісного дозування – вона полягає в перешкодах для надійного присмоктування насінини до отвору та її гарантованого винесення з насінневої камери, зокрема з наступних причин:

1. Нерівномірне розташування – для ефективного захоплення насінини повинна бути розташована майже ідеально відносно отвору;
2. Тиск від сусідніх насінин – насінини, що знаходяться поруч із тією, яку потрібно винести, чинять на неї тиск, що заважає надійному присмоктуванню.

Ці проблеми часто змушують підвищувати величину вакууму. Однак це, у свою чергу, призводить до захоплення одним отвором кількох насінин, тобто утворення небажаних «двійників».

Для вирішення проблеми неякісного дозування, пов'язаної з недостатньо надійним захопленням насіння та утворенням «двійників», науковцями кафедри СГМ ЦНТУ було запропоновано впровадження додаткового елемента у конструкцію висівного апарата. Запропоноване інноваційне рішення передбачає застосування додаткового диска, по периферії якого концентрично розташовані напівотвори визначеного діаметра (рис. 2.6).

Використання такого додаткового диска дозволяє створити механічний підпір для тієї насінини, яка вже присмокталася до основного дозуючого отвору. Цей підпір компенсує недоліки низького вакууму та тиск сусідніх насінин. Завдяки формуванню надійного підпору, відпадає необхідність у необґрунтованому підвищенні величини вакууму в системі. Це, своєю чергою, ефективно усуває ключову проблему – утворення «двійників», забезпечуючи стабільно точне дозування насіння.

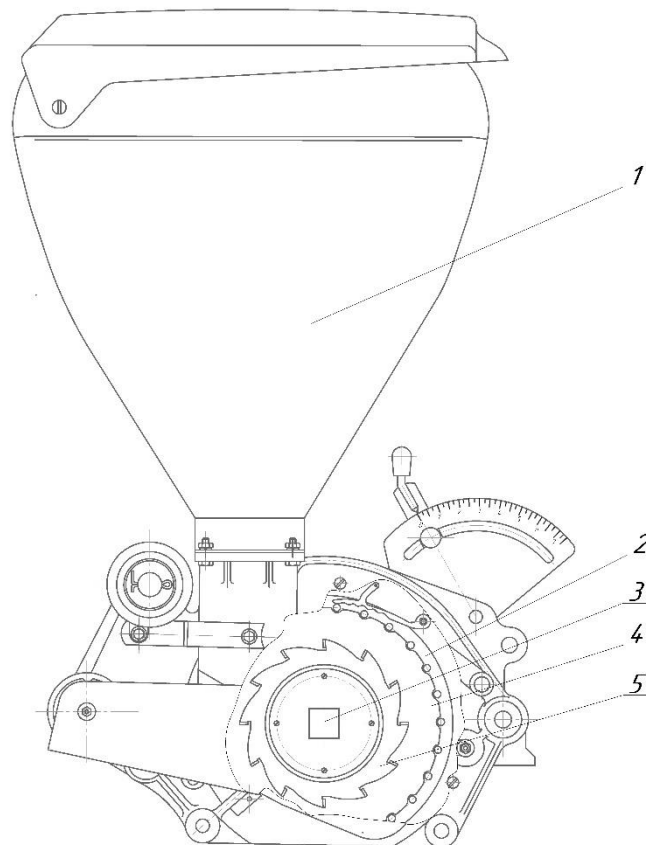


Рис. 2.6 – Конструктивне виконання дозуючого апарату з додатковим диском: 1 – накопичувальний бункер; 2 – головний диск дозування; 3 – вал; 4 – додатковий диск підпору; 5 – ворушилка.

Нами пропонується виконати отвори додаткового диска (рис. 2.7) оригінальної конструкції, що передбачає формування основи діаметром  $d$ , величина якого більша за середню величину  $d_{ум}$  насінин в межах 1,2...1,3 рази, з фаскою в напрямку обертання диску, що додатково сприятиме спрямуванню насінини до отвору основного дозуючого диску.

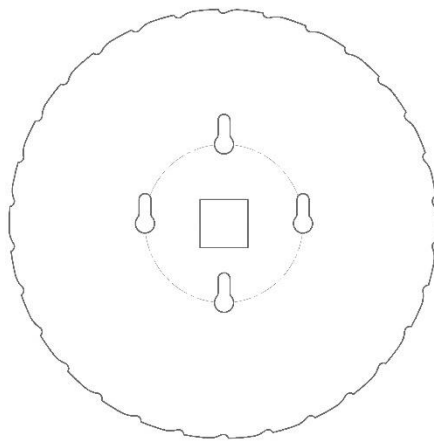


Рис. 2.7 – Оригінальна конструкція додаткового диску

Це конструктивне рішення вирізняється простотою інтеграції: його можна безпосередньо встановити на серійний висівний апарат, не потребуючи жодних додаткових модифікацій. За своєю функціональністю запропонований апарат є аналогічним серійним моделям, зокрема типу УПС.

З огляду на це, **метою** нашого дослідження є оцінка ефективності застосування додаткового диска в конструкції пневмомеханічного висівного апарата, а також встановлення того, як параметри цього диска впливають на якість дозування насіння.

**Об'єктом** дослідження визначено процес дозування насіння просапних культур за допомогою запропонованої висівної системи.

**Предметом** досліджень виступають параметри цієї інноваційної висівної системи, що включає додатковий диск.

Для досягнення поставленої мети програма досліджень передбачає виконання завдання експериментального обґрунтування раціональних параметрів та режимів роботи запропонованої дозувальної системи, забезпечуючи при цьому дотримання агротехнічних вимог.

### 3. Наукова частина

#### 3.1. Методика дослідження

Для виконання поставленого дослідницького завдання була спроектована та виготовлена експериментальна установка (рис. 3.1). Її ключовими компонентами є: установка для формування вакууму (поз. 1), електропривод (поз. 2), який забезпечує безступінчасте регулювання частоти обертання, досліджувана дозувальна система (поз. 3), що базується на апараті типу УПС-8, приводні механізми, контрольно-вимірювальні прилади, зокрема манометр ІО-30 (поз. 4) та випрямляч струму ВСА-111К (поз. 5).

Ця установка змонтована на спеціалізованому стенді «Липка стрічка», що критично важливо для контролю якості дозування, оскільки дозволяє фіксувати та аналізувати «двійники» та «пропуски» насіння.

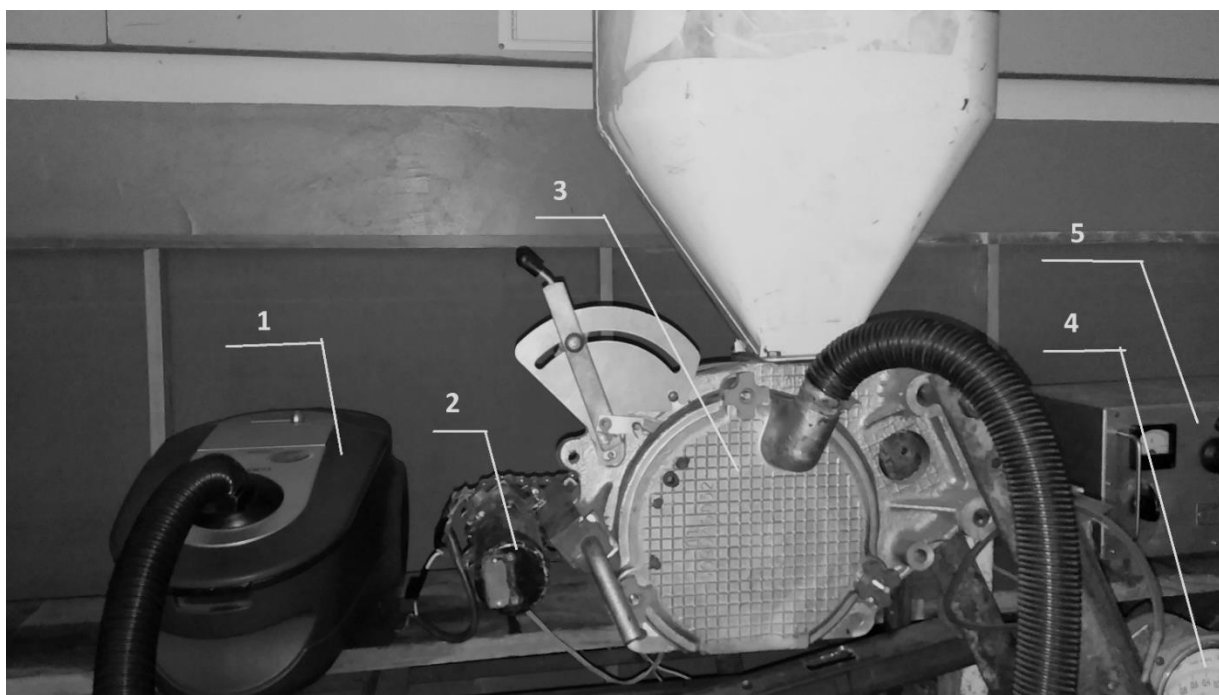


Рис. 3.1 – Загальний вигляд установки для проведення досліджень:  
1 – установка для формування вакууму (пилосмок «VCC414OV38»); 2 – електропривод; 3 – досліджувана дозувальна система; 4 – манометр, 5 – пристрій для випрямлення струму.

З метою дослідження впливу параметрів додаткового диска на процес дозування висівним апаратом, було розроблено та виготовлено низку дисків із варіативними геометричними характеристиками (рис. 3.2). Це дає змогу системно оцінити оптимальні конфігурації для підвищення ефективності роботи.



Рис. 3.2 – Варіант досліджуваного диска в зборі

Методика експериментального дослідження була спрямована на вивчення впливу трьох ключових параметрів на якість процесу дозування (деталі наведено у Додатку А):

1. Частота обертання диска – цей параметр безпосередньо характеризує швидкість дозування насіння і, відповідно, відзначається кореляційним зв'язком зі швидкістю переміщення агрегату по полю.
2. Величина розрідження, яке формується у вакуумній системі апарата.
3. Діаметр основи отворів додаткового диска, який корелював з отворами дозуючого диска.

Критерієм оптимізації виступав показник кількості насіння, яке висіювалось апаратом впродовж 10 обертів диска, при цьому за допомогою липкої стрічки відбувався контроль появи «двійників» і «пропусків».

Насіння висівалося на липку стрічку, рух якої імітував переміщення посівного агрегату по полю. Під час кожного дослідження проводився ретельний

підрахунок кількості висіяного насіння на стрічку, а отримані результати фіксувалися та систематично заносилися до таблиці (див. Додаток В).

Граничні величини зміни параметрів досліджуваних чинників визначалися емпірично та змінювалися за такою методологією:

1. Частота обертання диска – граничні значення даного параметра встановлювалися на основі фіксації рівномірності та повноти захоплення насінин усіма комірками диска. Зміну частоти обертання виконували шляхом регулювання обертів електропривода, а у разі потреби – через зміну передатного відношення механічного приводу.

2. Величина розрідження (вакуум) – граничні значення даного параметра визначалися, виходячи з двох умов: стійке присмокування насінин до комірок і повна відсутність «подвійних» виносів. Контроль величини вакууму здійснювався за допомогою манометра, тоді як його зміна відбувалася шляхом регулювання потужності всмоктування на вакуумній установці.

3. Діаметр отворів – величина параметра узгоджувалася з розмірними характеристиками досліджуваного насіння. Оптимальне значення встановлювалося з умов забезпечення максимального перекриття насінниною перерізу отвору основного диска. Зміна цього параметра виконувалася виключно шляхом заміни дисків на моделі з іншими діаметрами отворів.

З метою раціоналізації часу досліджень та забезпечення їхньої високої ефективності, було прийнято рішення про проведення повнофакторного статистичного експерименту. Методика цього експерименту передбачала використання кодування факторів для спрощення розрахунків та аналізу отриманих результатів [17, 19]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta_i},$$

де  $x_i$ ;  $X_i$  – значення величини  $i$ -го фактору у закодованому і натуральному вигляді, відповідно;

$X_{i0}$  – значення величини  $i$ -го фактору у натуральному вигляді при його перебуванні на нульовому рівні;

$\Delta_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го чинника.

Внаслідок процедури кодування отримано стандартизовані значення факторів на трьох рівнях: «+1», «0» та «-1». Ці рівні відповідно відповідають верхньому, нульовому (середньому) та нижньому значенням варіювання досліджуваного параметра (деталі див. Додаток А).

Для проведення дослідження розроблено план-матрицю повного факторного експерименту типу  $2^k$ . Як показано у Додатку Б, ця матриця передбачає реалізацію восьми дослідів (за формулою  $n=2^k$ , де  $k=3$  фактори,  $n=2^3=8$ ).

### 3.2. Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень

Дотримуючись розробленої робочої матриці та відповідно до рандомізованого порядку, ми реалізували серію експериментів (рис. 3.3). Кожен з цих дослідів був проведений у трикратному повторенні для забезпечення надійності одержаних даних. Отримані значення параметра оптимізації фіксували після кожного етапу та вносили до робочої таблиці (додаток В).

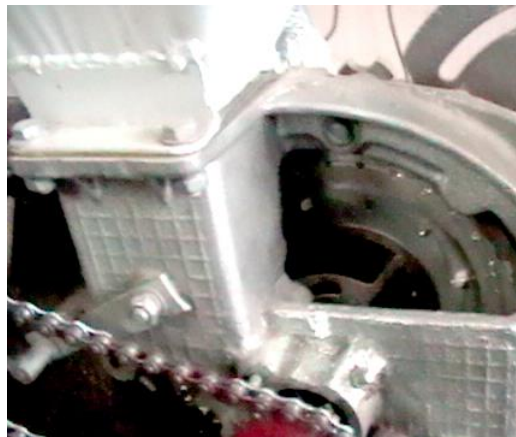


Рис. 3.3 – Фотофіксація процесу роботи висівного апарата

Для оцінки якості було прийнято рішення використовувати коефіцієнт рівномірності висіву як цільову функцію (критерій оптимізації). Його сутність полягає у відображенні частки реально висіяного насіння  $M_1$  у досліді відносно нормативної (планової) кількості  $M_0$  :

$$\Phi_T^i = \frac{M_1}{M_0} \cdot 100\%.$$

Зважаючи на одержані значення відгуку критерію оптимізації в кожному досліді (Додаток В), можемо одержати наступні значення усередненої величини коефіцієнту рівномірності (табл. 3.1):

$$\Phi_T^5 = \frac{224}{300} \cdot 100 = 74,7 \%,$$

$$\Phi_T^2 = \frac{187}{300} \cdot 100 = 62,3 \%,$$

$$\Phi_T^7 = \frac{314}{300} \cdot 100 = 104,7 \%,$$

$$\Phi_T^1 = \frac{251}{300} \cdot 100 = 83,7 \%,$$

$$\Phi_T^4 = \frac{241}{300} \cdot 100 = 80,3 \%,$$

$$\Phi_T^6 = \frac{201}{300} \cdot 100 = 67,0 \%,$$

$$\Phi_T^8 = \frac{358}{300} \cdot 100 = 119,3 \%,$$

$$\Phi_T^3 = \frac{280}{300} \cdot 100 = 93,3 \%.$$

Табл. 3.1 – Результати розрахунку коефіцієнтів рівномірності згідно з дослідними даними

№ досліду	Вихідний параметр $\Phi_T^i (Y_1), \%$			Середньо-арифметичне значення $\Phi_T^i (\bar{Y}_p), \%$
	Повторюваність			
	I, $Y_{p1}$	II, $Y_{p2}$	III, $Y_{p3}$	
5	74,3	74,0	76,0	74,7
2	62,3	63,0	61,7	62,3
7	104,3	106,0	103,3	104,7
1	82,7	84,7	84,0	83,7
4	79,3	81,7	79,7	80,3
6	68,0	67,3	65,7	67,0
8	118,3	119,0	120,7	119,3
3	92,7	94,0	93,3	93,3

Одержані результати будемо обробляти відповідно до загальноприйнятих методів математичної статистики.

В першу чергу встановимо значення дисперсій відповідно до одержаних результатів, скориставшись наступною залежністю [17, 19]:

$$S_{pi}^2 = \frac{1}{k_0 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{k_0} (Y_{Pi} - \bar{Y}_P)^2,$$

де  $k_0$  – кількісний показник повторності (або загальна кількість повторень) для  $P$ -го експерименту;

$i$  – порядковий номер конкретного повторення дослідю;

$Y_{Pi}$  – значення критерію оптимізації, отримане під час  $i$ -го повторення  $P$ -го експерименту;

$\bar{Y}_P$  – середньо визначена величина критерію оптимізації за всіма повтореннями  $P$ -го дослідю.

$$S_{p5}^2 = \frac{(74,3 - 74,7)^2 + (74,0 - 74,7)^2 + (76,0 - 74,7)^2}{3 - 1} = 1,17$$

$$S_{p2}^2 = \frac{(62,3 - 62,3)^2 + (63,0 - 62,3)^2 + (61,7 - 62,3)^2}{3 - 1} = 0,44$$

$$S_{p7}^2 = \frac{(104,3 - 104,7)^2 + (106,0 - 104,7)^2 + (103,3 - 104,7)^2}{3 - 1} = 1,83$$

$$S_{p1}^2 = \frac{(82,7 - 83,7)^2 + (84,7 - 83,7)^2 + (84 - 83,7)^2}{3 - 1} = 1,06$$

$$S_{p4}^2 = \frac{(79,3 - 80,3)^2 + (81,7 - 80,3)^2 + (79,7 - 80,3)^2}{3 - 1} = 1,61$$

$$S_{p6}^2 = \frac{(68 - 67,0)^2 + (67,3 - 67,0)^2 + (65,7 - 67,0)^2}{3 - 1} = 1,44$$

$$S_{p8}^2 = \frac{(118,3 - 119,3)^2 + (119 - 119,3)^2 + (120,7 - 119,3)^2}{3 - 1} = 1,44$$

$$S_{p3}^2 = \frac{(92,7 - 93,3)^2 + (94 - 93,3)^2 + (93,3 - 93,3)^2}{3 - 1} = 0,44.$$

Для валідації та визначення розбіжності результатів ми застосовуємо дисперсію відтворюваності [17-19]. Цей ключовий параметр, що відображає помилку дослідження, обчислюється як:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n S_p^2$$

$$S_y^2 = \frac{1}{8} \cdot (1,17 + 0,44 + 1,83 + 1,06 + 1,61 + 1,44 + 1,44 + 0,44) = 1,18$$

Згідно з критерієм Кохрена (G), ми проводимо перевірку на відтворюваність (однорідність дисперсій) експериментальних даних:

$$G_{pзр} = \frac{S_p^2}{\sum_{p=1}^n S_p^2},$$

$$G_{pзр} = \frac{1,18}{1,17 + 0,44 + 1,83 + 1,06 + 1,61 + 1,44 + 1,44 + 0,44} = 0,125.$$

Зіставлення з критичним значенням критерію Кохрена  $G_{кр}$ , наведеним у [17, Додаток Б], засвідчило, що розрахункове значення  $G_{pзр}$  не перевищує встановленої межі, тобто  $G_{кр}(0,05; 8; 2) = 0,5157$ . Це остаточно підтверджує однорідність експериментальних даних.

Наступним етапом є встановлення якості виконання процесу дозування та кількісна оцінка впливовості кожного досліджуваного фактора, включно з ефектами парної взаємодії, на цільовий критерій оптимізації. Для цього використаємо відому методику розрахунку коефіцієнтів поліному [17, 19]:

$$b_0 = \frac{1}{8} \cdot (74,7 + 62,3 + 104,7 + 83,7 + 80,3 + 67,0 + 119,3 + 93,3) = 85,7;$$

$$b_1 = \frac{1}{8} \cdot (-74,7 + 62,3 - 104,7 + 83,7 - 80,3 + 67,0 - 119,3 + 93,3) = -9,1;$$

$$b_2 = \frac{1}{8} \cdot (-74,7 - 62,3 + 104,7 + 83,7 - 80,3 - 67,0 + 119,3 + 93,3) = 14,6;$$

$$b_3 = \frac{1}{8} \cdot (-74,7 - 62,3 - 104,7 - 83,7 + 80,3 + 67,0 + 119,3 + 93,3) = 4,3;$$

$$b_{12} = \frac{1}{8} \cdot (74,7 - 62,3 - 104,7 + 83,7 + 80,3 - 67,0 - 119,3 + 93,3) = -2,66;$$

$$b_{13} = \frac{1}{8} \cdot (74,7 - 62,3 + 104,7 - 83,7 - 80,3 + 67,0 - 119,3 + 93,3) = -0,75$$

$$b_{23} = \frac{1}{8} \cdot (74,7 + 62,3 - 104,7 - 83,7 - 80,3 - 67,0 + 119,3 + 93,3) = 1,75;$$

$$b_{123} = \frac{1}{8} \cdot (-74,7 + 62,3 + 104,7 - 83,7 + 80,3 - 67,0 - 119,3 + 93,3) = -0,5.$$

Залежність показника якості дозування від варіацій досліджуваних параметрів описується регресійним рівнянням, яке дозволяє прогнозувати ефективність роботи висівного апарата і має таку форму:

$$Y = 85,7 - 9,1 \cdot x_1 + 14,6 \cdot x_2 + 4,3 \cdot x_3 - \\ - 2,66 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,75 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1,75 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,5 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Достовірність отриманого рівняння регресії та його відповідність експериментальним даним буде встановлена за допомогою F-критерію Фішера. Проводимо перевірку на адекватність:

$$F_{pz} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F(0,05; f_{ad}; f_y),$$

де  $F_{pz}$  – значення F-критерію відповідно до розрахункових даних;

$F(0,05; f_{ad}; f_y)$  – значення F-критерію згідно табличних величин за умови 5%-го рівня значущості одержаних даних;

$f_{ad}$ ,  $f_y$  – значення чисел ступеня вільності відповідно для дисперсії адекватності та відтворення;

$$f_y = n(k_0 - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16.$$

$S_{ad}^2$  – величина дисперсії адекватності, значення якої можливо обчислити, використовуючи прийняту методику [17, 19]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \cdot \sum_{p=1}^n (Y_{pi} - \bar{Y}_p)^2.$$

де  $Y_{pi}$  – значення відгуку критерію оптимізації у  $i$ -му досліді, який можемо розрахувати шляхом підстановки знайдених коефіцієнтів лінійної частини рівняння до математичної моделі:

$$Y_{p1} = 85,7 - 9,1 \cdot (-1) + 14,6 \cdot (-1) + 4,3 \cdot (-1) = 75,8.$$

За аналогією обчислимо і відгуки для умов усіх точок плану досліджень, таким чином переходимо до визначення дисперсії адекватності:

$$\begin{aligned} S_{ad}^2 &= \frac{1}{8 - 3 - 1} [(75,8 - 74,7)^2 + (57,7 - 62,3)^2 + (105,0 - 104,7)^2 \\ &\quad + (86,8 - 83,7)^2 + (84,5 - 80,3)^2 + (66,3 - 67,0)^2 \\ &\quad + (113,7 - 119,3)^2 + (95,5 - 93,3)^2] = 2,16 \end{aligned}$$

Тоді:

$$F_{p3} = \frac{2,16}{1,18} = 1,83 < F(0,05; 8; 16) = 2,59,$$

що свідчить про достовірність отриманого рівняння регресії, яке з прийнятною долею адекватності здатне відображати дійсний процес дозування.

Наступний етап передбачає встановлення значущості коефіцієнтів при параметрах у рівнянні регресії. Для цього ми застосовуємо критерій Стьюдента ( $t$ ), згідно з яким коефіцієнт визнається статистично значущим у досліджуваному діапазоні варіювання, якщо виконується така умова:

$$|b_j| \geq \Delta b_j,$$

де  $|b_j|$  – значення коефіцієнтів регресійної моделі, які були розраховані відповідно до вищенаведеної методики;

$\Delta b_j$  – довірчий інтервал, який відповідає розрахунковому значенню [17-19]:

$$\Delta b_j = t(0,05; f_y) \cdot \sqrt{\frac{S_y^2}{n}} = 2,1 \cdot \sqrt{\frac{1,18}{8}} = 0,8,$$

де  $t(0,05; f_y) = 2,1$  – табличне значення величини  $t$ -коефіцієнта при 5%-му рівні надійності за значення  $f_y = 16$  [17, додаток Г].

Отримані результати дозволяють сформулювати ключові висновки щодо динаміки роботи висівного апарату.

Було встановлено, що збільшення частоти обертання диска в поєднанні зі зниженням розрідження у вакуумній камері критично збільшує кількість пропусків у висіві. Це явище має подвійну природу – зростання обертів спричиняє збільшення інерційних сил, які відривають насіння від отворів, тоді як послаблення вакууму зменшує силу притискання. Отже, насінина не втримується в дозуючому отворі.

Натомість присутній і ризик формування подвійного висіву – надмірне збільшення розрідження провокує небажане подвійне присмокування насіння. Це відбувається через формування «надлишкової» зони дії вакууму, яка захоплює не лише цільову насінину, але й сусідні.

Крім того, виявлено, що діаметр отворів, який має корелювати з геометричними розмірами насіння, при його зменшенні знижує площу контакту

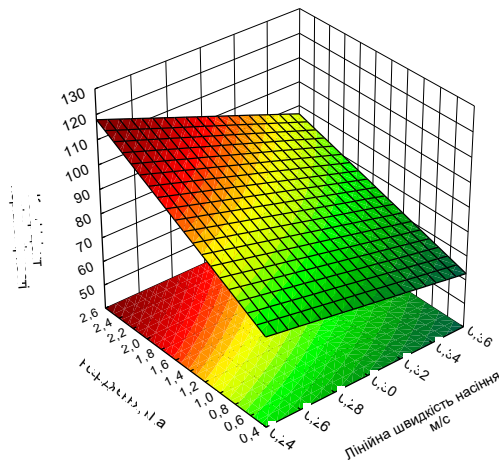
з насінною. Це погіршує якість прismoктування і призводить до виникнення пропусків.

Найбільш стабільні показники якості прismoктування насіння сої (мінімізація пропусків і двійників) досягаються при наступних раціональних значеннях чинників (рис. 3.4):

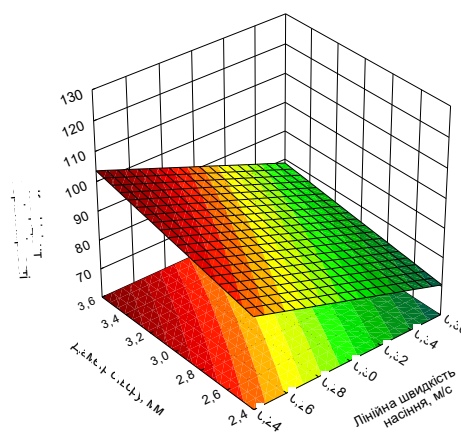
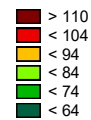
$x_1 - n_{\partial} = 32 \dots 36$  об/хв, що корелює з лінійною швидкістю насіння  $V_{\partial} = 0,28 \dots 0,38$  м/с;

$x_2 - P_{\partial} = 1,2 \dots 1,6$  кПа;

$x_3 - d_{\text{отв}} = 2,8 \dots 3,0$  мм.



а)



б)



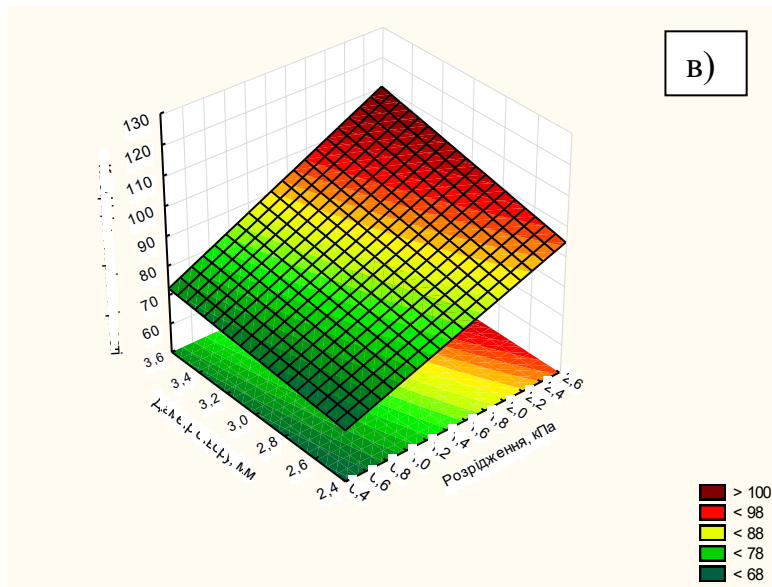


Рис. 3.4 – Візуалізація графічних залежностей відгуку критерію оптимізації процесу дозування запропонованим методом: а)  $\Phi_T^i = f(n_D(V_D), P_B)$ ; б)  $\Phi_T^i = f(n_D(V_D), d_{отв})$ ; в)  $\Phi_T^i = f(P_B, d_{отв})$

Як свідчать дані, оптимальне значення критерію якості висіву, яке б задовольняло повну ефективність, не може бути досягнуте через антагоністичний характер похибок: неминуче виникатиме або надмірна кількість подвійних висівів ("двійників"), або критичні пропуски. Тому першочерговим завданням є використання раціональних робочих параметрів (рис. 3.4). Саме ці параметри гарантують необхідний кінцевий результат – баланс між максимізацією продуктивності та збереженням високої точності дозування.

### Висновки по розділу.

Виконання даного розділу було логічним продовженням попереднього, в якому сформульовано гіпотезу, спрямовану на підвищення якості дозування пневмомеханічним апаратом шляхом введення додаткового підпору в критичній зоні виносу. Для реалізації цього механізму було запропоновано застосувати додатковий диск із напівкруглими вирізами, діаметр яких відповідає геометрії насіння з виконанням додаткової фаски, яка б полегшила надходження насіння до зони контакту з основним отвором дозуючого диску.

Для верифікації гіпотези та точного встановлення раціональних робочих режимів дозуючої системи, було запрограмовано і проведено експериментальні

дослідження з використанням як стандартного, так і спеціально створеного обладнання.

За результатами експериментів встановлено, що оптимальна стабільність присмокування насіння сої досягається при наступній комбінації параметрів:

- оберти висівного диска: 32...36 об/хв (еквівалент лінійної швидкості 0,28...0,38 м/с).
- рівень розрідження: 1,2...1,6 кПа.
- діаметр дозуючих отворів: 2,8...3,0 мм.

На основі цих числових значень можливо проведення комплексного інженерного обґрунтування параметрів висівної системи пневмомеханічного апарата.

## 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Обґрунтування параметрів висівного апарата.

Параметри дозуючих елементів пневмомеханічного висівного апарата формуються під впливом множини вихідних чинників. Серед найважливіших слід назвати характеристики насінин – їх розмірні та аеродинамічні властивості, а також питома вага. Не менш значущими є динамічні показники: початкова відносна швидкість насінин та коефіцієнти їх внутрішнього і зовнішнього тертя.

Розгляд механіки процесу є необхідним для розуміння умов, за яких відбувається захоплення та подальший винос насінин дозуючим диском. Відповідно до законів фізики, на насініну, що знаходиться у безпосередній близькості до отвору і була присмоктана, впливають три головні сили (рис. 4.1) [8, 10, 20], які розглянемо нижче.

Сила  $F_m$ , створювана повітряним потоком (яка утримує насініну):

$$F_m = 0,5 \cdot \zeta \cdot \rho_g \cdot S_{mn} \cdot \Omega^2$$

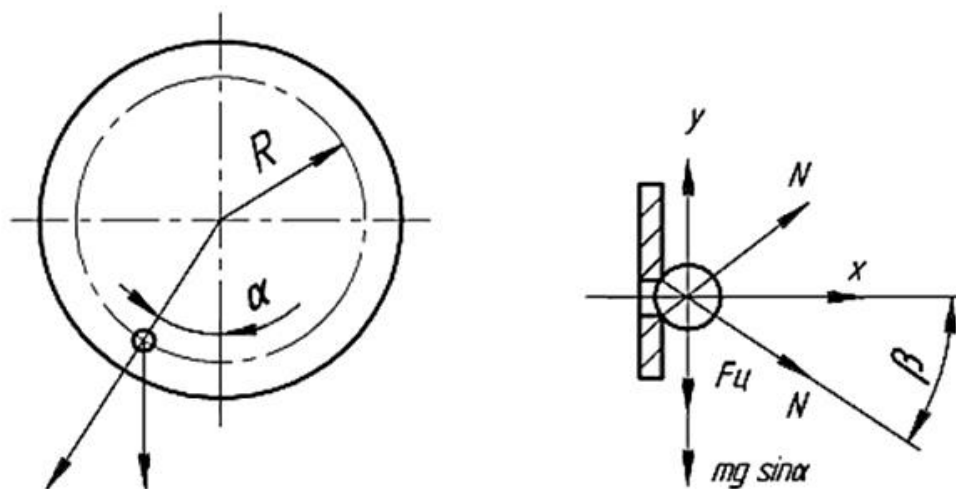


Рис. 4.1 – Моделювання умов присмокування насінин до дозуючих отворів

де  $\zeta$  – коефіцієнт, який задає емпіричну пропорційність;

$\rho_g$  – щільність повітряного потоку;

$S_{mn}$  – міделів переріз, який являє собою площу найбільшої проекції насінини, яка вимірюється на площині, орієнтованій перпендикулярно до безпосереднього напрямку руху або дії повітря:

$$S_{mn} = \frac{\pi \cdot d_{ym}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,0036^2}{4} = 10,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

$d_{ym}$  – умовний розмірний параметр насінин:

$$d_{ym} = (0,74 \dots 0,8) \cdot t_n = 0,76 \cdot 4,8 = 3,6 \text{ мм};$$

$t_n$  – мінімальні розмірні параметри посівного матеріалу [2-4];

$\Omega$  – швидкість, з якою переміщується повітряний потік в системі дозування;

Наступною є вага насінини, яка є мірою гравітаційної взаємодії і обчислюється шляхом множення фактичної маси насінини  $m_{ym}$  на прискорення  $g$ , зумовлене гравітацією (прискорення вільного падіння):

$$G = m_{ym} \cdot g,$$

$$G = 0,31 \cdot 9,8 = 3,04 \text{ кг} \cdot \text{м/с}^2 = 3,04 \text{ Н}.$$

Також на насінини діють і сили, які виявляють внутрішню взаємодію між насінинами в забірній камері, а саме сили внутрішнього тертя:

$$F_{mp.e} = H_{oc} \cdot \text{tg}\gamma$$

$H_{oc}$  – характерний тиск між насінинами, який спрямовано в осьовому напрямку;

$\gamma$  – кут, характерний для внутрішнього тертя насіння.

Внаслідок обертання насіння разом з диском виникають і інерційні сили, зокрема відцентрова, яку можна представити як:

$$F_{\omega} = m_{ym} \cdot \frac{v_d^2}{R_d},$$

$v_d$  – величина тангенціальної (лінійної) швидкості, яка вимірюється точно по периферії отворів на робочому радіусі диска  $R_d$ .

Враховуючи вищезначене, можемо записати в загальному вигляді умову взаємодії насінин з отвором диска:

$$0,5 \cdot \zeta \cdot \rho_g \cdot S_{mn} \cdot \Omega^2 \geq m_{ym} g + H_{oc} \cdot \operatorname{tg} \gamma + m_{ym} \cdot \frac{v_d^2}{R_d}.$$

Якщо прийняти, що насінина перебуває в стані спокою ( $v_o = 0$ ) в початковий момент взаємодії, то розрахунок величини розрідження у вакуумній камері можна представити наступною формулою:

$$H_0 \geq \left( \frac{10^3 \cdot G}{S_{mn} \cdot \xi_n \cdot \rho_g} \right) \cdot \left( \sqrt{1 + \left( \frac{v_d^2}{g \cdot R_d} \right)^2} - 2 \cdot v_d^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{mp}}{g \cdot R_d} \right) + \left( \frac{v^2}{g \cdot d} \right),$$

де  $v_o$  – швидкість насінин відносно дозуючого диску;

$d$  – розмір отвору.

За умови рівності швидкостей насінин і лінійної швидкості центрів отворів висівного диску в момент присмоктування, тоді будемо мати наступну залежність:

$$H_1 \geq \left( \frac{10^3 \cdot G}{S_{mn} \cdot \xi_n \cdot \rho_g} \right) \cdot \left( \sqrt{1 + \left( \frac{v_d^2}{g \cdot R_d} \right)^2} - 2 \cdot v_d^2 \cdot \frac{\sin \alpha_{mp}}{g \cdot R_d} \right)$$

де  $\xi_n$  – парусність (або відповідний їй коефіцієнт), що відображає опір повітря, приймає для насіння сої середнє значення 0,24;

$R_d$  – радіус, на якому розташовуються осьові лінії присмокування (осі отворів),  $R_d=0,09$  м;

$v_d=0,35$  м/с – максимальне значення лінійної швидкості центрів отворів згідно з емпіричними даними;

$\alpha_{mp}$  – кут повороту диска, який відображає пройдений шлях насінини від місця, де вона була захоплена у забірній камері, до місця, де відбувається її вивільнення в насіннєпровід (або в борозну):

$$\alpha_{mp} = 3/2\pi = 270^\circ.$$

Здійснимо розрахунок величини розрідження вакуумної камери, завданням якого є забезпечення гарантованого утримання насінини сої на дозуючому отворі та успішне її транспортування до насіннєпроводу:

$$H_0 \geq \left( \frac{3,04 \cdot 10^3}{10,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 \cdot 1,22} \right) \cdot \left( \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,35^2}{9,8 \cdot 0,09} \right)^2} - 2 \cdot 0,35^2 \cdot \frac{\sin 270^\circ}{9,81 \cdot 0,09} \right) + \frac{0,35^2}{9,81 \cdot 0,003} \right) =$$

$$= 1148 \cdot (1,28 + 4,14) = 6222 \text{ Па};$$

$$H_1 \geq \left( \frac{3,04 \cdot 10^3}{10,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 \cdot 1,22} \right) \left( \sqrt{1 + \left( \frac{0,35^2}{9,8 \cdot 0,09} \right)^2} - 2 \cdot 0,35^2 \cdot \frac{\sin 270^\circ}{9,81 \cdot 0,09} \right) = 1469 \text{ Па}.$$

Враховуючи обчислені величини розрідження у вакуумкамері, проведено розрахунок витрат повітря, які матимемо у пневмосистемі сівалки:

$$W = \frac{1}{4} \cdot \zeta \cdot \pi \cdot d^2 \cdot K \cdot \eta \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H_i}{\rho_g}}$$

де  $\zeta$  – опір пневмосистеми,  $\zeta = 0,68...0,76$ ;

$K$  – кількість секцій сівалки, які задіяні в процесі висіву,  $K = 8$  шт.;

$\eta$  – число отворів на робочому диску, які синхронно потрапляють і утримуються в активній області дії розрідження вакуумної камери,  $\eta = 12$ .

Отже

$$W = \frac{1}{4} \cdot 0,72 \cdot 3,14 \cdot 0,003^2 \cdot 8 \cdot 12 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 1469}{1,22}} = 0,075 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ключовим етапом є визначення загальної величини втрат тиску в пневматичних магістралях сівалки. Як відомо з принципів руху рідин і газів, переміщення повітря завжди супроводжується зниженням тиску. Це обумовлено двома основними факторами: втратами на тертя вздовж траси  $Q_{\Sigma mp}$  та втратами на місцевих опорах  $Q_{\Sigma м.о.}$  (фітинги, зміни напрямку):

$$Q_{\xi} = Q_{\Sigma mp} + Q_{\Sigma м.о.}$$

Пневмосистема сівалки має трубопроводи круглого перерізу, для яких величина витрат на тертя становитиме [20]:

$$Q_{\Sigma mp} = \lambda_{mp} \cdot \frac{l_{mp\delta}}{d_{mp\delta}} \cdot \frac{\Omega_{mp\delta}^2}{2 \cdot g}$$

де  $l_{mp\delta}$ ,  $d_{mp\delta}$  – параметри трубопроводів: відповідно їх довжина та діаметр;

$\lambda_{mp}$  – коефіцієнт, що використовується для кількісного визначення опору тертя, може бути виражений як функція числа Рейнольдса ( $Re$ ), відповідно до емпіричної формули Нікурадзе:

$$\lambda_{mp} = 0,032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237},$$

$$R_e = \frac{d_{mp\delta} \cdot \Omega_{mp\delta}}{\nu_n};$$

де  $\nu_n$  – кінематична в'язкість повітря;

$\Omega_{mp\delta}$  – швидкість потоку повітря, яке переміщується трубопроводами,  $\Omega_{mp\delta} = 11,8$  м/с [20];

- ресивер та повітропроводи  $\varnothing 75$  мм:

$$R_e = \frac{0,75 \cdot 11,8}{14,4 \cdot 10^{-4}} = 6,15 \cdot 10^3;$$

- повітропроводи  $\varnothing 32$  мм, які йдуть до висівних апаратів:

$$R_e = \frac{0,32 \cdot 11,8}{14,4 \cdot 10^{-4}} = 2,62 \cdot 10^3.$$

Зважаючи на це, можемо встановити величину втрат тиску, які приходяться на подолання тертя в пневмосистемі:

- ресивер  $\varnothing 75$  мм, довжина якого 2,0 м:

$$Q_{mp\text{pc}} = 0,05 \cdot \frac{2,0}{0,075} \cdot \frac{11,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,0 = 18,92 \text{ кг/м}^2;$$

- повітропровід  $\varnothing 75$  мм, довжина якого 0,9 м:

$$Q_{mp\varnothing 75} = 0,051 \cdot \frac{0,9}{0,075} \cdot \frac{11,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 2,0 = 8,68 \text{ кг/м}^2;$$

- повітропровід  $\varnothing 32$  мм, довжина якого 0,7 м:

$$Q_{mp\varnothing 32} = 0,055 \cdot \frac{0,70}{0,032} \cdot \frac{11,8^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 8 = 68,3 \text{ кг/м}^2.$$

Величина сумарних втрат тиску, які необхідні для подолання тертя повітропроводів:

$$Q_{\Sigma mp} = 18,92 + 8,68 + 68,3 = 95,9 \text{ кг/м}^2 = 959 \text{ Па} \approx 0,96 \text{ кПа}.$$

Величина втрат тиску, які припадають на подолання місцевих опорів:

$$Q_{\Sigma м.о.} = \sigma \frac{\rho_g \cdot \Omega_{mpб}^2}{2 \cdot g},$$

де  $\sigma$  – коефіцієнт, який є характерним для місцевого опору.

У пневматичній системі сівалки найбільш типовими місцевими опорами є раптові зміни перерізу (розширення та звуження) повітропроводів, а також їхні згини.

Зокрема, раптове розширення повітряного каналу ми спостерігаємо в точці під'єднання вакуумних камер висівних апаратів до центрального ресивера. На цьому етапі необхідно обчислити коефіцієнт місцевого опору для цього специфічного з'єднання:

$$\sigma_{p_1} = \tau_0 \cdot \left( \frac{S_{\emptyset 32}^2}{S_{pec}^2} + 1 \right),$$

де  $\tau_0$  – коефіцієнт, який застосовується для опису кінетичної енергії потоку в меншому перерізі труби (або каналу), приймається рівним 1,034.

$S_{\emptyset 32}$  і  $S_{pec}$  – відповідно величина площ перетину повітропроводів вакуумкамер та ресивера:

$$S_{pec} = \frac{\pi \cdot D_{pec}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,075^2}{4} = 44,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$S_{\emptyset 32} = \frac{\pi \cdot d_{\emptyset 32}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} = 8,04 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$\sigma_{P_1} = 1,034 \cdot \left( \frac{8,04^2}{44,2^2} + 1 \right) = 1,07,$$

$$Q_{1.м.о} = 1,07 \cdot \frac{1,22 \cdot 11,8^2}{2 \cdot 9,8} \cdot 8 = 74,2 \text{ кг/м}^2.$$

Місцевий опір, що виникає внаслідок згину (або повороту) повітропроводу, дорівнює:

$$\sigma_{з2} = \chi_{з2} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3$$

де  $\chi_{з2} = 0,74$  – емпірична величина пропорційності;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – коефіцієнти, які деталізують характеристики повороту повітропроводу і залежать від низки геометричних показників: відносного радіусу заокруглення  $R/D$ , кута повороту коліна ( $\alpha$ ) та форми його перерізу.

Відповідно до довідникової інформації, за співвідношення  $R/D=3$ ;  $\sigma_1 = 0,13$ ; за значення  $\alpha = 45^\circ$  –  $\sigma_2 = 0,58$ , і враховуючи круглий переріз  $\sigma_3 = 1,0$ .

Загалом

$$\sigma_{з2} = 0,74 \cdot 0,13 \cdot 0,58 \cdot 1,0 = 0,056;$$

$$Q_{2.м.о} = 0,056 \cdot \frac{1,22 \cdot 11,8^2}{2 \cdot 9,8} \cdot 8 = 3,9 \text{ кг/м}^2.$$

Сумарне значення втрат тиску відносно місцевих опорів:

$$Q_{\Sigma.м.о.} = Q_{1.м.о} + Q_{2.м.о} = 74,2 + 3,9 = 78,1 \text{ кг/м}^2 = 0,78 \text{ кПа}.$$

Відповідна загальна втрата тиску, яка характеризує пневмосистему сівалки:

$$Q_{\xi} = 0,96 + 0,78 = 1,74 \text{ кПа}.$$

З метою гарантування ефективного висіву сої, вентилятор повинен підтримувати загальне розрідження, що покриває всі втрати тиску. Ця мінімальна робоча величина має дорівнювати:

$$\Sigma Q = H_i + Q_{\xi} = 1,469 + 1,74 = 3,2 \text{ кПа}.$$

#### 4.2. Доцільність розробок

Робота пневмомеханічних дозуючих систем зі стандартними круглими отворами часто ускладнюється явищем скидання захопленої насінини. При русі в забірній камері насінина контактує з основною масою, і внутрішнє тертя може призводити до її відділення від отвору, викликаючи пропуски під час сівби.

Для гарантованого утримання насінини в отворі вдосконалено конструкцію: введено додатковий диск з периферійними напівкруглими отворами, який створює необхідний додатковий підпір.

На основі виконаних експериментальних випробувань та інженерних розрахунків було визначено раціональні експлуатаційні параметри та режими роботи модернізованого апарата. Запропоноване конструктивне рішення забезпечує можливість роботи на вищих робочих швидкостях, що прямо веде до збільшення продуктивності посіву. Раціоналізація параметрів системи також сприяє скороченню часу на налагодження та ТО, а також мінімізує ймовірність виникнення пошкоджень елементів.

Таблиця 4.1 – Порівняння техніко-економічних характеристик серійної та модернізованої сівалок.

№ з/п	Показник	Од. вим.	Вид сівалки	
			Серійна	Модернізована
1	Прогнозна ціна (опт)	грн.	368000	
2	Собівартість виробництва	грн.	289140	
3	Маса конструктивна	кг.	1273	1252
4	Максимальна величина робочої ширини захвату	м.	5,6	
5	Максимальна величина робочої швидкості	км/год	7,6	9,2

№ з/п	Показник	Од. вим.	Вид сівалки	
			Серійна	Модернізована
6	Значення коефіцієнтів використання часу зміни:			
	- робочого		0,75	0,80
	- експлуатаційного		0,71	0,75

### Висновки за розділом

Проведені комплексні розрахунки дозволили встановити раціональні експлуатаційні параметри та оптимальні режими роботи вдосконаленого висівного апарата. Впроваджене конструктивне рішення забезпечує можливість роботи на значно вищих робочих швидкостях, що є прямим фактором підвищення загальної продуктивності посівних робіт.

Відповідно до регламентованих методик [24, 25], виконані інженерно-економічні розрахунки засвідчили високий рівень ефективності розроблених рішень. Таким чином, існує обґрунтована можливість рекомендувати впровадження запропонованих удосконалень у промислову експлуатацію.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Експлуатація посівного агрегату – це процес, пов'язаний із потенційними ризиками для життя та здоров'я працівників. Зведення цих ризиків до мінімуму вимагає комплексного підходу, що включає як конструктивні заходи безпеки, так і суворе дотримання правил експлуатації.

Під час роботи з посівним агрегатом можуть виникати різноманітні нещасні випадки. Розуміння їхніх причин є ключем до розробки ефективних запобіжних заходів. Серед найбільш поширених небезпек варто виділити:

- наїзд – можливість наїзду транспортних засобів, енергетичного засобу чи самого агрегату на працівників, які проводять його обслуговування або експлуатацію;

- захоплення рухомими частинами – потрапляння сторонніх об'єктів, включно зі спецодягом або частинами тіла механізатора чи допоміжних робітників, до механізмів сівалки чи трактора, які рухаються та обертаються;

- травми гідравлічною рідиною – потрапляння мастильних матеріалів з гідравлічної системи (під тиском) в обличчя механізатора під час приєднання/роз'єднання машини до трактора або внаслідок несправності гідросистеми;

- контактні травми – ушкодження частин тіла працівників через гострі кромки деталей конструкції машинно-тракторного агрегату;

- термічні та хімічні опіки – опіки, спричинені загорянням паливно-мастильних матеріалів або внаслідок контакту з високотемпературними деталями двигуна трактора;

- травмування допоміжних робітників – нещасні випадки, що виникають під час приєднання сівалки, заправки агрегату насінням і добривами, або під час руху агрегату в полі;

- перевертання агрегату – недотримання умов поздовжньої стійкості при роботі на схилах, що може призвести до перевертання агрегату;

- зіткнення – можливе зіткнення з іншими транспортними засобами чи агрегатами при переміщенні дорогами загального призначення;

- несправності навісного механізму – можливі неполадки начіпного механізму трактора чи сівалки, що можуть спричинити аварійну ситуацію.

Запобігти виникненню вищезазначених нещасних випадків та аварій можливо завдяки впровадженню комплексу заходів, які стосуються як конструкції та оснащення агрегату, так і безпечних правил експлуатації.

#### 1. Конструктивні та технічні запобіжники:

- доступність і зручність обслуговування – конструкція вузлів і механізмів повинна забезпечувати їхнє зручне для доступу розташування для безпечного обслуговування, монтажу та ремонту;

- захисні кожухи та огороження – усі частини та механізми агрегату, які рухаються та обертаються, повинні бути обладнані закритими захисними кожухами, що відповідають державним стандартам безпеки. Ці кожухи слід позначати контрастними кольорами відносно основного кольору машини;

- запобіжні механізми передач – механізми передач необхідно оснащувати запобіжними механізмами (наприклад, муфтами тертя, обгінними муфтами або муфтами зі зрізними штифтами). Вони повинні спрацьовувати при перевищенні допустимого навантаження та автоматично відмикати привід від двигуна;

- безпека гідросистеми – гідросистему слід оснастити механізмами, які виключають можливість самовільного опускання агрегатованої машини;

- інструменти для очищення – для очищення механізмів і робочих органів агрегату обов'язково мають використовуватися спеціальні чистики, що входять у комплект постачання;

- швидке налагодження – конструкція сівалки має передбачати можливість швидкого переналагодження чи обслуговування без застосування додаткових інструментів;

- система контролю висіву – сівалка повинна мати можливість встановлення системи контролю висіву, що забезпечує автоматизований моніторинг процесу. Це зменшує необхідність залучення додаткових працівників та відволікання уваги механізатора.

#### 2. Вимоги до експлуатації та інформування:

- огляд і доступність робочого місця – приєднана до трактора сівалка не повинна перешкоджати доступу механізатора до робочого місця, забезпечувати повноцінний візуальний контроль технологічної операції та вільний доступ до вузлів для обслуговування;

- попереджувальні знаки – на видному місці сівалки має бути розміщена інформація, яка попереджає про неможливість її транспортування у піднятому стані з завантаженими бункерами.

Дотримання цих заходів безпеки є обов'язковою умовою для забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації посівного агрегату та мінімізації ризиків нещасних випадків.

## 6. ВИСНОВКИ

Метою даної роботи було підвищення ефективності вирощування сої через поліпшення агротехнологічних прийомів посіву шляхом удосконалення та наукове обґрунтування конструкції пневмомеханічного висівного апарата сівалки точного висіву.

Проведено аналіз агротехнологічних особливостей вирощування сої та критичний огляд сучасних систем точного висіву, що підтвердив залежність якості роботи пневмомеханічних висівних апаратів від конструктивних параметрів дозуючих отворів. Як об'єкт дослідження обрано пневмомеханічний висівний апарат вітчизняного виробництва типу УПС ( на прикладі сівалки «Весна-8» та її модифікації), що широко застосовується у виробництві.

Для підвищення ефективності роботи висівної системи було запропоновано інноваційне конструктивне рішення, що передбачає встановлення додаткового диска з концентрично розташованими напівотворами та фаскою за напрямком руху основного диска. Це сприяє додатковому спрямуванню насінин до отворів основного дозуючого диска, тим самим забезпечуючи стабільніше захоплення насінин та зменшуючи кількість пропусків.

Для верифікації гіпотези та встановлення оптимальних робочих режимів проведено комплексні експериментальні дослідження за методикою планування повнофакторного експерименту. За результатами дослідів визначено раціональні параметри висівного апарата, що забезпечують оптимальну стабільність присмокування насіння сої:

оберти висівного диска – 32...36 об/хв (лінійна швидкість 0,28...0,38 м/с);

рівень розрідження – 1,2...1,6 кПа;

діаметр дозуючих отворів – 2,8...3,0 мм.

На основі отриманих експериментальних даних проведено інженерне обґрунтування, що дозволило встановити раціональні експлуатаційні параметри та режими роботи вдосконаленого висівного апарата. Впроваджене конструктивне

рішення забезпечує можливість роботи на значно вищих робочих швидкостях, що є прямим фактором підвищення загальної продуктивності посівних робіт.

Виконані інженерно-економічні розрахунки підтвердили високий рівень ефективності розроблених рішень. Таким чином, обґрунтовано можливість рекомендувати впровадження запропонованих удосконалень у промислову експлуатацію.

З метою забезпечення безпечної експлуатації посівного агрегату проаналізовано найбільш поширені нещасні випадки та причини, що їх спричиняють. Запропоновано комплекс конструктивних та експлуатаційних заходів (оснащення запобіжниками, захисними механізмами, правила експлуатації) для мінімізації ризиків травматизму.

## Список використаної літератури

1. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / [уклад. : Д. І. Петренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. сільськогосподарського машинобуд. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 47 с.
2. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології : підручник. Ч. 1. Рослинництво / С. М. Каленська [та ін.]. К. : Прінтеко, 2023. 611 с.
3. Соя (*Glycine max* (L.) Merr.) / В. В. Кириченко, С. С. Рябуха, Л. Н. Кобизєва, О. О. Посилаєва, П. В. Чернишенко : монографія / НААН, Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва . – Х., 2016. – 400 с. URL: <https://yuriev.com.ua/assets/files/knigi/soya-monografiya-7.pdf>.
4. Заболотний Г.М., Мазур В.А., Циганська О.І., Дідур І. М., Циганський В.І., Панцирева Г.В. Агробіологічні основи вирощування сої та шляхи максимальної реалізації її продуктивності. Монографія. ТОВ «ТВОРИ». 2020. 276 с. URL: <http://socrates.vsau.org/repository/getfile.php/27706.pdf>.
5. Шепілова, Т. П., Петренко, Д. І., Лещенко, С. М., Васильковська, К. В., & Ковальов, М. М. (2023). Науково обґрунтована оптимізація агротехніки вирощування сої. *Scientific Progress & Innovations*, 26(2), 56-59. URL: <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.02.10>.
6. Shepilova T., Mostipan M., Petrenko D., Vasytkovska K. (2020) The influence of sowing time and micro-fertilizers on soybean productivity in the northern steppe of Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26(4). 787-792. URL: <https://www.agrojournal.org/26/04-12.pdf>.
7. Соя. Каталог продукції Інституту сільського господарства Степу НААН. URL: <https://isgs-naan.com.ua/soy>.
8. Машини для сівби, садіння та догляду за посівами : навч. посіб. / В. Сало, С. Лещенко, П. Лузан, Л. Сало. Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.

9. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В.В. Адамчука, М.І. Грицишина. Київ : Аграрна наука, 2012. 416 с.

10. Амосов В.В. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата для просапних культур. Дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: 05.05.11 / КНТУ. – Кіровоград, 2007. – 131 с.

11. Васильковська К.В. Системний аналіз конструкцій пневмомеханічних висівних апаратів для точного висіву насіння просапних культур. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. № 48. Кропивницький: ЦНТУ. 2018. С. 22-35.

12. K.V. Vasytkovska, O.M. Vasytkovskyi, M.O. Sviren, G.A Kulik. Analysis of the works performed by pneumatic and mechanical seeding device without using vacuum // INMATEH - Agricultural Engineering – Romania, Bucharest: INMA. Vol. 56, No.3. 2018, 25-30. URL: <http://oaji.net/articles/2019/1672-1546466127.pdf>

13. Vasytkovska K., Vasytkovskyi O., Leshchenko S., Sviren M., Moroz M. Identification of parameters of pneumatic and mechanical seeding device under the influence of vacuum // Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2020 25(5). 2020, 1091-1094. URL: <https://www.agrojournal.org/26/05-25.html>.

14. Черновол М. І., Свірень М.О., Амосов В.В. Моделювання процесу однозернового дозування вакуумним пневмомеханічним висівним апаратом. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2021. Вип. 51. С. 117-125. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11901>.

15. Artemenko D., Onopa V. Experimental researches of a precision seed drills coulter equipped with a disk seedbed former. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / ЦНТУ, Вип. 49, 2019 – С. 10-18.

16. Сисоліна І., Осипов І., Кісільов Р. Агротехнічні дослідження висівних апаратів. Scientific Collection «InterConf», (36): with the Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference «Challenges in Science of

Nowadays» (November 26-28, 2020) in Washington, USA: EnDeavours Publisher, 2020. P. 1300-1302.

17. Підручник дослідника : навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. М. Васильковський, С. М. Лещенко, К. В. Васильковська, Д. І. Петренко. Кіровоград : Мачулін, 2016. 204 с.

18. Васильковський О., Лещенко С., Васильковська К., Петренко Д. Основи наукових досліджень. Перші наукові кроки. : навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. Харків : Мачулін, 2019. 164 с.

19. Самсонов В.В., Сільвестров А.М., Тачиніна О.М. Методологія наукових досліджень та приклади її використання : навч. посібник. Київ : НУХТ, 2022. 385 с.

20. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. Харків: Око, 2006. 407 с.

21. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

22. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: [https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online\\_version/ECO\\_SX/files/assets/basic-html/toc.html](https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html).

23. Войналович О. В. Охорона праці у сільському господарстві: навч. підруч. Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 690 с.

24. Ільчук М.М., Зрібняк Л.Я., Мельник С.І. Організація і планування сільськогосподарського виробництва: Підручник - К.: Вища освіта, 2013. – 535 с.

25. Нелеп В. М. Планування на аграрному підприємстві: Підручник. – 2-ге вид., перероб. та доп. — К.: КНЕУ, 2004. — 495 с.

# ДОДАТКИ

## Умови проведення і результати дослідів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове значення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодові		
				верхні	нульові	нижні	верхні	нульові	нижні
Частота обертання диска, об/хв	$X_1$	$x_1$	6	38	32	26	+1	0	-1
Розрідження у вакуумній камері, кПа	$X_2$	$x_2$	1	2,5	1,5	0,5	+1	0	-1
Діаметр отвору висівного диску, мм	$X_3$	$x_3$	0.5	3,5	3,0	2,5	+1	0	-1

План-матриця ПФЕ  $2^3$ 

Номер досліджу	Значення кодівих факторів			Взаємодія кодівих факторів			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$
1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

## Результати проведення експериментальних дослідів

Рандомізація	Точка плану і номер дослід у	Значення кодових факторів			Вихідний параметр $Y_1$ , $z$			Середньо-арифметичне значення $\bar{Y}_p$ , $z$
					Повторюваність			
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	I, $Y_{p1}$	II, $Y_{p2}$	III, $Y_{p3}$	
5	1	-1	-1	-1	223	222	228	224
2	2	+1	-1	-1	187	189	185	187
7	3	-1	+1	-1	313	318	310	314
1	4	+1	+1	-1	248	254	252	251
4	5	-1	-1	+1	238	245	239	241
6	6	+1	-1	+1	204	202	197	201
8	7	-1	+1	+1	355	357	362	358
3	8	+1	+1	+1	278	282	280	280