

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи  
освітнього ступеня “Магістр”

на тему:

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО  
ВИСІВНОГО АПАРАТА**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-2-22  
за спеціальністю 208 “Агроінженерія”

\_\_\_\_\_ Денис МАТВІЄНКО

Керівник \_\_\_\_\_ Наталія ПОНОМАРЕНКО

Рецензент \_\_\_\_\_

(підпис, прізвище та ініціали)

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Матвієнко Денис Олександрович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

керівник роботи \_\_\_\_\_ Пономаренко Наталія Олександрівна, к.т.н., доцент

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«09» листопада 2023 року № 3422

**2. Строк подання студентом роботи** 22.11.2023 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин для сівби. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Особливості сучасного стану сівби зернових культур. 2. Теоретичні дослідження роботи пневматичного висівного апарата. 3. Програма і методи експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень розроблених струминних елементів і висівних систем. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Економічна ефективність впровадження сівалки у виробництво. Загальні висновки. Список використаної літератури.

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1.2. Мета роботи, об'єкт, предмет дослідження. 3. Аналіз технічних засобів для реалізації диференційованого висіву зернових культур. 4. Теоретичні дослідження роботи пневматичного висівного апарата 5. Дослідження показників робочого процесу пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки. 6. Структурна послідовність методології досліджень 7. Загальний вигляд запропонованого універсального висівного апарату. 8. Теоретичне обґрунтування технологічного процесу роботи. 9. Загальний вигляд запропонованого універсального висівного апарату. 10. Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
1	Пономаренко Н.О		
2	Пономаренко Н.О		
3	Пономаренко Н.О		
4	Пономаренко Н.О		
5			
6			
Нормокон троль			

7. Дата видачі завдання: 20.09.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

п/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітичний (оглядовий)	до 30.09.2023 р.	
	Теоретичний	до 10.10.2023 р.	
	Експериментальний	до 29.10.2023 р.	
	Охорона праці	до 15.11.2023 р.	
	Економічний	до 22.11.2023 р.	
	Демонстраційна частина	до 29.11.2023 р.	

Студент

( підпис )

Денис МАТВІЄНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

Наталія ПОНОМАРЕНКО

(прізвище та ініціали)



## Зміст

Вступ.....	8
1. Особливості сучасного стану сівби зернових культур.....	10
1.1. Обґрунтування підходу до аналізу проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок.....	10
1.2. Аналіз показників якості висівних систем зернових сівалок та агробіологічна оцінка їх роботи.....	12
1.3. Продуктивність посівних агрегатів в проблемі підвищення ефективності їх функціонування.....	14
1.4. Аналіз технічних засобів для реалізації диференційованого висіву зернових культур.....	18
1.5. Недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації зернових сівалок до диференційованого висіву в технологіях точного землеробства	29
1.6. Висновки до розділу.....	30
2. Теоретичні дослідження роботи пневматичного висівного апарата.....	32
2.1. Функціонально-структурний аналіз систем автоматизації та управління нормою висіву.....	32
2.1.1. Структурний синтез мехатронного модуля управління висівом.....	32
2.1.2. Метод функціонально-структурної інтеграції систем регулювання норми	36
2.2. Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента.....	37
2.3. Дослідження показників робочого процесу пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки.....	40
2.3.1. Визначення діапазону норм висіву зернових культур висівним апаратом маятникового типу.....	40
2.3.2. Визначення енергетичних показників роботи висівного апарату.....	41
2.3.3. Визначення енергетичних показників роботи насіннепроводів.....	42
2.4. Висновки до розділу.....	46
3. Програма і методи експериментальних досліджень.....	48

3.1. Програма досліджень.....	48
3.1.1. Прилади, обладнання і матеріали для виконання завдань експериментальних досліджень.....	49
3.1.2. Методи проведення експериментальних досліджень та обробка бази експериментальних даних.....	50
3.2. Методика досліджень реологічних властивостей технологічних матеріалів.....	53
3.3. Методика стендових досліджень розроблених струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки.....	55
3.3.1. Дослідження запропонованих струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки на нерівномірність і нестійкість висіву.....	55
3.4. Висновки до розділу.....	60
4. Результати експериментальних досліджень розроблених струминних елементів і висівних систем.....	61
4.1. Результати визначення початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби.....	61
4.2. Результати імітаційного моделювання функціонування силового струминного елемента.....	62
4.3. Результати випробувань автоматизованої системи регулювання норми висіву.....	68
4.4. Висновки до розділу.....	70
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	71
5.1. Дослідження та оцінка стану з охорони праці в ПП «Ларіни».....	71
5.2. Аналіз показників виробничого травматизму та захворювань, причини їх виникнення в господарстві.....	74
5.3. Заходи по поліпшенню умов праці.....	76
6. Економічна ефективність впровадження сівалки у виробництво.....	80
Загальні висновки.....	86
Список використаної літератури.....	88

## Анотація

Оптимізація ефективності роботи пневматичного висівного апарата.

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 47 найменувань. Основна частина роботи викладена на 82 сторінках машинописного тексту, містить 32 рисунки і 4 таблиць.

Метою магістерської роботи є підвищення ефективності робочого процесу зернових сівалок шляхом застосування пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії.

У магістерській роботі описано вступ, проведено огляд і аналіз стану роботи зернових сівалок, виконані теоретичні дослідження ефективності висівних апаратів, розроблено пневматичний висівний апарат дискретної дії, а також проведені експериментальні дослідження та оптимізована ефективність роботи експериментального висівного апарата, представлені результати експериментальних досліджень пневматичного висівного апарата, розраховані техніко-економічні показники роботи пневматичного висівного апарата, узагальнені висновки і запропоновані рекомендації виробництву.

Ключові слова: висівний апарат, насіння, сівалка, сівба, розрідження, прискорення, ефективність, сила тяжіння, продуктивність.

## Вступ

В даний час сівба багатьох культур виконується за застарілими технологіями недосконалими посівними машинами. Монопольне становище займає посів зернових культур рядовими сівалками типу СЗ-3,6, хоча відомо, що вони є матеріале- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає більшості сучасних вимог, допускає до 10...30% перевитрат посівного матеріалу та його пошкодження. Недосконалість посівних машин призводить до зниження врожайності на 15...30%. Особливістю технічної політики в цьому напрямі має бути не тільки модернізація існуючих сівалок, але й створення машин нового покоління.

Темпи інноваційного розвитку сільського господарства на сьогодні недостатні, що є причиною зниження ефективності застосування передових технологій й негативно позначається на конкурентоспроможності продукції. Розробка нової, більш ефективної сільськогосподарської техніки стримується через повільні темпи створення і впровадження нових робочих органів, що мають задовольняти зростаючим вимогам за якісними та енергетичними показниками роботи.

Через те, що існуючі можливості підвищення ефективності застосування техніки практично вичерпані, то все більшого значення набуває подальше впровадження інтелектуальних і автоматизованих систем, роботизації, широке застосування електроніки та систем точного інформаційного землеробства. Значні витрати на розширення можливостей традиційних механічних систем вже себе не виправдовують, і при цьому, очевидне, істотне уповільнення темпів зростання основних характеристик, показників роботи і функціональних можливостей сільськогосподарської техніки.

У порівнянні із розвинутими аграрними країнами, вітчизняні сільськогосподарські виробники недостатньо використовують технічні та технологічні досягнення науки і передового досвіду, а заводи випускають морально застарілу техніку, розроблену 30...40 років тому. При цьому



вимушено застосовуються спрощені екстенсивні технології з використанням техніки третього, іноді четвертого, технологічних укладів, розраховані на використання природної родючості ґрунту, але по продуктивності в 10... 15 разів нижче, у порівнянні з передовими країнами світу. Техніка п'ятого технологічного укладу, що використовується в нових технологіях, повинна забезпечити прецизійне інформаційне управління процесами вирощування сільськогосподарських культур.

Щоб подолати об'єктивно виникаючі причини зниження ефективності машин, технологічних і виробничих процесів, необхідно створити умови для переходу на наступний етап технічного прогресу. Це можна забезпечити за рахунок подальшого удосконалення робочих процесів, зміни механіко-технологічних принципів впливу на об'єкти обробки, технологічних, конструктивно-компонувальних схем і параметрів машин. Тому створення наукових основ підвищення ефективності роботи зернових сівалок розробкою нових технічних рішень із застосуванням пневматичних висівних пристроїв дискретної дії є безумовно актуальним.

# **1. Особливості сучасного стану сівби зернових культур**

## **1.1. Обґрунтування підходу до аналізу проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок**

У загальному комплексі агротехнічних заходів важливе місце належить посіву. Цю технологічну операцію слід вважати основною і визначальною як з агрономічної, так і з техніко-економічної сторін [7].

Ефективність функціонування, зокрема зернових сівалок – головна вимога, якій повинна задовольняти будь-яка система. Оскільки сільськогосподарські машини працюють в умовах, обумовлених взаємодією процесів різного характеру, то їх дослідження і розробка потребують комплексного вирішення технічних, технологічних, біологічних і соціальних питань. Це обумовлює необхідність розгляду різних факторів і елементів як однієї системи. Тому основним методологічним підходом в даній роботі є системний підхід, що дозволить розробити і прийняти найбільш раціональні рішення, спрямовані на підвищення ефективності функціонування зернових сівалок. При цьому треба висунути відповідну концепцію розвитку системи, вибрати основні параметри системи та обґрунтувати напрями розвитку системи, згідно робіт [5, 32].

Виходячи із зазначеного, можна зробити висновок, що проблема підвищення ефективності роботи зернових сівалок є слабо структурованою, або змішаною, тобто містить в собі як кількісні, так і якісні оцінки. Для визначення та рішення таких проблем потрібні системні методи, зокрема системний аналіз, націлений на те, щоб слабо структуровану проблему перетворити на більш структуровану, або кількісно сформульовану, для рішення якої можна застосовувати як традиційні, так і нові наукові методи [46].

Одними із принципів системного підходу і аналізу є принципи оптимальності та системності. Відповідно до принципу оптимальності, у розвитку технічних систем мають справу з відбором. В ході технічного

освоєння наукових досягнень важливо обирати такі рішення, які є кращими і оптимальними за комплексом показників для заданих умов [46].

Тому оцінка ефективності роботи проводиться за показниками ефективності ознаками, на підставі яких здійснюється порівняльна оцінка можливих рішень, або за критеріями ефективності – кількісними моделями якісних цілей, згідно робіт [43, 46]. Вибір і формулювання показників та критеріїв ефективності – головне питання порівняльної оцінки рішень в дослідженнях і розробці машин. При цьому необхідне зіставлення різнорідних критеріїв і величин, а також розробка універсальних показників для оцінки [24].

В свою чергу, принцип системності передбачає підхід до нової техніки як до комплексного об'єкту, представленого сукупністю взаємопов'язаних функцій, реалізація яких забезпечує досягнення потрібного ефекту, в мінімальні терміни та при мінімальних витратах, з мінімальним збитком навколишньому середовищу.

Проблема оцінки ефективності вимагає цілісного охоплення системи. Вона може бути як формалізованою (математичною) так і евристичною (експертною) [44]. Експертна оцінка враховує думку і роботи дослідників у цій галузі.



Рисунок 1.1. Структурна схема основних чинників, що визначають ефективність роботи зернових сівалок.

При системному підході та аналізі в процесі формалізації функціонування системи визначається кінцеве число суттєвих властивостей, які визначають її специфіку. Тому структурна схема (рис. 1.1), яка характеризує показники ефективності роботи зернових сівалок  $E_{pc}$  на основі експертної оцінки, може виступати у вигляді комплексу показників, згідно робіт [41, 43]:

$$E_{pc} = f(x_1, x_2, x_3, x_i, \dots, x_n), \quad (1.1)$$

де  $x_i$  – критерії і показники ефективності.

Аналіз чинників на рис. 1.1 дає можливість визначити кількісний характер критеріїв, якими визначається комплекс показників ефективності (1.1).

## **1.2. Аналіз показників якості висівних систем зернових сівалок та агробіологічна оцінка їх роботи**

Якість операції сівби є основним чинником, що визначає рівень технологій виробництва продукції рослинництва. Саме від якості сівби залежить динаміка схожості рослин, так і активність їх зростання [7].

Проте в даний час сівба багатьох культур виконується за застарілими технологіями недосконалими посівними машинами. Монопольне становище займає висів зернових культур рядковими сівалками типу СЗ-3,6, хоча відомо, що ці посівні машини є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає багатьом сучасним вимогам, допускає до 10...30% перевитрати насіння та його пошкодження [26]. До того ж зернотукові сівалки типу СЗ-3,6 значно застаріли.

Одним з перспективних типів машин для посіву зернових культур на сьогодні є сівалки з ПЦВС. Поряд з високою продуктивністю посівних агрегатів з машинами цього типу і значним потенціалом їх подальшого технічного удосконалення, існує і ряд недоліків. З найбільш істотних є підвищена нерівномірність розподілу насіння по сошникам (4...9% при вертикальному положенні трубопроводу і 12...18% – при його нахилі до  $15^\circ$ ), а також підвищений ступінь пошкодження насіння внаслідок неодноразових

зіткнень при русі по трубопроводу з штучними нерівностями і лобовою зустрічі з поверхнею ділильної головки, в умовах швидкісного режиму руху насіння по пневмотрактах, збільшеного у порівнянні з механічними сівалками з 1,6 до 25 м/с, а в деяких випадках і до 70 м/с. Аналіз наявних технічних і технологічних рішень, спрямованих на поліпшення якісних показників висіву, показує, що ряд з них дозволяє в деякій мірі підвищити поперечну рівномірність висіву, однак при цьому можуть виникати негативні моменти, пов'язані, наприклад, з травмуванням насіння, надмірним ускладненням конструкції розподільників, підвищенням опору висівної системи. Таким чином, встановлено, що недосконалість посівних машин призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур на 15...30% [3].

Вітчизняна посівна техніка потребує вдосконалення і принципово нових рішень. Так, згідно роботи [16], в Україні висівається в середньому в три рази більше насіння на гектар у порівнянні з країнами з більш високою культурою землеробства. Підвищені норми висіву є платою за низьку якість насіння, незадовільну підготовку ґрунту і технічну недосконалість машин. Тільки з цих причин щорічно додатково витрачається майже 1,5 млн. тонн насіння.

У той же час в роботах [9, 10] вказуються біологічні особливості зернових, що визначають агротехнічні вимоги до їх посіву.

Практика показує, що для зернових колосових культур можна не досягати занадто рівномірного висіву насіння, тому що біологічно вони після проростання кущаться, причому рідкі посіви – більшою мірою, густі – у меншій. Тому на відносно нерівномірних посівах після фази кущіння густина стояння рослин нівелюється. Однак це не означає, що не слід суворо дотримуватися норму висіву, оскільки загушення посівів все ж призводить до зниження врожайності зернових культур [29].

Згідно робіт [10, 30], існуючі допуски на рівномірність висіву були введені без відповідного агротехнічного обґрунтування і перевірки можливості отримання на серійних зразках машин. Виявилось, що забезпечити на практиці необхідні показники навіть при значному ускладненні конструкцій сівалок

досить важко. При цьому встановлено, що для агротехнічних вимог цілком прийнятний показник нерівномірності висіву між апаратами в межах 6...12%. Широко поширені висівні апарати і системи вивчені порівняно добре і, головне, встановлено, що всі вони дають приблизно однакову рівномірність розподілу насіння [30].

Разом з тим при дослідженні і розробці нових висівних апаратів і систем зернових сівалок необхідно забезпечити відповідність агротехнічним вимогам значень показників якості висіву – коефіцієнтів середньої нерівномірності  $H, \%$  між окремими апаратами та нестійкості  $H_s, \%$  висіву окремими апаратами, а також коефіцієнта варіації поздовжнього розподілу насіння  $V, \%$ , які є складовими комплексу показників (1.1).

При цьому необхідно покращувати значення даних показників, зокрема за рахунок усунення пульсації потоків насіння, обумовлених нерівномірністю їх дозування і переміщення в насіннепроводах [7].

### **1.3. Продуктивність посівних агрегатів в проблемі підвищення ефективності їх функціонування**

Прийнято вважати, що найбільш точним і об'єктивним показником, що характеризує рівень розвитку СГТ, є його годинна продуктивність [34].

Згідно роботи [25], тенденції розвитку СГТ показують, що в принциповій основі більшість машин протягом 15...20 років практично не змінюються. З 1985 року фахівці не прогнозували істотного приросту робочих швидкостей МТА, в тому числі і посівних, незважаючи на те, що зростання робочих швидкостей дає можливість використовувати активний запас потужності, а не пасивний резерв техніки, підвищувати продуктивність і зменшити експлуатаційні витрати.

Вважалося, що резерви збільшення продуктивності МТА традиційних типів тільки в результаті підвищення робочих швидкостей практично вичерпані, оскільки за межами визначених значень швидкостей порушується

якість виконання технологічних процесів [19]. В результаті мало місце випереджаюче зростання енергонасиченості тракторів, в результаті чого знижувалась ефективність використання їх потужності через відставання ефективних значень робочих швидкостей сільськогосподарських машин. Це необхідно було компенсувати шляхом завантаження трактора по тяговому зусиллю [17]. Тому найбільш вірогідним резервом підвищення продуктивності на майбутні 20...25 років приймалося збільшення ширини захвату [15]. У зв'язку із збільшенням енергонасиченості тракторів все більше поширення отримували широкозахватні сівалки, що виконуються як у вигляді секційних агрегатів, так і окремих машин [28].

В даний час можливі аналіз і оцінка наслідків застосування протягом довгого часу такого екстенсивного способу підвищення продуктивності як збільшення ширини захвату посівних машин. Встановлено, що довільне збільшення розмірів зернових сівалок призводить до значного збільшення їх маси, зниження паливної економічності, трудомісткості обслуговування, нестійкого режиму роботи і лише ненабагато підвищує продуктивність праці. Із збільшенням ширини захвату також погіршується копіювання нерівностей ґрунту сошниками посівних машин.

Відомо, що ефективність широкозахватної машини визначається зростанням продуктивності, яка повинна випереджати збільшення її маси. Наприклад, продуктивність 12-рядної сівалки на 21,9...36,6% вище, ніж продуктивність 8-рядної сівалки, однак таке зростання продуктивності забезпечується непропорційним збільшенням маси машини. Підвищення продуктивності сівалки тільки за рахунок збільшення ширини захвату не може забезпечити ефективність машини. Для цього необхідно пропорційно знижувати енерговитрати і матеріаломісткість [4]. Тому для забезпечення ефективності, зростання продуктивності машини повинно випереджати збільшення її маси, а, отже, і вартості машини. Маса і ціна сівалки пов'язані з шириною захвату параболічною залежністю, в той час як продуктивність – лінійною.

Наближається до граничних значень ширина захвату машин внаслідок збільшення різниці між показниками їх чистої і експлуатаційної продуктивності і одночасного переущільнення ґрунту через збільшення маси машин, підвищеного ступеня буксування тракторів, складності стикування суміжних проходів агрегату, труднощів при копіювання рельєфу ґрунту. Деякі резерви підвищення продуктивності і поліпшення якості роботи традиційної сільгосптехніки можуть бути реалізовані за допомогою автоматизації, проте цей шлях при збереженні традиційних технологій і технічних засобів вимагає розробки складних і дорогих автоматичних систем, що знижує рентабельність їх застосування.

Не можна забувати і ті важливі обставини, що техніка АПК працює 20...30 днів в році, а решту часу простоює на консервації. При підвищенні продуктивності машин має місце парадоксальне явище: чим продуктивніше машина, тим більше «заморожується» праці і коштів.

Відомо, що відрахування від балансової вартості машин збільшують собівартість продукції. Це означає, що у розвитку технічних засобів переважає екстенсивний фактор. В результаті виникає несприятлива тенденція зниження віддачі виробничих фондів.

Оскільки збільшена ширина захвату вимагає підвищення потужності трактора, встановлено, що з її збільшенням понад певної межі непропорційно зростають виробничі витрати, перевищуючи в 1,5...2 рази витрати для звичайних тракторів.

Однак підвищення робочих швидкостей також вимагає створення енергонасичених тракторів, у яких максимум тягового ККД зміщений у бік високих швидкостей.

Звідси випливає необхідність зниження енерговитрат у робочому процесі машин і знарядь при роботі з звичайними тракторами. Тому потрібні рішення, що забезпечують додаткове зростання продуктивності і зниження вартості робіт, пошуки принципово нових конструкцій робочих органів для усунення або мінімізації наявних негативних тенденцій.



В даний час для нових зернових сівалок, що випускаються європейськими виробниками, характерним є збільшення продуктивності за рахунок підвищення робочої швидкості руху (при збереженні високої якості роботи), у той час як американські конструктори, удосконалюючи широкозахватні посівні комплекси, все більше уваги приділяють підвищенню якості загортання насіння.

Як відомо, середньостатистична швидкість посіву в Україні становить близько 7...8 км/год. Однак деякі сівалки зарубіжних виробників, таких як Amazone або John Deere, можуть сіяти зі швидкістю 14 км/год і швидше, не втрачаючи якості посіву. Це дозволяє скоротити агротехнічні строки виконання польових робіт, зменшити втрати вологи шляхом скорочення міжопераційних проміжків часу, економити ПММ і менш ущільнювати ґрунт.

Вдосконалення висівних апаратів і сошникової групи дозволяє підвищити робочі швидкості зернових сівалок до 15 км/год, Однак стан полів у період посіву не тільки обмежує можливість підвищення швидкостей, але і не дозволяє стабільно використовувати можливості створених посівних машин. Тому зберігається стійка тенденція підвищення продуктивності за рахунок збільшення ширини захвату.

Таким чином, поряд з аналізом питань, пов'язаних з продуктивністю зернових сівалок, необхідне кількісне дослідження значень показників динаміки продуктивності  $W$ , ширини захвату  $B$  і швидкості руху  $v$ , які складають комплекс показників (1.1).

З іншої сторони, необхідно відзначити, що показник максимальної продуктивності зайняв домінуючу роль в оцінці ефективності техніки. Між тим одностороння орієнтація на досягнення максимальної продуктивності призводить до недооцінки цілого ряду інших показників. Важливим є не тільки одержання максимального обсягу продукції, але і підвищення його якості, забезпечення безпеки відносно забруднення і руйнування природного середовища, зниження витрат енергії [28]. Тому при дослідженні ефективності техніки і технологій необхідно враховувати зазначені та інші фактори. Це дозволить всебічно оцінити ефективність та перспективність технічних рішень.

#### **1.4. Аналіз технічних засобів для реалізації диференційованого висіву зернових культур**

Сучасна посівна техніка значно відрізняється від своїх історичних попередників можливістю зміни норм висіву диференційовано і «на ходу», у відповідності з умовами функціонування. Це і є один з напрямків вдосконалення посівних машин [28].

Світовий ринок вже пропонує значний вибір програмно-апаратних засобів реалізації технологій СТІЗ, які базуються на досягненнях сільгоспмашинобудування та електроніки [26]. У світі вироблені певні схеми таких засобів, наприклад, Amazone (Німеччина), Rawson, Мікго-Трак System, Bourgault (США) та інші. Загальним для них є те, що опорне колесо сівалки втрачає функції механічного приводу висівних апаратів і приймає функцію одометричного датчика – пристрою контролю кінематичних і технологічних параметрів роботи посівного агрегату.

Розглянемо існуючі і розроблювані варіанти машинної реалізації диференціювання норми висіву зернових культур.

Механічні висівні апарати і системи з реалізацією диференціювання норми висіву зернових культур. У висівній системі з котушковим апаратом (рис. 1.2) при диференційованому висіві процесор, у відповідності із закладеним програмним забезпеченням обробляє управляючий сигнал, який передається на виконавчий пристрій 2, що представляє собою електричний мотор-редуктор. В цьому разі опорне колесо посівної машини виконує функції генератора імпульсів швидкості переміщення посівної машини і пройденого шляху, згідно.

Одним із способів реалізації схеми, відображеної на рис. 1.2, є пристрій для посіву зі змінною нормою, який включає в себе висівну котушку, встановлену на висівному валу з механізмом його переміщення за допомогою гвинтової передачі.

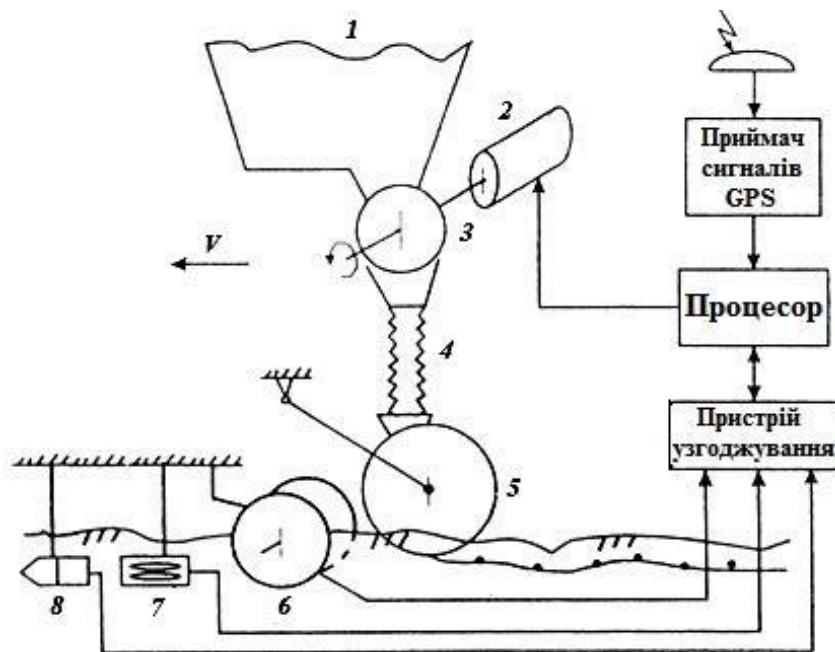


Рисунок 1.2. Схема диференційованого висіву на основі потокового регулювання котушкових висівних апаратів:

1 – ємність для матеріалів; 2 – виконавчий пристрій; 3 – висівний апарат; 4 – насіннєпровід; 5 – сошник; 6, 7, 8 – датчики фізико-технологічного стану ділянки поля.

Для зміни норми висіву, залежно від зовнішніх умов, пристрій обладнано надвисокочастотним вологоміром, блоком автоматичної установки норми висіву і електрично пов'язаних з його входом датчиком довжини робочої частини висівної котушки, а механізм переміщення висівного валу оснащений проміжним валом з кулачковою муфтою, другою гвинтовою передачею та реверсивним електродвигуном. Запропонована схема дозволяє виконати диференціальний висів котушково-штифтовим висівним апаратом при виконанні технологічної операції для забезпечення оптимальної площі живлення рослин з урахуванням просторової неоднорідності ґрунтового покриву.

Розробка системи автоматизованого управління (САУ), змінними нормами висіву зернових культур на базі сівалки СЗ-3,6 (рис. 1.3), при сівбі по технології точного землеробства, розглядається в роботах [2, 3].

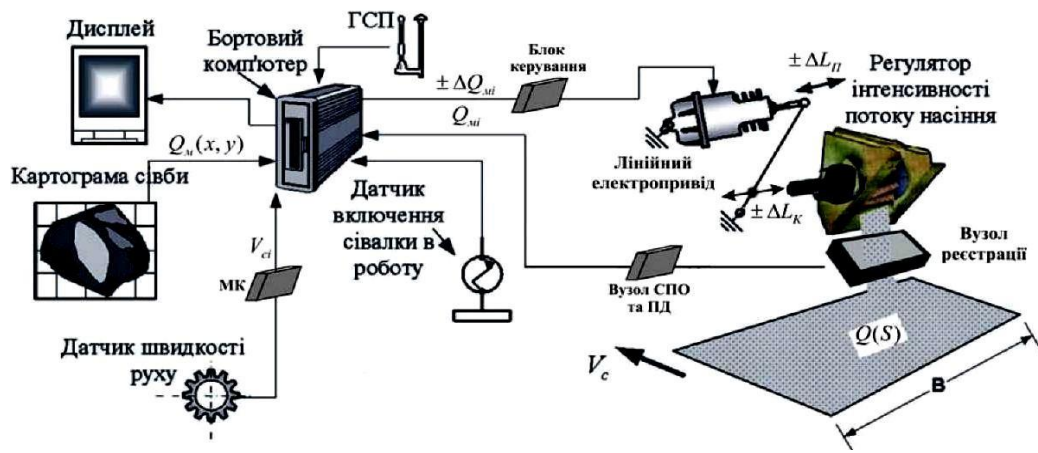


Рисунок 1.3. Загальна структура САУ процесом висіву при точному землеробстві на базі сівалки СЗ-3,6.

Апаратна частина САУ включає: бортовий комп'ютер з дисплеєм; ГСП-приймач; технологічну карту-завдання змінних норм висіву на електронному носії (картограму посіву); датчик швидкості руху сівалки; датчик включення сівалки в роботу; систему комп'ютерної ідентифікації зернового потоку, лінійний електропривод з блоком управління і важелем подачі валу висівних апаратів сівалки. Функції блоку обробки вхідних даних і формування поточних значень щільності розподілу насіння передаються на бортовий комп'ютер. В цілому, описаний комплекс являє собою замкнуту динамічну САУ.

Згідно роботи [3], на рис. 1.4 представлено схему обладнання для управління нормою висіву зернової сівалки з катушковими висівними апаратами. Основу обладнання складають бортовий (БК) та робочий (РК) комп'ютери, що зв'язані між собою через інтерфейс RS485. Живлення обладнання відбувається від бортової мережі МТА напругою 12 вольт. БК має слот для установки змінної карти пам'яті (типу PC Card) на якій записана в електронному вигляді картограма сівби для конкретного поля. На внутрішню пам'ять БК записані операційна система, BIOS (система вводу-виводу інформації), спеціалізоване програмне забезпечення та бази даних з техніко-експлуатаційних параметрів посівних машини та фізико-механічних параметрів технологічних матеріалів. До складу обладнання входить система

ГСП, а також датчик режиму роботи сівалки і датчик швидкості руху МТА.

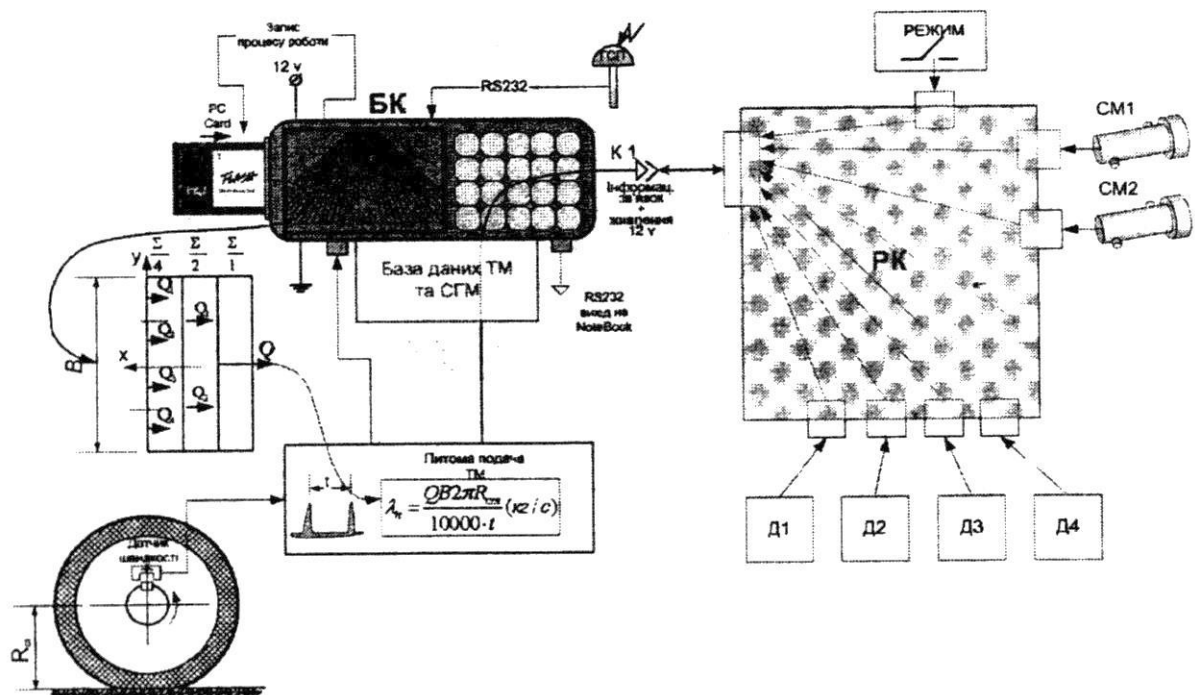


Рисунок 1.4. Схема обладнання для керування нормою висіву зернової сівалки (позначення в тексті).

Сервомеханізм *СМ 1* керує швидкістю обертання вала катушок висівних апаратів, а *СМ 2*- величиною робочої довжини катушок. Передбачено підключення датчиків *Д 1...Д 4* при роботі в режимі "сенсор-технологія", а також підключення переносного комп'ютера через додатковий порт *RS 232* для проведення тестових та контрольних операцій на стадіях підготовки експериментів.

Коли датчик «РЕЖИМ» знаходиться в положенні "робочий процес", датчик координат ГСП приймає навігаційну інформацію, обчислює поточні координати МТА і передає їх на *БК*. Останній знаходить по електронній картограмі задану величину норми сівби для даної точки поля і передає сигнал керування на *ПК*. *ПК* обслуговує силові ланцюги керування сервомеханізмами *СМ 1* та *СМ 2*. Датчики зворотного зв'язку цих механізмів надають через інтерфейс *RS 232* інформацію про поточний стан керованих елементів.

Важливою особливістю розробленого обладнання є наявність опції запису всіх поточних параметрів технологічного процесу, що виконується, а саме: величини поточної норми сівби, загальної маси висіяного насіння, засіяної площі, часу роботи, робочої швидкості, тощо.

Німецька фірма «Амаzone» пропонує пневмомеханічні висівні апарати і системи з реалізацією диференційованого висіву зернових культур в сівалках AD-P Special на основі системи Amatron<sup>+</sup> (рис. 1.5), згідно [4].

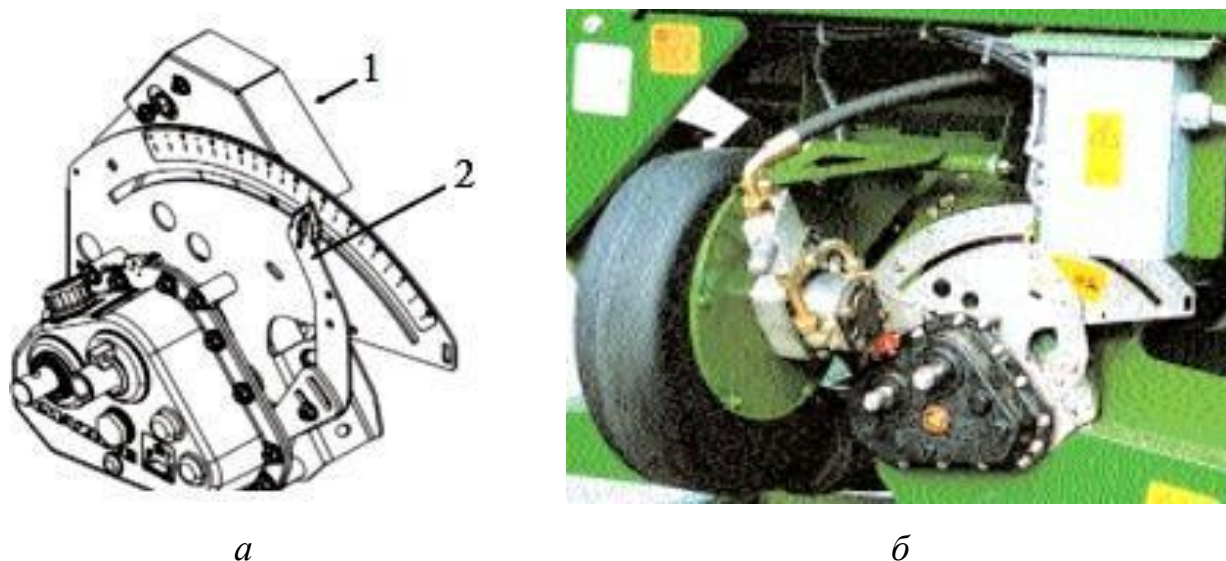


Рисунок 1.5. Схема (а) і загальний вигляд (б) безступінчастого редуктора зміни норми висіву сівалок AD-P Special:

1 – серводвигун; 2 – важіль редуктора.

На підставі значень, отриманих при визначенні норми висіву, Amatron<sup>+</sup> обчислює необхідне положення важеля редуктора 2, який автоматично встановлюється серводвигуном 1, а дисплей Amatron<sup>+</sup> відображає встановлене положення важеля. Коли безступінчастий редуктор відсутній, вал висівних апаратів приводиться в рух електродвигуном [4]. Частота обертання електродвигуна залежить від швидкості руху і необхідної норми висіву.

В роботах [2, 4] запропоновані програмно-апаратні комплекси технічних засобів для реалізації змінних норм висіву, які включають в себе антену супутникової навігації, робочий комп'ютер, електроциліндр, датчики

зворотного зв'язку і швидкості. У робочий комп'ютер встановлюється флеш-карта з картограмою – завданням на необхідну норму висіву, а система супутникової навігації надає координати знаходження агрегату в полі. Система працює наступним чином: при переміщенні МТА по поверхні поля робочий комп'ютер отримує сигнал від супутників GPS і у відповідності з параметрами стану поля, через електродвигун приводу контролює частоту обертання шнекового дозатора, що регулює норму висіву.

Основною складовою такої системи для реалізації змінної норми висіву є блок управління висівним апаратом (рис. 1.6).

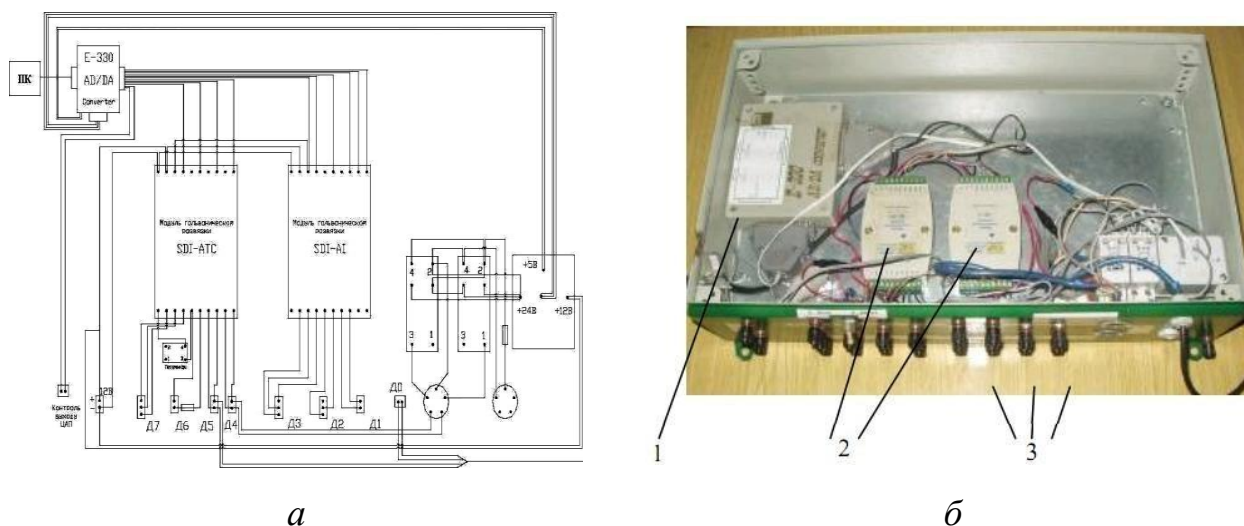


Рисунок 1.6. Схема блоку управління висівним апаратом (а) і загальний вигляд блоку управління (б):

1 – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП); 2 – узгоджувальні пристрої; 3 – виходи датчиків.

Для реалізації місцевизначеного посіву передбачено використання датчиків контролю за виконанням технологічного процесу. Датчики з'єднуються з бортовим комп'ютером через узгоджувальні пристрої 2. Основним призначенням узгоджувального пристрою є гальванічна розв'язка виходу датчика з входом бортового комп'ютера і приведення електричних параметрів сигналу від датчика до нормованого рівня.

Важливим елементом електронного блоку управління технологічним



процесом є цифро-аналоговий перетворювач 1, який служить для передавання внутрішніх даних між блоками бортового комп'ютера, а також для виведення сигналу управління серводвигуном в аналоговому вигляді на контрольну точку сервісного обслуговування процесорного блоку.

Система працює наступним чином (рис. 1.7): радіосигнал від супутників через приймач GPS-сигналів надходить до бортового комп'ютера, який відповідно до картограми посіву подає сигнал на блок керування нормою висіву, що обробляє цей сигнал, і з допомогою пристроїв регулювання задає необхідну норму висіву.



Рисунок 1.7. Схема роботи системи управління нормою висіву.

Управління інтенсивністю потоку насіння здійснюється механізмом дозування. Частота обертання дозатора забезпечується серводвигуном і контролюється датчиком зворотного зв'язку і регулятором.

Диференційований висів насіння може здійснюватися на основі системи контролю висіву Raven Omniseed. Система являє собою спеціально розроблений гідравлічний мотор-редуктор (рис. 1.8), що встановлюється на вал висівних апаратів сівалки або інші приводні вали і замінює приводні колеса. Діапазон частоти обертання приводу плавно настроюється в діапазоні 1...125 об/хв.

Гідравлічний мотор-редуктор обладнаний інтегрованим датчиком частоти обертання, який керує процесом висіву по окремих рядках або секціях, з можливістю повного відключення. При цьому висів здійснюється із змінною щільністю, керований як вручну, так і на основі карток посіву, згідно [5].





Рисунок 1.8. Гідроелектричний мотор-редуктор.

Реалізація технології змінного посіву може здійснюватися також на основі гідравлічного приводу виробництва фірми Ag Leader Technology & Brunswick CVA, на основі пристрою автоматичного контролю проходів, яке відключає праву або ліву сторони сівалки згідно з картою поля (рис. 1.9, а, б) [5].



*а*

*б*

Рисунок 1.9. Регулювання норми висіву: звичайне (а); автоматичне (б), гідроприводом Ag Leader Technology & Brunswick CVA.

Таким чином, розглянутими технічними засобами реалізується автоматичне регулювання норми висіву, виходячи з вологозабезпеченості, вологоутримуючої здатності та продуктивності ґрунту. Як наслідок, при цьому має місце економія посівного матеріалу, добрив, підвищення урожаю та

поліпшення його якості.

Розглянемо імпульсні і вібродискретні висівні системи з реалізацією диференціювання норми висіву зернових культур. Аналіз висівних систем показує, що найбільш повно вимогам диференційованого висіву відповідають системи, побудовані на електромагнітних принципах управління виконавчим дискретним механізмом. На рис. 1.10 показана схема пневматичної висівної системи зернової сівалки імпульсної дії для технологій змінних норм висіву, згідно [2].

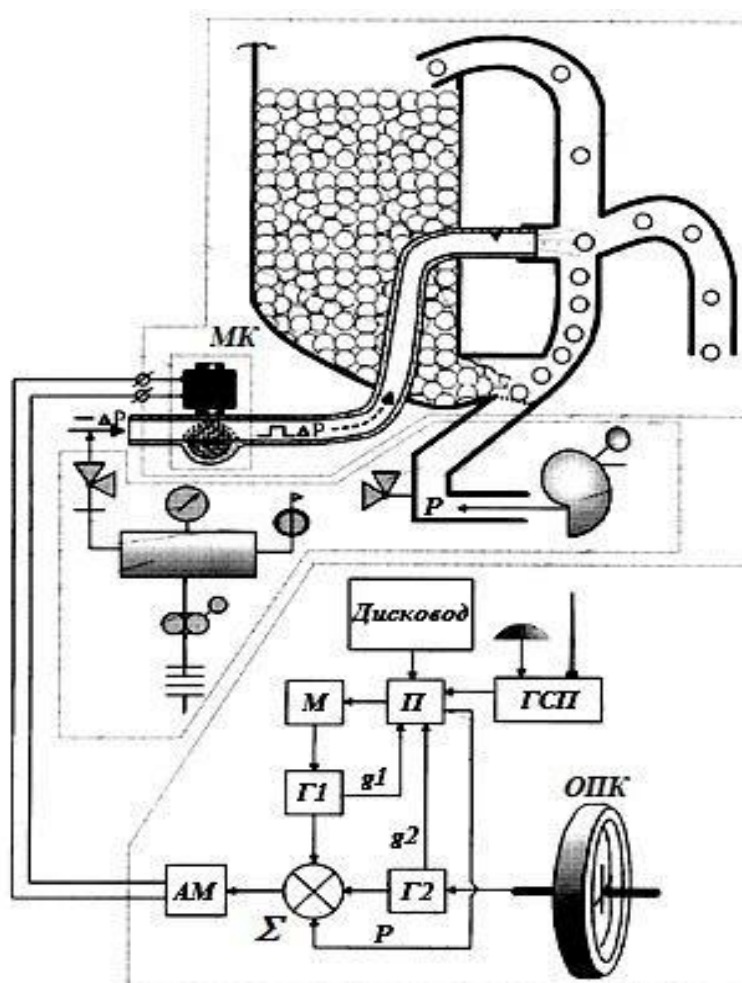


Рисунок 1.10. Схема висівної системи сівалки для точного землеробства:

$M$  - модулятор;  $\Pi$  - процесор;  $ГСП$  – глобальна система позиціонування;  $Г_1, Г_2$  - генератори;  $g_1, g_2$  – ланцюги зворотного зв'язку;  $P$  – повітря під тиском;  $АМ$  – багатоканальний підсилювач;  $ОПК$  – опорно-приводне колесо;  $МК$  – магнітний клапан;  $\Sigma$  – суматор.

Можна бачити, що сівалка містить мікропроцесорну систему формування управляючих імпульсних сигналів, пневматичні апарати, які складаються з бункерів для насіння, забірних камер, робочих камер, насіннепроводів і повітропроводів, приєднаних до висівних апаратів, пневматичну систему приведення в дію висівних апаратів, пов'язану з ними. При цьому в мікропроцесорній системі формування імпульсів є два незалежних генератора імпульсів  $\Gamma_1$  і  $\Gamma_2$ , а також багатоканальний підсилювач мікропроцесорної системи  $AM$ , з кількістю каналів підсилення, відповідним кількістю висівних апаратів. Висівна система може працювати в режимах "Звичайний" і "ГСП". Останній режим призначений для технологій точного землеробства.

Така пневматична висівна система з імпульсними висівними апаратами і з мікропроцесорним управлінням дозволяє забезпечити програмовані змінні норми висіву насіння з можливістю оперативного регулювання норми висіву на ходу, під час роботи сівалки, в напрямку її руху, а також у поперечному напрямку - по ширині захвату, відповідно з місцевизначеними даними про характеристики параметрів стану поля, спростити конструкцію висівної системи за рахунок зменшення кількості рухомих механічних елементів, а також знизити пошкодження насіння. Останнє забезпечується тим, що в конструкції висівних апаратів запропонованої висівної системи відсутні механічні рухомі робочі елементи, які контактують з посівним матеріалом, і це виключає попадання насіння в зони механічного защемлення і стиснення. Підвищення універсальності висівної системи досягається застосуванням двох незалежних генераторів імпульсів, що дає можливість висівної системи працювати в режимах "Звичайний" і "ГСП". Запропонована висівна система дозволяє економити 10...25% посівного матеріалу і, за розрахунками, сприятиме підвищенню врожайності, в середньому на 5...7 ц/га.

Аналогічна конструкція пневмоімпульсного висівного апарата для сівалки точного землеробства запропонована в роботі [2].

В патентах на корисну модель [36, 37] розглядається конструкція сівалки для реалізації диференційованого висіву кожною секцією вібродискретного

висівного апарату, для забезпечення підбору оптимальної площі живлення рослин, з урахуванням просторової неоднорідності ґрунту. Поставлене корисними моделями завдання диференціального висіву вирішується зміною конструкції сівалки з вібраційним висівним апаратом шляхом використання спеціального контролера, GPS-навігатора і пристрої зчитування електронних карток.

На рис. 1.11 зображено загальний вигляд посівної машини з вібраційним висівним апаратом для диференційованого висіву.

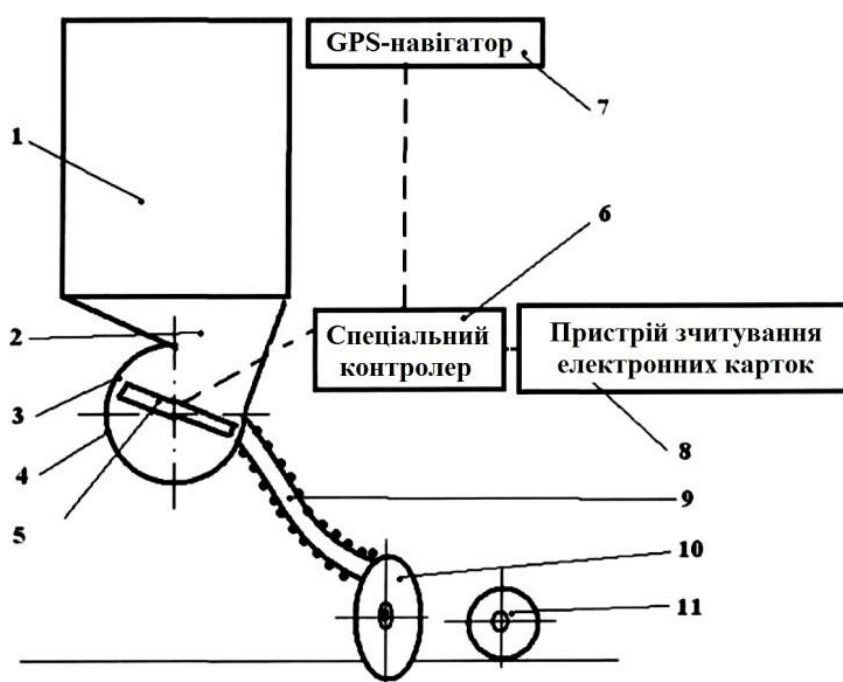


Рисунок 1.11. Схема конструкції сівалки з вібраційним висівним апаратом для диференційованого висіву (позначення в тексті).

Пристрій працює наступним чином: при русі сівалки насіння з висівного апарата 1 надходять до основи 2, яке складається з висівного диска 3 і опори сферичної форми 4, в якій розміщений проміжний диск 5, частотою вібрації якого змінюється норма висіву.

Спеціальний контролер 6 синхронізує інформацію від GPS-навігатора 7 та пристрою зчитування електронних карток 8, управляє диском 5, встановлюючи задану норму висіву і забезпечуючи диференційований висів кожної секції

вібраційного висівного апарата шляхом зміни норми висіву в ході виконання технологічного процесу. Після висівного апарату 2 насіння потрапляє в насіннєспроводи 9 і сошники 10. Для забезпечення умов ефективного росту насіння використовуються прикочувальні котки 11.

Крім розглянутих комплексів і систем, для диференційованого висіву зернових культур також пропонуються різні системи аналогічного призначення - пристрій для автоматичного регулювання технологічного процесу машини, пристрої управління дозуючою системою сівалки, висівний апарат з регульованою дозуючою системою, представлений в роботі [4] і т.п. Застосування цих систем спрямовано на покращення експлуатаційних характеристик посівних агрегатів, підвищення швидкодії регулювання і точності дозування, скорочення строків посіву, підвищення врожайності висівних культур.

### **1.5. Недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації зернових сівалок до диференційованого висіву в технологіях точного землеробства**

При розгляді засобів реалізації диференційованого висіву зернових культур встановлено і систематизовано недоліки та ускладнення, що виникають при адаптації існуючих машин до технологій СТІЗ:

- аналогова дія багатьох застосовуваних машин, на відміну від дискретної дії апаратно-програмного забезпечення СТІЗ, що вимагає застосування аналогово-цифрових перетворювачів;
- моральний знос машин, невідповідність технологічних укладів для виконавчих і командних пристроїв, тобто невідповідність їх технічного рівня;
- наявність розгалуженого кінематичного ланцюга з механічних передач, а, отже, інерційність спрацювання виконуючих пристроїв;
- різноманітність елементної бази, її недостатні універсальність та надійність;
- складність і дорожнеча пропонованих технічних рішень.

Показники ефективності щодо автоматизації та інформатизації процесу висіву, які входять до виразу (1.1), визначаються прогресом в області засобів автоматики.

Передусім це здатність до виконання заданих функцій з мінімальними енерговитратами, максимальною надійністю і можливістю реалізації найбільшої кількості функціональних перетворень мінімальним числом структурних елементів, що характеризується показником функціонально-структурної інтеграції  $I^{FS}$ . Важливим є також показник розподілу функціонального навантаження  $I_g$ , що відображає сучасну тенденцію побудови машин нового покоління, яка полягає в перенесенні функціонального навантаження від механічних вузлів до інтелектуальних.

## **1.6. Висновки до розділу**

1. Встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається наступними поняттями та категоріями: «показники ефективності», «критерій ефективності», «оптимальна система», «системний підхід і аналіз», «синтез».

2. Встановлено, що в даний час сівба багатьох культур виконується недосконалими посівними машинами, які є матеріало- і енергоємними, а технологія посіву такими сівалками не відповідає багатьом сучасним вимогам, допускає до 10...30% перевитрати насіння та його пошкодження. Незважаючи на те, що показники рівномірності висіву і розподілу насіння зерновими сівалками не мають достатнього агротехнічного обґрунтування і визначаються біологічними особливостями посівного матеріалу, існуючі висівні системи мають підвищену нерівномірність розподілу насіння по сошниках. Тому при дослідженні і розробці нових висівних пристроїв доцільно забезпечити відповідність агротехнічним вимогам значень показників якості висіву, але при цьому необхідно покращувати значення даних показників, зокрема за рахунок усунення пульсації потоків насіння, обумовлених нерівномірністю їх дозування і переміщення в насіннепроводах.

3. Виявлено, що в даний час для підвищення продуктивності посівних МТА перспективним є інтенсивний напрямок, заснований на підвищення швидкості руху до 15 км/год і вище. При цьому необхідно забезпечити зниження енерговитрат, пов'язаних з підвищенням швидкості, що можливо на основі застосування нових робочих органів зернових сівалок, з оптимізованим енергоспоживанням.

4. Системний аналіз конструкцій і роботи висівних апаратів і систем дозволив встановити, що одним із напрямків підвищення ефективності технологічного процесу висіву є його принципова структурна зміна на основі застосування дискретного принципу дії пневматичних дозуючих елементів або висівних апаратів, пов'язаних гнучкою дискретною синхронізацією з переміщенням посівної машини. Дискретний принцип дії висівних апаратів і систем дозволяє більш легко і ефективно здійснювати автоматизацію робочого процесу, на відміну від аналогового принципу дії інших висівних пристроїв. Для цього необхідно реалізувати крокове алгоритмізоване функціонування робочого органу (висівного апарата) з відбором, транспортуванням і подачею насіння.

5. Встановлено, що оскільки існуючі можливості підвищення продуктивності шляхом збільшення ширини захвату практично вичерпані, то все більшого значення набуває впровадження інтелектуальних і автоматизованих систем, роботизації, широке застосування електроніки та систем точного інформаційного землеробства, а також впровадження нових робочих органів. Значні витрати на вдосконалення функціональних можливостей механічних систем вже себе не виправдовують, при цьому очевидно істотне уповільнення темпів зростання основних технічних характеристик і функціональних можливостей техніки. Застосування електроніки дозволяє розширити і посилити функціональні можливості механічних систем і призводить до створення машин з новими технологічними можливостями.

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА**

### **2.1. Функціонально-структурний аналіз систем автоматизації та управління нормою висіву**

#### **2.1.1. Структурний синтез мехатронного модуля управління висівом.**

Структурна складність в загальному випадку визначається кількістю елементів, що з'єднуються, кількістю та інтенсивністю їх взаємозв'язків. Тому рішення завдання визначення структурної схеми та побудови мехатронного модуля можна трактувати як рішення проблеми інтерфейсів і завдання мінімізації структурної складності методом виключення.

Метою цього методу інтеграції є виключення проміжних перетворювачів. З традиційної структури виключається, принаймні, один проміжний блок і відповідні інтерфейси.

При цьому зберігається функціональне перетворення, що виконується отриманим мехатронним модулем в цілому, його вхідні та вихідні змінні. Ця мета може бути досягнута на тому етапі розробки систем управління, коли здійснюється синтез структури мехатронних модулів.

В основі розглянутого методу лежать наступні фундаментальні напрямки теорії системного проектування складних систем:

- функціонально-структурний аналіз і еволюційний синтез технічних систем;
- структурний синтез і оптимізація технічних систем за критеріями складності.

Завданням функціонально-структурного аналізу систем управління висівом є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків та визначення такої структури, яка дозволить системі виконувати визначені функціональні завдання з максимальною ефективністю за критеріями якості.



В якості вихідної структури розглянемо теоретичну схему на рис. 2.1, яка реалізується в розглянутих в розділі 1 традиційних електро- або гідроприводах з комп'ютерним управлінням.

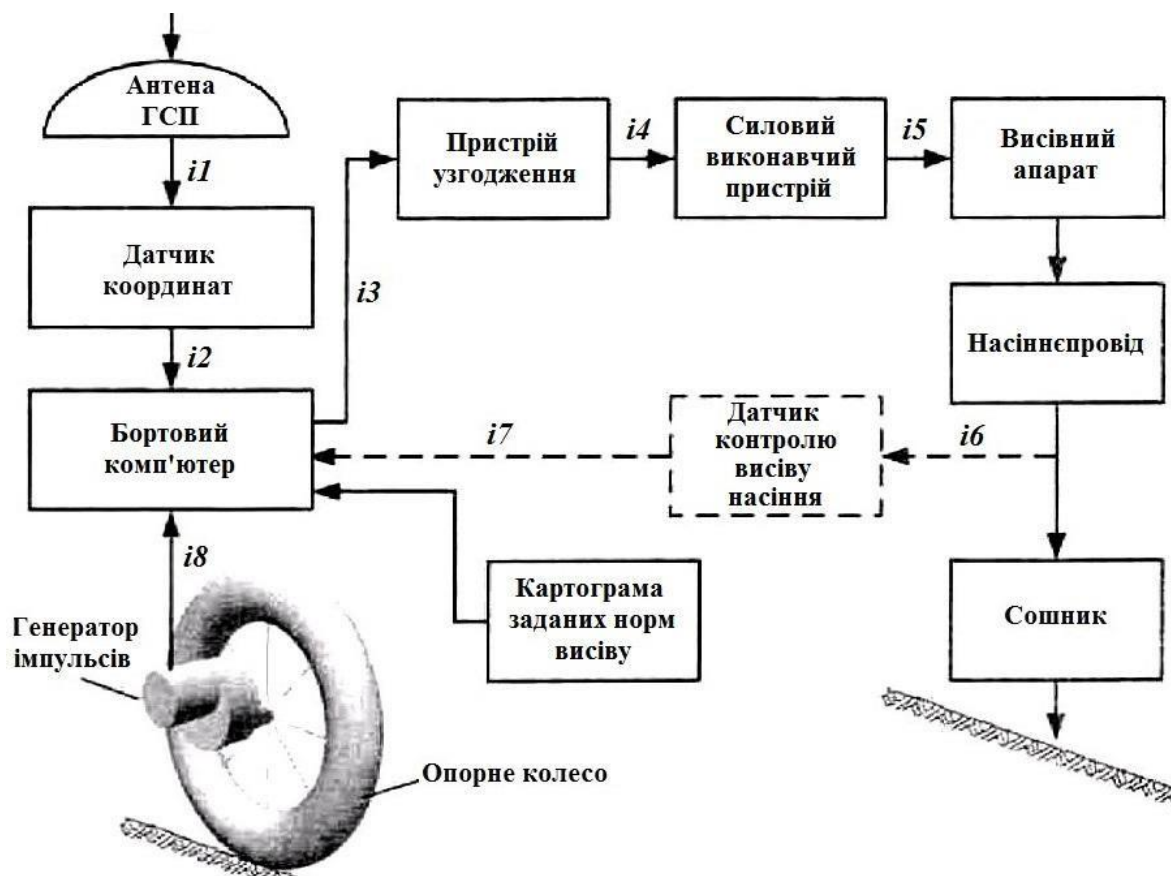


Рисунок 2.1. Вихідна структурна модель місцевизначеного посіву.

Вихідна структурна модель включає в себе наступні елементи:

- датчик координат з антеною ГСП для отримання інформації про місцезнаходження посівного агрегату в полі;
- бортовий комп'ютер, функціональним завданням якого є регулювання норми висіву на основі інформації про місцезнаходження посівного агрегату і поточної інформації про задану норму висіву в даній точці поля, значення якої надходить від картограми-завдання;
- пристрій узгодження, що представляє собою цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), який реалізує функцію інформаційно-електричного

перетворення для передачі управляючого сигналу від бортового комп'ютера на силовий виконавчий пристрій;

- силовий виконавчий пристрій, що представляє собою керований електродвигун з механічним приводним елементом, виконуючим електромеханічне перетворення, що керує технологічним режимом роботи висівного апарата;

- пристрій, що реалізує заданий управляючий рух або робочий орган, що взаємодіє із зовнішніми об'єктами, в даному випадку висівний апарат зернової сівалки;

- пристрій зворотного зв'язку, або датчик контролю висіву, який дає інформацію про реальну інтенсивність потоку насіння в даний момент часу;

- інтерфейсні пристрої, позначені на структурній моделі як *i1-i8*.

Тут інтерфейси є відокремленими пристроями. Тому їх виготовлення і налагодження стає серйозною проблемою для розробника, особливо, коли потрібно надійно з'єднати нестандартні і спеціалізовані елементи різних виробників.

У вихідній моделі реалізується шість функціональних перетворень: моноенергетичні інформаційне і механічне (де вхідні і вихідні змінні мають одну і ту ж фізичну природу), дуальні інформаційно-електричне, електромеханічне, а також електро-інформаційне та механіко-інформаційне перетворення в колах зворотного зв'язку.

На основі вихідної структурної моделі запропоновано структурну модель з мехатронним модулем (рис. 2.2). Мехатронні модулі відрізняються високим ступенем інтеграції елементів, причому ці рішення закладаються вже на стадії розробки і виготовлення.

У даній структурній моделі датчик координат з антеною ГСП і бортовий комп'ютер з відповідними інтерфейсами об'єднані в одному модулі, який представляє собою мобільний обчислювальний пристрій – смартфон або планшет з операційною системою. Пристрій узгодження, силовий виконавчий пристрій і блок управління висівною системою при об'єднанні являють собою

безпосередньо мехатронний модуль. Датчик контролю висіву насіння замість проводового інтерфейсу може передавати дані по бездротовому радіозв'язку bluetooth. Інші структурні одиниці – робочий орган у вигляді висівної системи - залишаються беззмін, а кількість інтерфейсних пристроїв скорочується з 8 до 3-х ( $i1-i3$ ).

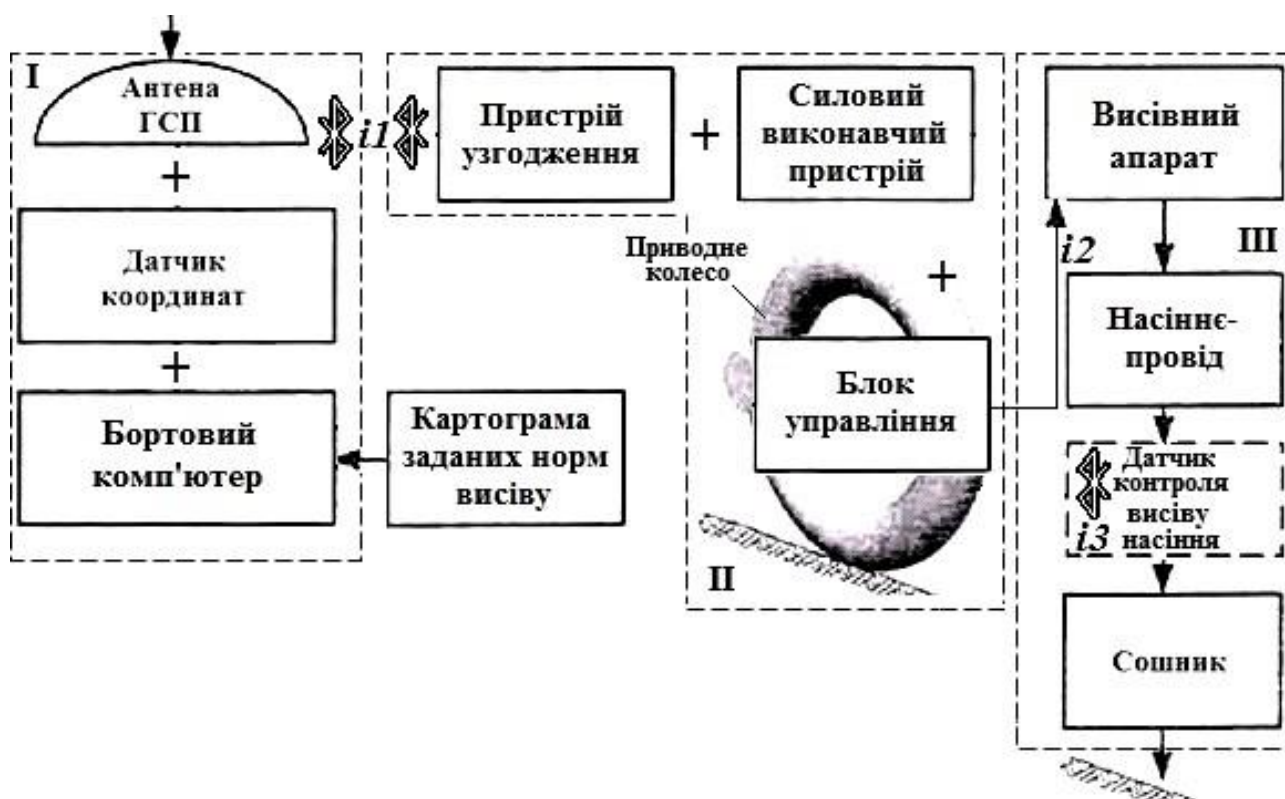


Рис 2.2. Структурна модель з мехатронним модулем для місцевизначеного посіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки:

I – обчислювальний пристрій; II – мехатронний модуль; III – висівна система

В моделі з мехатронним модулем реалізується сім функціональних перетворень: моноенергетичні інформаційне та пневматичне (де вхідні і вихідні змінні мають одну і ту ж фізичну природу), дуальні інформаційно-електричне, електромеханічне та механіко-пневматичне, а також електро-інформаційне та механіко-інформаційне перетворення.

Порівнюючи запропоновану структурну модель з мехатронним модулем і вихідну структурну модель місцевизначеного посіву, можна зробити висновок про те, що сумарна кількість основних (8) і інтерфейсних (8) блоків у вихідній моделі значно перевищує число виконуваних функціональних перетворень (6). Іншими словами, можна говорити про структурну надлишковість вихідної моделі. Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності та точності технічної системи, погіршення її масогабаритних і вартісних показників.

Розглянуте функціональне представлення моделі з мехатронним модулем містить два інформаційних входи: програми робочого процесу та інформаційний зворотний зв'язок, і один вихід – цілеспрямований вплив на висівну систему. Отже, в загальному випадку функціональна схема з мехатронним модулем може бути побудована як інформаційно-пневмомеханічний перетворювач.

**2.1.2. Метод функціонально-структурної інтеграції систем регулювання норми висіву.** Аналіз функціонально-структурної інтеграції (ФСІ) розглянутих структурних схем здійснимо на основі показника ФСІ, який являє собою чисельну оцінку рівня інтеграції складових елементів. При розробці систем управління слід прагнути до підвищення показника ФСІ, тобто реалізовувати найбільшу кількість функціональних перетворень мінімально можливим числом структурних елементів. Показник ФСІ:

$$I^{FS} = \frac{N_F}{N_S} - 1, \quad (2.1)$$

де  $N_F$  – число функціональних перетворень в даному структурному варіанті: для вихідної структурної моделі  $N_F = 6$ , а для структурної моделі мехатронного модуля  $N_F = 7$ ;

$N_S$  – число основних та інтерфейсних блоків, використовуваних у структурному варіанті: для вихідної структурної моделі  $N_S = 16$ , а для структурної моделі мехатронного модуля  $N_S = 6$ .

Тоді для вихідної структурної моделі отримаємо  $I^{FS} = -0,625$ , а для структурної моделі мехатронного модуля –  $I^{FS} = 0,167$ .

Отже, у загальному випадку показник  $I^{FS}$  є негативним для надлишкових структур, де число окремих структурних елементів у системі перевищує число заданих функціональних перетворень. Базова ступінь інтеграції ( $I^{FS} = 0$ ) досягається при рівності між числом функціональних перетворень і виконуючих їх структурних блоків. У розглянутому випадку для структурної моделі з мехатронним модулем  $I^{FS} = 0,167 > 0$  може бути досягнута в разі знаходження технічного рішення щодо вибору апаратних і програмних рішень для інтелектуального мехатронного модуля, в якому максимум функціональних перетворень зосереджений в єдиному структурному елементі (розділ 4).

## 2.2. Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента

Дослідження енергетичних характеристик силового струминного елемента здійснимо на основі рекомендацій, розроблених в роботі [8]. В якості основної характеристики приймаємо ККД силового елемента по тиску –  $\eta_p$ . Розрахункова схема силового струминного елемента представлена на рис. 2.3.

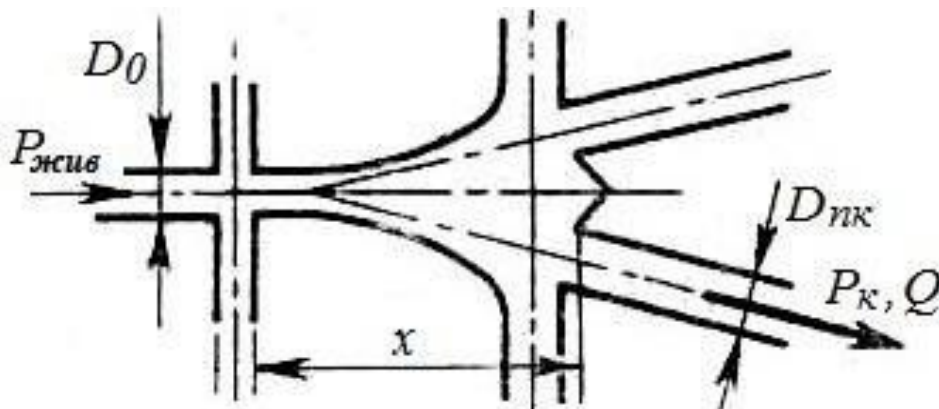


Рисунок 2.3. Розрахункова схема силового струминного елемента (позначення в тексті).

Позначимо:  $P_{жив}$  – тиск живлення силового струминного елемента, Па.

Приймаємо  $P_{жив} = 7000$  Па;  $P_{\kappa}$  – тиск у приймальному каналі, Па;  $Q$  – витрата повітря на виході з приймального каналу, м<sup>3</sup>/с. З умови сталості витрати приймаємо  $Q \approx 0,0022$  м<sup>3</sup>/с при тиску живлення  $P_{жив} = 7000$  Па (табл. 5.4);  $a_0$  – ширина живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо  $a_0 = 0,002$  м;  $b_c$  – висота живлячого каналу (сопла живлення). Приймаємо  $b_c = 0,016$  м;  $f_n$  – площа перерізу сопла живлення, мм<sup>2</sup>,  $f_c = a_0 b_c = 3,2 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>;  $a_n$  – ширина приймального каналу. Приймаємо  $a_0 = 0,003$  м;  $b_n$  – висота приймального каналу. Приймаємо  $b_n = 0,016$  м;  $f_n$  – площа перерізу приймального каналу, мм<sup>2</sup>,  $f_n = a_n b_n = 4,8 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>;  $x$  – відстань між кромкою живлячого сопла та входом в приймальний канал, мм. Приймаємо  $x = 0,009$  м;  $D_0$  – еквівалентний діаметр сопла живлення, м;  $D_{нк}$  – еквівалентний діаметр приймального каналу, м.

Еквівалентний діаметр для повітропроводів прямокутного перерізу визначається за формулою:

$$D_e = 1,3 \frac{(a \cdot b)^{0,625}}{(a + b)^{0,25}}, \quad (2.2)$$

де  $a$  – ширина перерізу, мм;

$b$  – висота перерізу, мм.

При  $a = 0,002$  м,  $b = 0,016$  м, за формулою (2.1) отримуємо що  $D_0 = 0,0055$  мм, а  $D_{нк} = 0,007$  м.

Розрахунок проведемо, виходячи з розміщення приймального каналу на початковому ділянці повітряного струменя. Для силових струминних елементів у даному випадку умову запишемо у вигляді:

$$\frac{x}{D_0} \leq 5. \quad (2.3)$$

Приймаючи значення даної умови  $x/D_0 = 9/5,5 \approx 1,6$ , визначаємо тиск в приймальному каналі  $P_{\kappa}$ :

$$P_{\kappa} = P_{жив} \cdot \psi \cdot \left[ c_1 - c_2 \frac{D_{нк}}{D_0} + c_3 \left( \frac{D_{нк}}{D_0} \right)^{-1} - c_3 \left( \frac{D_{нк}}{D_0} \right)^{-2} \right], \quad (2.4)$$

де  $\psi$  – поправочний коефіцієнт, що враховує співвідношення діаметрів

приймального каналу і сопла живлення ( $\psi = 1,0 \dots 1,4$ ). Приймаємо  $\psi = 1,4$ .

$c_1, c_2, c_3, c_4$  – коефіцієнти пропорційності:

$$c_1 = 1 + \frac{1 - 0,2 \frac{x}{D_0}}{\frac{x}{D_0}}; \quad (2.5)$$

$$c_2 = 1 + 0,0039 \left( \frac{x}{D_0} \right)^3; \quad (2.6)$$

$$c_3 = \frac{\left( 0,5 - 0,1 \frac{x}{D_0} \right)^2}{0,252 \frac{x}{D_0}}; \quad (2.7)$$

$$c_4 = \frac{\left( 0,5 - 0,1 \frac{x}{D_0} \right)^2}{0,126 \frac{x}{D_0}}. \quad (2.8)$$

Підставивши у формули (2.26) – (2.29)  $x/D_0 = 1,6$ , отримаємо  $c_1 = 1,425$ ;  $c_2 = 1,016$ ;  $c_3 = 0,287$ ;  $c_4 = 0,195$ .

Враховуючи отримані значення величин  $P_{жив}$ ,  $\psi$ ,  $c_1 \dots c_4$ ,  $D_0$  і  $D_{нк}$ , отримаємо  $P_k = 2350$  кгс/см<sup>2</sup>.

Значення розрахункового ККД бістабільного струминного силового елемента по тиску становить:

$$\eta_p = \frac{P_k}{P_{ном}} = \frac{2350}{7000} = 0,33 \text{ або } 33\%. \quad (2.9)$$

Разом з тим для отримання уточнених значень ККД і інших характеристик роботи силових струминних елементів необхідні подальші теоретичні і експериментальні дослідження передачі механічної енергії струменем робочого тіла в елементі.

### 2.3. Дослідження показників робочого процесу пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки

Теоретичні дослідження конструкційних параметрів пневматичних висівних апаратів та систем дискретної дії з елементами пневмоніки для рядового висіву представлено в [2].

В даній роботі необхідно провести також дослідження енергетичних та технологічних показників робочого процесу висівних систем групової сівби з елементами пневмоніки. Ці показники розглянемо на прикладі висівної системи з маятниковим апаратом.

**2.3.1. Визначення діапазону норм висіву зернових культур висівним апаратом маятникового типу.** Норма висіву залежить від кількості порцій на гектар, яка визначається по формулі:

$$n = \frac{10000 \cdot f}{b \cdot V}, \quad (2.10)$$

$V$  – швидкість руху сівалки, м/с;

$b$  – ширина міжряддя. Для зернових культур приймаємо  $b = 0,15$  м.

Для рівномірного розподілення насіння необхідно не менш, ніж три його порції, подані апаратом на погонний метр. При швидкості сівалки  $V = 3$  м/с, мінімальна частота дозування висівним апаратом складе 9 Гц.

$$N = \frac{m_{cp} \cdot n}{1000}, \quad (2.11)$$

де  $m_{cp}$  – середня маса порції насіння на даній частоті дозування, г.

В остаточному вигляді норма висіву при швидкості руху  $V = 3$  м/с складе:

$$N = \frac{10 \cdot m_{cp} \cdot f}{0,15 \cdot 3} = 22,22 \cdot m_{cp} \cdot f. \quad (2.12)$$

Згідно виразу (2.12), отриману залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування представлено на рис. 2.4.



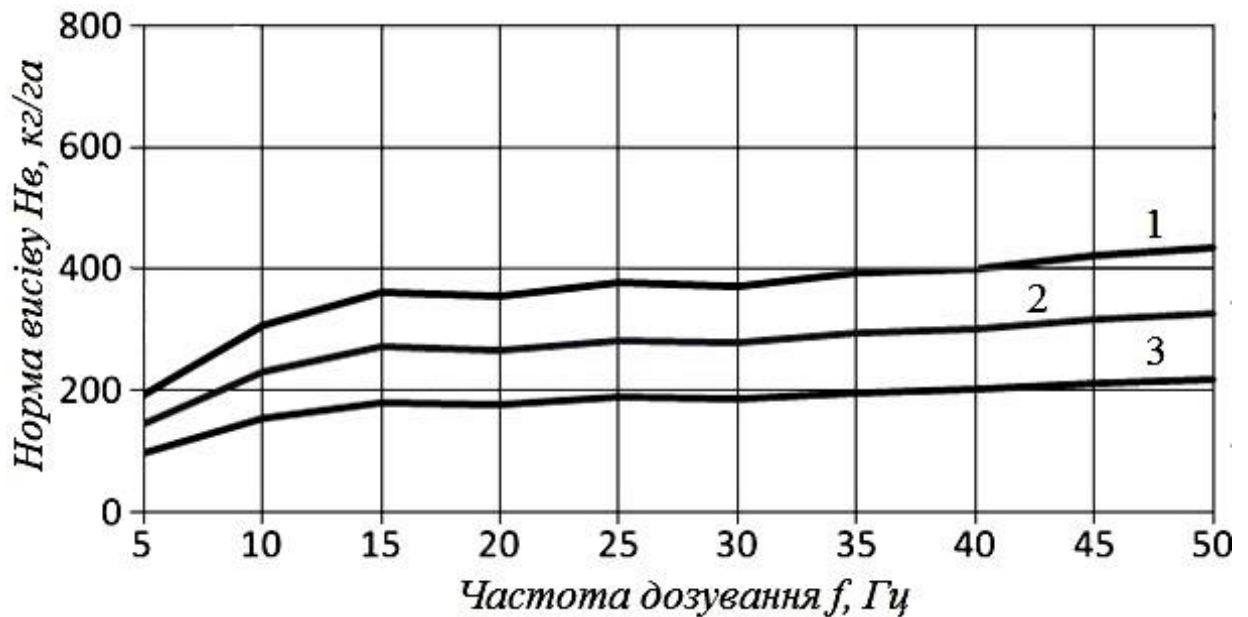


Рисунок 2.4. Залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування при тиску живлення струминного елемента  $P_{жс} = 7$  кПа та швидкості руху сівалки  $V = 3$  м/с:

1 – апарат АВМ-1М; 2 – апарат АВМ-1МА; 3 – апарат АВМ-1МА з дільником потоку насіння.

Аналізуючи представлені графічні залежності, можна зробити висновок, що досліджені апарати більш доцільно використовувати у частотному діапазоні до 20 Гц при швидкості руху сівалки  $V = 3$  м/с зі зміною норми висіву насіння пшениці від 100 до 440 кг/га, що значно вище діапазону норм висіву сівалкою СЗ-3,6А, який складає 60...300 кг/га.

### 2.3.2. Визначення енергетичних показників роботи висівного апарату.

Визначаємо витрату повітря на один дозатор:

$$Q_n = \varepsilon f_c \sqrt{\frac{2P_{жс}}{\gamma}}, \quad (2.13)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт витрати;

$f_c$  – площа сопла живлення струминного елемента на один дозатор, м<sup>2</sup>;

$P_{жс}$  – тиск живлення, Па;

$\gamma$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Визначаємо потужність, підведену до дозатора:

$$N_d = P_{жс} \cdot Q_n. \quad (2.14)$$

Приймаючи чисельні значення складових  $\varepsilon = 0,9$ ;  $f_c = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;  
 $P_{жс} = 7000 \text{ Па}$ ;  $\gamma = 1,22 \text{ кг/м}^3$ , отримаємо  $Q_n = 0,00036 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $N_d = 2,5 \text{ Вт}$ .

Визначаємо витрату повітря струминним блоком управління висівом:

$$Q_{\bar{o}} = \varepsilon (f_d + f_{\bar{c}\bar{o}}) \sqrt{\frac{2P_{жс}}{\gamma}}, \quad (2.15)$$

де  $f_d$  – площа сопла датчика швидкості,  $\text{м}^2$ ;

$f_{\bar{c}\bar{o}}$  – загальна площа сопел струминних елементів блока управління,  $\text{м}^2$ .

Приймаючи чисельні значення складових  $\varepsilon = 0,9$ ;  $f_d = 10^{-6} \text{ м}^2$ ;  
 $f_{\bar{c}\bar{o}} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;  $P_{жс} = 7000 \text{ Па}$ ;  $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , отримаємо  $Q_{\bar{o}} = 0,00049 \text{ м}^3/\text{с}$ .

По формулі (2.15) визначаємо потужність, підведену до блока управління:

$$N_{\bar{o}} = 7000 \cdot 0,00049 = 3,4 \text{ Вт}.$$

Потужність приводу вентилятора для живлення висівних апаратів сівалки:

$$N_{\bar{v}a} = \frac{\zeta (kN_d + N_{\bar{o}})}{\eta_{\bar{v}} \eta_n \eta_{nn}}, \quad (2.16)$$

де  $k$  – кількість дозаторів на сівалці;

$\zeta$  – коефіцієнт урахування втрат тиску;

$\eta_{\bar{v}}$  – ККД відцентрового вентилятора;

$\eta_n$  – ККД підшипників;

$\eta_{nn}$  – ККД пасової передачі.

Приймаючи ширину захвату зернової сівалки  $B = 6 \text{ м}$ , з кількістю сошників  $n_c = 48$ , підставляючи чисельні значення складових –  $k = 48$ ;  
 $\zeta = 1,05$ ;  $\eta_{\bar{v}} = 0,75$ ;  $\eta_n = 0,99$ ;  $\eta_{nn} = 0,95$ , отримаємо  $N_{\bar{v}a} = 184 \text{ Вт}$ .

### 2.3.3. Визначення енергетичних показників роботи насіннєпроводів.

Згідно тенденції зростання швидкості руху посівних агрегатів з метою підвищення їх продуктивності, насіння до сошників також необхідно подавати з пропорційно збільшеною швидкістю, що можливо на основі дії на насіння повітряного потоку.

Також в дисертаційній роботі одним з заходів підвищення ефективності роботи зернових сівалок запропоновано прийняття роздільно-агрегатної компоувальної схеми посівної машини з дискретними апаратами групового висіву з елементами пневмоніки. На відміну від шеренгової моноблочної компоувальної схеми сівалок, де транспортування насіння до борозни здійснюється під дією гравітації, при груповому висіві транспортування насіння на дно борозни здійснюється повітряним потоком, тобто пневматичним транспортуванням. В такій сівалці необхідно зберегти максимально можливу рівномірність потоку насіння, забезпечити мінімальні енергоємність і пошкодження насіння та надходження насіння до борозни з задалегідь заданою швидкістю.

Питання енергоємності роботи насіннепроводів при активній подачі насіння вивчено недостатньо.

При пневмотранспортуванні в насіннепроводах насіння переміщуються на відносно невеликій довжині. При цьому витрата енергії на переміщення насіння і повітря визначається гідравлічним опором насіннепроводу.

Відомі роботи по дослідженню переміщення посівного матеріалу і мінеральних добрив у пневмотрактах ПЦВС, де використовується відомий метод поділу втрат тиску на місцеві і по довжині при визначенні витрат енергії. В цьому випадку враховується вплив розподільника та його колони на роботу висівної системи, що є відмінністю від розглянутої системи дискретної дії з елементами пневмоніки.

Тому розглянемо метод визначення комплексних втрат тиску  $P_{вт}$ :

$$P_{вт} = P_{см} - P_n, \quad (2.17)$$

де  $P_{см}$  – сумарні втрати тиску при транспортуванні насіння, Па;

$P_n$  – втрати тиску повітря, Па.

Втрати  $P_{вт}$  можна подати у вигляді параметрів, що виключають необхідність визначення окремих складових, які використовуються в методі поділу втрат. З цією метою введемо поняття ККД транспортування насіння по насіннепроводу  $P_{вт}$ , який являє собою відношення корисної роботи, чиненої

повітряним потоком при переміщенні насіння за який-небудь проміжок часу, до витраченої. Корисною при транспортуванні насіння буде вважатися робота, витрачена на його переміщення, а витрати енергії на переміщення повітря в корисну роботу не входять. Тому ККД транспортування насіння можна представити як:

$$\eta_m = \frac{gGl}{v\omega P_{\text{ем}}}, \quad (2.18)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$G$  – масова витрата посівного матеріалу, кг/с;

$l$  – довжина транспортування, м;

$v$  – швидкість повітря в перерізі насіннепроводу, м/с;

$\omega$  – площа перерізу насіннепроводу, м<sup>2</sup>.

У загальному випадку ККД транспортування посівного матеріалу по насіннепроводу являє собою функцію декількох змінних: швидкості  $v$  повітря, швидкості  $v_m$  посівного матеріалу, продуктивності  $G$  висівної системи, довжини  $l$  транспортування, фізико-механічних властивостей переміщуваного посівного матеріалу і насіннепроводу, пошкодження матеріалу в процесі транспортування та інших факторів, або:

$$\eta_m = f(v, v_m, G, l, \dots). \quad (2.19)$$

Функціональну залежність (2.52) можна представити у вигляді:

$$\eta_m = A / Fr^n, \quad (2.20)$$

де  $A$  і  $n$  – відповідно коефіцієнт і показник ступеня, що залежать від фізико-механічних властивостей насіннепроводу і переміщуваного посівного матеріалу, аеродинамічних властивостей матеріалу та його пошкодження під час транспортування;

$Fr$  – критерій Фруда, розрахований по швидкості повітря.

Залежність (2.53) також можна записати інакше:

$$\frac{gGl}{v\omega P_{\text{ем}}} = \frac{A(gl)^{0,5n}}{v^n}, \quad (2.21)$$

звідки:

$$P_{em} = \frac{1}{A} \frac{G}{\omega} v^{n-1} (gl)^{1-0,5n}. \quad (2.22)$$

Тоді сумарні втрати тиску визначаються з виразу:

$$P_{cm} = P_n + \frac{1}{A} \frac{G}{\omega} v^{n-1} (gl)^{1-0,5n}. \quad (2.23)$$

Таким чином, розрахунок гідравлічного опору при транспортуванні насіння по насіннепроводу висівної системи з елементами пневмоніки за цим методом зводиться до визначення значення  $P_{cm}$ .

Виходячи з представлених залежностей, визначимо гідравлічний опір насіннепроводу. При цьому необхідно враховувати відому умову рівності поступальної швидкості руху сівалки та швидкості руху насіння по насіннепроводу, що потрібно для компенсації розкочування насіння по дну борозни.

Зробимо вибір числових значень складових виразу (2.56). Тиск  $P_n = 100$  Па, згідно [47];  $A = 0,26 \dots 0,36$  м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>;  $G = 0,009$  кг/с (на один вихід до сошнику, при нормі висіву 200 кг/га і швидкості руху сівалки  $v_c = 3$  м/с);  $\omega = 0,0005$  м<sup>2</sup> (приймаємо в якості насіннепроводів акрилові трубки з внутрішнім діаметром  $d = 25$  мм, згідно [47]);  $v \approx 18,5$  м/с (виходячи з умови відсутності пошкодження насіння та рекомендацій [47] для компенсації розкочування насіння);  $n = 1,25 \dots 1,36$ ;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>; довжину  $l = 1$  м, згідно [47].

Отримаємо чисельне значення втрат тиску у насіннепроводі  $P_{cm} = 438$  Па.

Визначаємо потужність, необхідну для транспортування насіння в одному насіннепроводі:

$$N_{mnl} = P_{cm} \cdot Q_n, \quad (2.24)$$

де  $Q_n$  – витрата повітря на транспортування насіння, м<sup>3</sup>/с.

Виходячи зі швидкості повітря  $v \approx 18,5$  м/с, площі перерізу насіннепроводу  $\omega = 0,0005$  м<sup>2</sup> та рівняння нерозривності потоку отримаємо  $Q_n = 0,00925$  м<sup>3</sup>/с. Тоді потужність, необхідна для транспортування насіння,

складе  $N_{mn1} = 4$  Вт.

Виходячи з формули (2.49) визначимо підведену потужність вентилятора для живлення насіннєспроводів висівної системи сівалки з шириною захвату  $B = 6$  м:  $N_{mn} = 286$  Вт.

Сумарна підведена потужність вентилятору, необхідна для живлення пневматичної висівної системи дискретної дії з елементами пневмоніки складе  $N_{cn} = N_{ва} + N_{mn}$ , або  $N_{cn} = 470$  Вт.

Якщо порівняти з іншими видами висівних систем, то можна встановити, що вібродискретна висівна система сівалки «Клен» потребує  $N_{cd} = 250$  Вт приводної потужності (для сівалки з  $B = 6$  м,  $n_c = 48$ ), згідно [35], котушкова висівна система –  $N_{ck} \approx 700$  Вт (для сівалки з  $B = 6$  м,  $n_c = 48$ ), ПЦВС –  $N_{cy} = 8460$  Вт (для сівалки з  $B = 6$  м,  $n_c = 48$ ).

## 2.4. Висновки до розділу

1. На основі зіставлення фізико-технічних розмірностей показників та критеріїв роботи технічних засобів механізації обґрунтовано узагальнений комплексний критерій для оцінки ефективності застосування інших видів сільськогосподарської техніки. При цьому отриманий узагальнений комплексний критерій може оцінювати ефективність і оптимальність технічних рішень в засобах механізації, екологічність їх застосування та виступати параметричним співвідношенням у системах автоматизації для підтримання оптимальних режимів функціонування робочих органів. В якості оптимального значення запропонованого комплексного критерію ефективності емпірично прийнята «золота» пропорція, значення якої становить 1,62.

2. Виявлено, що більшість існуючих технічних засобів автоматизації і управління нормою висіву є структурно надлишковими, з негативним показником функціонально-структурної інтеграції ( $I^{FS} = -0,625$ ). Наявність надлишкових блоків призводить до зниження надійності і точності технічних

систем, погіршення їх масогабаритних і вартісних показників. Обґрунтовано, що подолання виникаючих труднощів можливе на основі мехатронного підходу до дослідження і реалізації технічних засобів автоматизації робочого процесу висіву. Виявлено, що суть мехатронного підходу полягає в об'єднанні елементів і окремих складових будь-якої системи в інтегровані модулі вже на етапах розробки. При цьому показник функціонально-структурної інтеграції приймає позитивні значення ( $I^{FS} = 0,167$ ), а розподіл функціонального навантаження у такій системі автоматизації є більш рівномірним, з показником РФН  $I_g = 33,3$ , на відміну від вихідної структурної моделі, в якій показник РФН  $I_g = 12,5$ .

3. Встановлено, що розрахунковий ККД струминного силового елемента по тиску становить 38%. Теоретичне дослідження передачі механічної енергії плоскими струменями показує, що при описі взаємодії струменя робочого тіла з прийнятною частиною силового струминного елемента необхідно аеродинамічне або імітаційне моделювання, у зв'язку з тим, що тут виникають складні вторинні течії у вигляді зворотних потоків, які пов'язані з нерівномірністю розподілу швидкостей в струмені. Ці течії істотно впливають на витрату і тиск в приймальному каналі.

4. Проведені теоретичні дослідження визначають напрямок підвищення ефективності зернових сівалок – пошук і застосування нових принципів дії висівних систем та інших робочих органів, а також зниження матеріало- і енергоємності конструкцій і робочого процесу. При цьому оптимальним є поєднання роздільно-агрегатної компоувальної схеми групового висіву з малою матеріаломісткістю, із пневматичною висівною системою вепольної дискретної дії на основі елементів пневмоніки.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма досліджень

Загальна програма експериментальних досліджень та визначення енергетичної та техніко-економічної ефективності роботи зернових сівалок, висівних апаратів і систем передбачає вирішення п'яти блоків завдань, згідно схеми структурної послідовності загального підходу, відображеній на рис. 3.1:

1. Визначення реологічних властивостей технологічних матеріалів, що взаємодіють з посівної машиною, зокрема, початкового опору зсуву шару ґрунту, підготовленого до сівби.

2. Дослідження пневмоструминних елементів – силового бістабільного елемента і елемента-ежектора, з метою визначення їх оптимальних геометричних розмірів і режимів роботи.

3. Проведення агротехнічної оцінки роботи розроблених висівних пристроїв з визначенням якісних показників їх робочого процесу.

4. Дослідження з автоматизації та управління процесом висіву в розроблених висівних апаратах і пристроях.

5. Визначення техніко-економічної ефективності зернових сівалок,.

Експериментальні дослідження спрямовані на доповнення і підтвердження теоретичних досліджень, оптимізацію конструкцій, режимів роботи і перевірку працездатності розроблених висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки та відповідності показників їх робочого процесу агротехнічним вимогам. При виконанні експериментальних досліджень приймалися до уваги методи, використовувані при випробуванні посівних машин [2], а також прийняті в дослідженнях експериментальна техніка, вимірювальні прилади та інструменти. Застосовано прийоми і методи експериментальних досліджень висівних апаратів і систем з елементами пневмоніки, в яких автори розглядають операції робочого процесу таких висівних пристроїв.

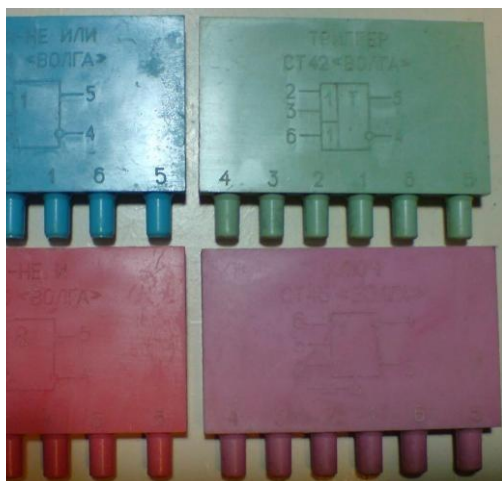


**3.1.1. Прилади, обладнання і матеріали для виконання завдань експериментальних досліджень.** Для дослідження висівних пристроїв у лабораторних умовах використовували різні стенди та комплекси, оснащені вимірювальною апаратурою.

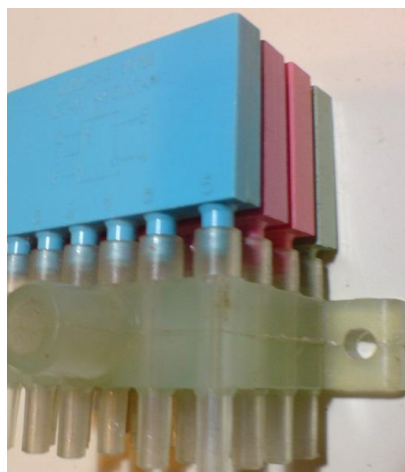
Зазначимо, що стенди відповідали наступним вимогам науково-дослідних робіт: універсальність, компютеризованість, забезпечення високої точності отриманої інформації і використання різноманітної цифрової вимірювальної і реєструючої апаратури.

В ході експериментальних досліджень використовували наступні прилади і обладнання:

1. Блок живлення постійного струму “Агат”.
2. Генератор імпульсів каліброваної амплітуди Г5-53 (похибка установки параметрів  $\pm 1,0\%$ ).
3. Генератор сигналів спеціальної форми Г6-26 (похибка  $\pm 1,0\%$ ).
4. Частотомір електронно-лічильний Ф5041 (похибка вимірювань  $\pm 10^7$ ).
5. Осцилограф електронно-променевий С1-54 (гранична похибка вимірювань  $\pm 1,0\%$ ).
6. Датчик тиску індуктивний ДМІ-0,1 (похибка вимірів  $\pm 1,0\%$ ).
7. Ваги ВЛКТ-500М (гранична похибка  $\pm 20$  мг).
8. Ваги АУ313 (точність вимірювань  $\pm 1$  г).
9. Зразковий манометр МЗМ (кл.0,6), напороміри НМП-52У3 (кл. 1,5), НМП-100У3 (кл. 2,5), тягомір ТНМП-100У3 (кл. 2,5).
10. Об'ємний газовий лічильник G4РЛ;
11. Пневмоелектроклапан.
12. Лабораторний трибометр.
13. Управляючі струминні елементи пневмоніки (рис. 3.1).



а



б

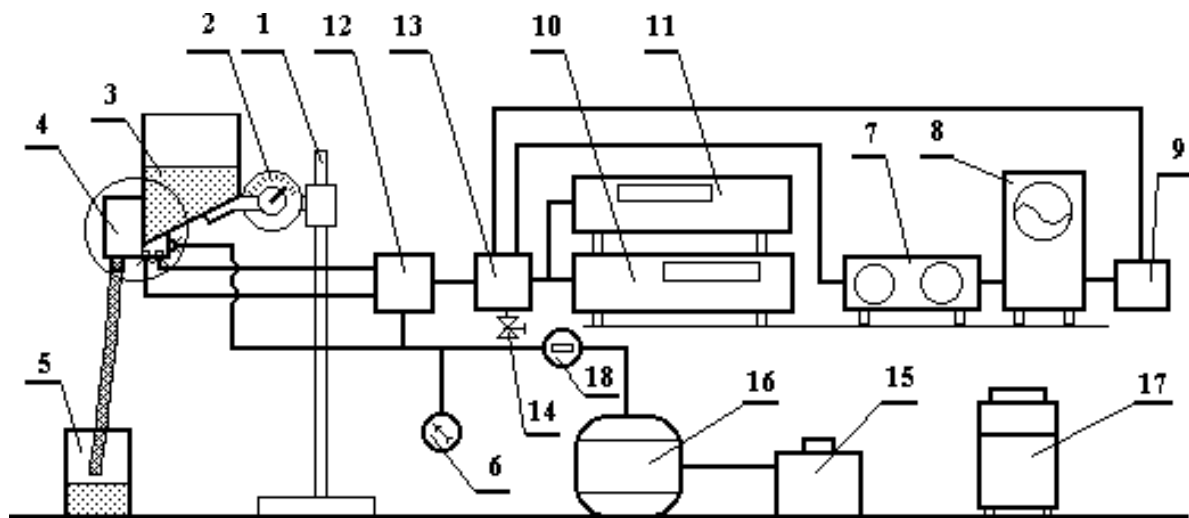
Рисунок 3.1. Управляючі струминні елементи пневмоніки:

а – різновиди струминних елементів; б – елементи на монтажній колодці.

Дослідження з вивчення впливу конструктивних, аеродинамічних, геометричних і кінематичних параметрів на процес висіву, а також розроблених висівних пристроїв проводили на лабораторній установці, схема та загальний вигляд якого представлено на рис. 3.2.

**3.1.2. Методи проведення експериментальних досліджень та обробка бази експериментальних даних.** Техніку проведення експериментальних досліджень здійснювалася в такій послідовності: підготовка і перевірка приладів і обладнання, установка запропонованих параметрів, виконання контрольних замірів, безпосередньо досліди і обробка отриманих результатів.

Дані експериментів фіксували у відповідних таблицях, на основі яких виконували аналіз результатів, і будували графічні залежності. Кількість повторностей визначали, виходячи з теоретичних передумов закономірностей процесу. При лінійній зміні вихідних параметрів розглянутого процесу кількість повторностей приймали від трьох до п'яти. Якщо зміна процесу протікає нелінійно, то кількість повторностей виконували не менше п'яти.



а



б

Рисунок 3.2. Схема (а) і загальний вигляд (б) лабораторної установки:

1 – штатив; 2 – поворотний кронштейн; 3 – ємність для насіння; 4 – висівний апарат з насіннепроводом; 5 – мірна ємність; 6 – манометр МЗМ (напоромір або тягомір); 7 – генератор сигналів спеціальної форми Г6-26; 8 – осцилограф С1-54; 9 – індуктивний датчик тиску ДМІ-0,1; 10 – генератор імпульсів Г5-53; 11 – частотомір Ф5041; 12 – струминний підсилювач на елементах «Волга»; 13 – пневмоелектроклапан; 14 – дросель; 15 – лабораторний трансформатор (ЛАТР); 16 – джерело тиску; 17 – ваги ВЛКТ-500М; 18 – об'ємний газовий лічильник G4PJ; 19 – Блок живлення

постійного струму «Агат».

Кількість повторностей вимірювань визначали за формулою [6]:

$$N > \frac{t^2 V^2}{\varepsilon^2}, \quad (3.1)$$

де  $t$  – гарантійний коефіцієнт, при довірчій ймовірності  $\alpha = 0,95$ ,  $t = 1,96$ ;

$V$  – очікуваний коефіцієнт варіації, %;

$\varepsilon$  – максимальна відносна похибка середнього, при  $\alpha = 0,95$ ,  $\varepsilon = 5\%$ .

Отримані дані перевірялися на наявність грубих помилок, які виключалися, якщо величина вимірювання більше або менше величин  $\lim x_{max}$  та  $\lim x_{min}$ , визначуваних по формулам, згідно [5]:

$$\lim x_{max} = x + k(x_{max} - x_{min}); \quad (3.2)$$

$$\lim x_{min} = x - k(x_{max} - x_{min}), \quad (3.3)$$

де  $\lim x_{max}$  і  $\lim x_{min}$  – гранично можливі максимальні і мінімальні значення вимірювань у досліджуваному ряду;

$x$  – середнє арифметичне значення ряду, обчислене без значень, які є грубими помилками вимірювання;

$x_{max}$  і  $x_{min}$  – максимальне і мінімальне значення вимірювань у ряду;

$k$  – коефіцієнт, що залежить від числа спостережень і вимірювань  $m$ . Приймаємо  $k = 0,9$ .

Подальшу обробку даних виконували методами математичної статистики [3], які використовуються при довірчій оцінці результатів вимірювань.

Для оцінки відтворюваності вимірювань використовували критерій Кохрена, який визначається за формулою:

$$K_o = \frac{D_{max}}{\sum_1^N D_i}, \quad (3.4)$$

де  $D_{max}$  – максимальна дисперсія по рядках;

$\sum D_i$  - сума дисперсій по рядках.

Якщо отримане значення  $K_o$  менше табличного  $K_m$ , прийнятого за довірчої ймовірності  $\alpha = 0,95$  і числі ступенів свободи серії  $f$ , то вимірювання в

експерименті вважаються відтворюваними, а кількість повторностей – достатньою.

### 3.2. Методика досліджень реологічних властивостей технологічних матеріалів

Згідно з прийнятою моделлю сипучого тіла (п. 2.11), досліджено реологічні властивості технологічних матеріалів, що взаємодіють з робочими органами. До них, зокрема, відноситься початковий опір зрушенню  $\tau_0$ , що характеризує зв'язність у шарі ґрунту, підготовленого до сівби.

Зв'язність визначається залежністю граничних дотичних напружень від нормального напруження у шарі ґрунту, яку будують за результатами його випробувань на трибометрі, загальний вигляд і схема якого представлені на рис. 3.3.

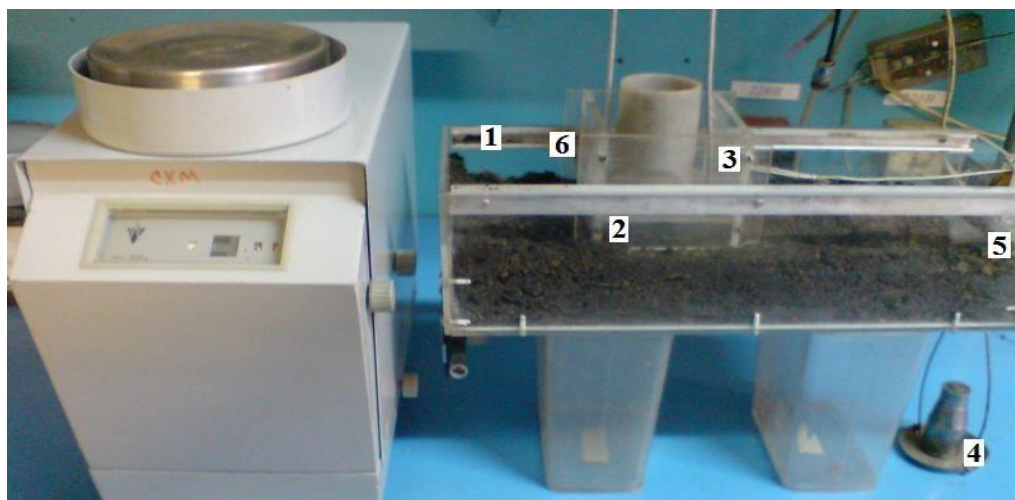
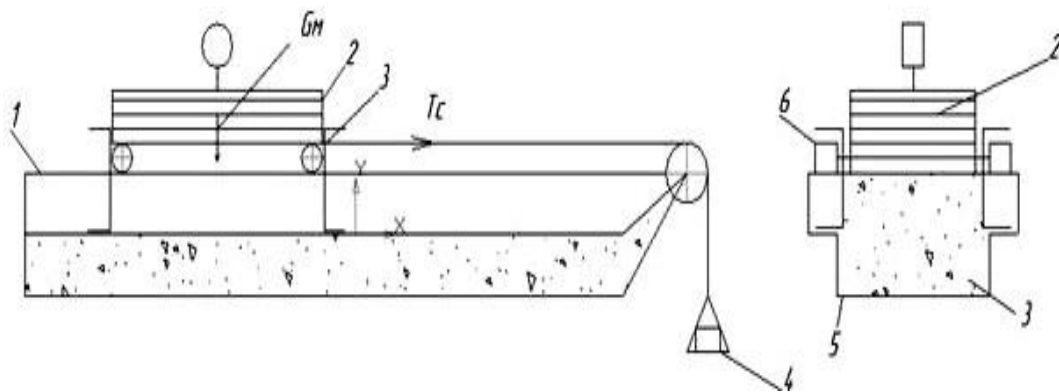


Рисунок 3.3. Трибометр: схема (а); загальний вигляд (б)

Порядок випробувань наступний. Жолоб 5 і рамку 3 заповнюють ґрунтом з щільністю, що відповідає його підготуванню до сівби, поверхня його вирівнюється. Ґрунт, що лежить в рамці 3, притискають до ґрунту в жолобі 5 притискними пластинами 2. Рамка катками 6 спирається на напрямні 1. Вона з'єднана з вантажною чашкою 4 шнуром, перекинутим через блок. На чашку 4 поступово укладаються гирі, що продовжується до тих пір, поки рамка 3 не почне рухатися, роблячи зрізання ґрунту.

За результатами випробувань будується графік залежності граничних дотичних напружень від тиску в шарі ґрунту (рис. 3.4), що характеризує його зв'язність і сипучість.

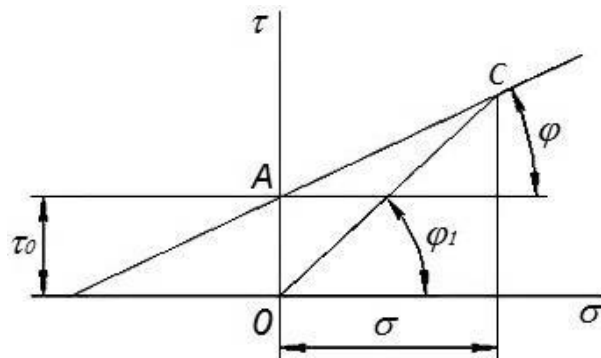


Рисунок 3.4. Графік залежності граничних дотичних напружень від нормального тиску:

$\sigma$  – нормальний тиск;  $\tau$  – дотичні напруження;  $\tau_0$  – початковий опір зрушенню;  $\varphi$  – кут внутрішнього тертя матеріалу.

Значення нормальних  $\sigma$  та дотичних  $\tau$  напружень, необхідних для побудови графіку, обчислюють по формулах:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{G_M}{F_3}; \\ \tau &= \frac{T_3 - T_P}{F_3}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де  $G_M$  – сумарна вага притискних пластин і матеріалу у рамці;

$T_3$  – сила зрушення;

$T_P$  – опір рухомої рамки і блоку.  $T_P = 0,054$  Н;

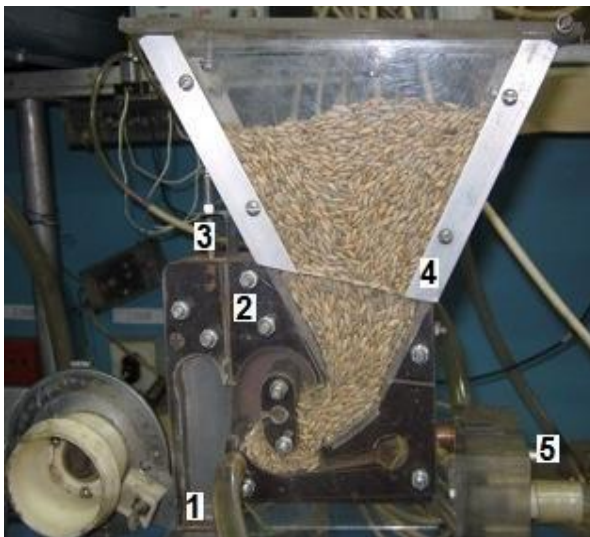


$F_3$  – площа зрізання,  $F_C = 0,006 \text{ м}^2$ .

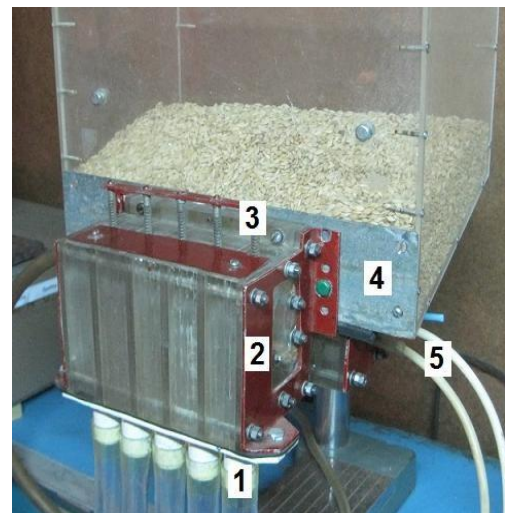
Отриману серію експериментальних точок наносили на діаграму залежності  $\tau - \sigma$  (рис. 3.5), а потім по цим точкам проводили пряму  $AC$  граничних дотичних напружень. Ця пряма в загальному випадку перетинає вісь ординат вище точки  $O$ , що характеризує зв'язність матеріалу. Відрізок  $OA$  визначає початковий опір зрушенню  $\tau_0$  ґрунту, підготовленого до сівби.

### 3.3. Методика стендових досліджень розроблених струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки

3.3.1. Дослідження запропонованих струминних висівних пристроїв з елементами пневмоніки на нерівномірність і нестійкість висіву. Висівні апарати повинні подавати безперервний і рівномірний вихідний потік насіння, посів насіння повинен бути стійким, насіння при висіві не повинно пошкоджуватися [10]. Запропоновані конструкції і принцип дії досліджуваних струминних висівних пристроїв на основі елементів пневмоніки (рис. 3.5...3.9) розглянуті у розділі 4.



а



б

Рисунок 3.5. Макет (а) та загальний вигляд (б) запропонованого універсального висівного апарата з елементами пневмоніки:

1 – насіннепроводи; 2 – висівний апарат; 3 – регулювальна заслінка;

4 – бункер для насіння; 5 – сигнальні трубки.

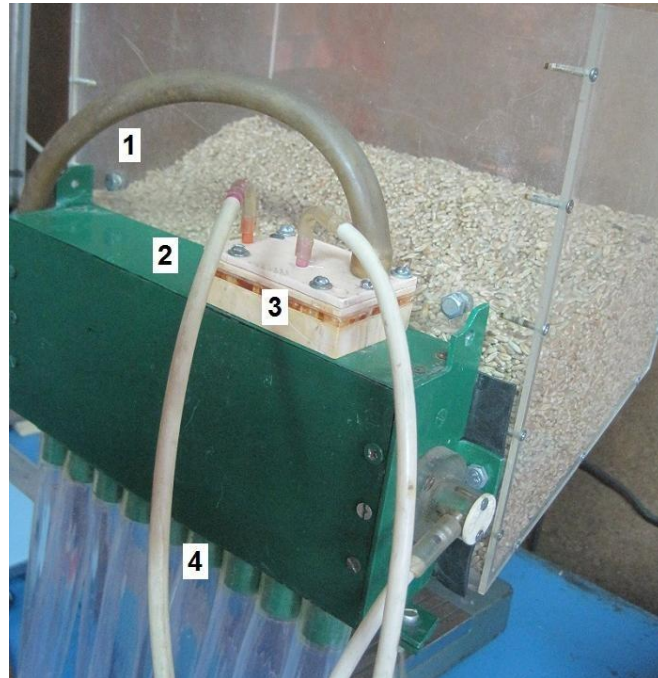


Рисунок 3.6. Загальний вигляд запропонованого струминного висівного апарата з пневматичним підсилювачем:

1 – бункер для насіння; 2 – висівний апарат; 3 – пневматичний підсилювач;  
4 – насіннепроводи.

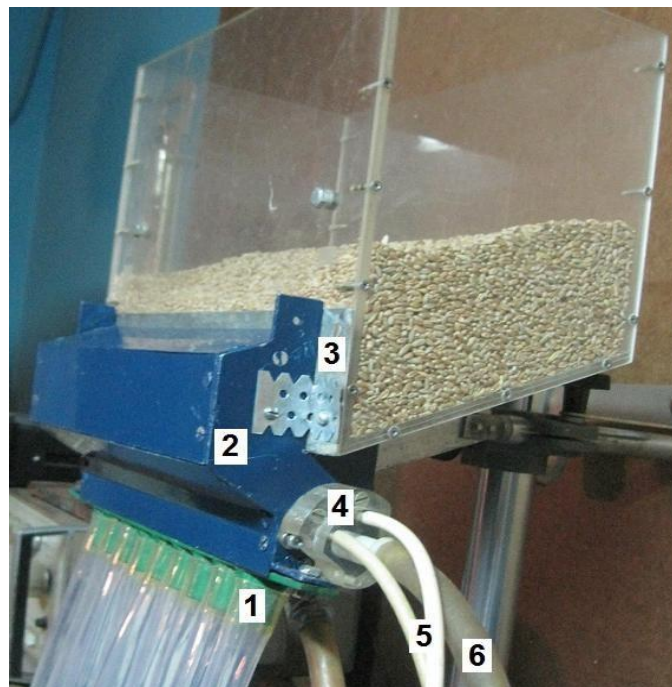


Рисунок 3.7. Загальний вигляд запропонованого висівного апарата с вихровим клапаном для зернових культур:

1 – насіннепроводи; 2 – висівний апарат; 4 – вихровий клапан;  
5 – управляючі трубопроводи; 6 – живлячий трубопровід.





Рисунок 3.8. Загальний вигляд запропонованого маятникового висівного апарату:

1 – бункер для насіння; 2 – висівний апарат; 3 – привод;  
4 – насіннепровід.

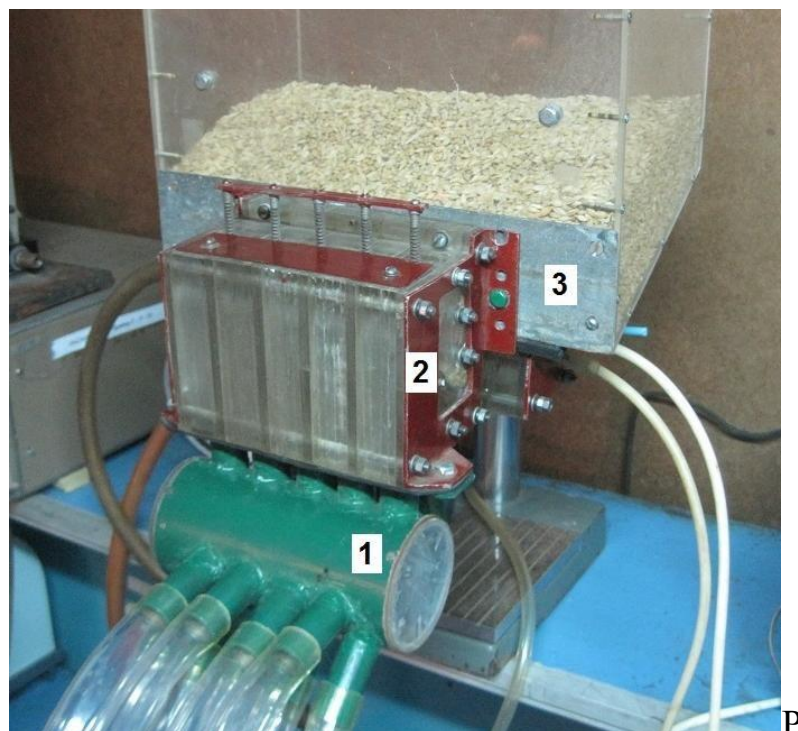


Рисунок 3.9. Загальний вигляд запропонованої пневматичної висівної системи для зернових культур з вихровим розподільником насіння:

1 – розподілювач; 2 – висівний апарат; 3 – бункер для насіння.

Робочий процес будь-якого висівного пристрою повинен задовольняти агротехнічним вимогам. З кількісної сторони оціночними показниками роботи апарату виступають коефіцієнти середньої нерівномірності висіву  $H, \%$  між окремими апаратами (патрубками у блочному апараті) і нестійкості висіву  $H_s, \%$  окремими апаратами (патрубками у блочному апараті). Їх величини при сівбі зернових культур не повинні перевищувати відповідно 5 і 3%.

На підставі представлених вимог до роботи висівних апаратів та існуючих методик проведення лабораторних досліджень процесу висіву [1], поставлено завдання проведення експериментальних досліджень, метою яких є визначення агротехнічних показників, параметрів і режимів роботи розроблених висівних пристроїв з елементами пневмоніки. При оцінці рівномірності створюваного вихідного потоку насіння застосовували такі способи [10]:

- зерновий струмінь спрямовували на стрічку, покриту клейким складом і рівномірно переміщається зі швидкістю, що відповідає швидкості посівної машини;

- зважували насіння, що висівається апаратами за певну кількість обертів привода або за певний час.

Експериментальні дослідження висівних пристроїв здійснювали на установці, представлений на рис. 3.3.

Штатив 1 з поворотним кронштейном 2 призначені для кріплення ємності з насінням 3 і апаратом 4, а також зміни кута нахилу апаратів у вертикальних поздовжній і поперечній площинах.

Висівні апарати та їх системи управління працюють від пневматичної мережі надлишкового тиску, що складається з джерела тиску 16, керованого ЛАТР 15 і регулюючого дроселя 14. Тиск у пневмережі контролюється відповідними приладами 6.

Для імітації дискретної системи синхронізації, що управляє висівними апаратами, до складу установки входить генератор імпульсів каліброваної амплітуди 10, блок живлення 19, пневмоелектроклапан 13 і струминний

підсилювач 12. Для контролю параметрів пневмоімпульсів застосовували електронно-лічильний частотомір 11, генератор імпульсів спеціальної форми 7, електронно-променевий осцилограф 8 та індуктивний датчик 9.

За допомогою генератора імпульсів встановлювали тривалість і частоту електричних імпульсів, які подаються на пневмоелектроклапан, призначений для перетворення електричного сигналу в пневматичний, за рахунок зворотно – поступального руху заслінки, що перекриває вхідний штуцер з частотою поданих електричних сигналів.

Отриманий пневматичний сигнал через підсилювач, що складається з елементів струминної автоматики типу "Волга"(рис. 3.2), подавали на висівний апарат. Значення тривалості і частоти імпульсів відображені на табло частотоміра.

Для контролю вірогідності значень амплітуди і тривалості, управляючий пневмоімпульс подавали на вхід індуктивного датчика тиску 9, що отримує електроживлення від блоку 19 «Агат», а також високочастотні сигнали від генератора сигналів спеціальної форми 7, потім пневмоімпульс перетворюється в електроімпульс і надходить на екран осцилографа 8.

Відбір проб висіяного насіння здійснювали в мірну ємність 5. Зважування проб проводили на вагах (рис. 3.10).



Рисунок 3.10. Зважування висіяного насіння.

Виходячи з виду насіння, вибирали частоту пневмоімпульсів. Рекомендована частота при сівбі насіння зернових культур становить 12...14 Гц. Проби для визначення подрібнення і пошкодження насіння відбирали під час дослідження нерівномірності висіву окремими апаратами (з господарської норми), об'єднуючи для цього в середню пробу насіння, висіяне усіма апаратами за повторність. Вміст пошкодженого насіння попередньо визначали у вихідному матеріалі. По різниці пошкодженого насіння, що пройшло через висівні апарати (насіннепроводи), і у вихідному матеріалі визначали подрібнення та пошкодження насіння висівними апаратами.

### **3.4. Висновки до розділу**

1. Обґрунтовано структуру, методи і методики експериментальних досліджень, які передбачають реалізацію циклу експериментів, спрямованих на дослідження силових пневмострумних елементів, з метою визначення їх оптимальних геометричних розмірів і режимів роботи, на агротехнічну оцінку розроблених висівних пристроїв і дослідження з автоматизації та управління процесом висіву в розроблених висівних пристроях.

2. Встановлено, що при здійсненні оцінки і реалізації результатів досліджень необхідно ґрунтуватися на визначенні показників енергетичної ефективності висівних апаратів і систем, а також на визначенні ефективності досліджень за показником мінімуму приведених витрат у різних варіантах посівних агрегатів. Показано, що при розрахунку приведених витрат більш раціонально використовувати енергетичні еквіваленти капіталовкладень і оборотних коштів, оскільки за енергетичною оцінкою простіше і природніше судити про ефективність технологій або машин.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗРОБЛЕНИХ СТРУМИННИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ВИСІВНИХ СИСТЕМ

### 4.1. Результати визначення початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби

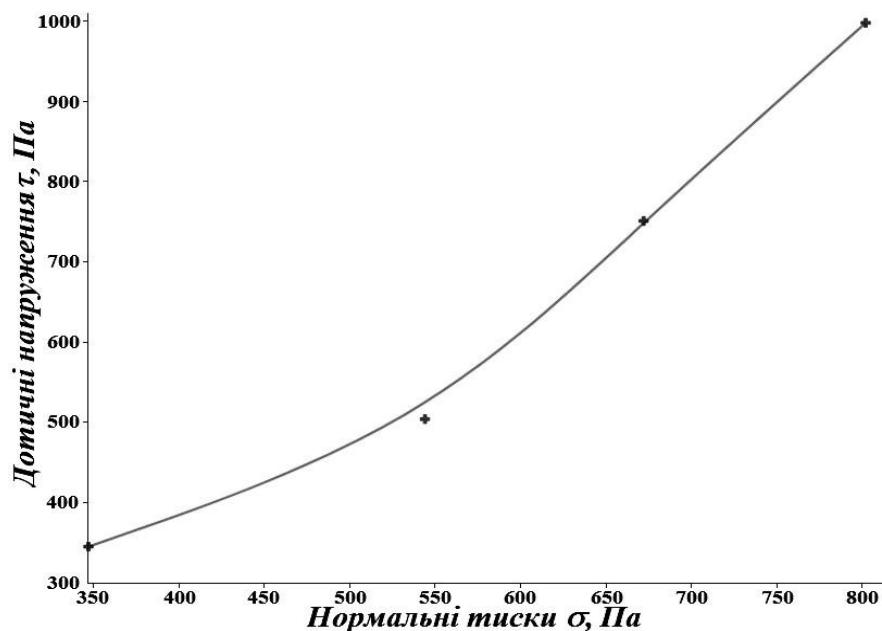
За результатами випробувань ґрунту на трибометрі визначено нормальні і дотичні напруження у посівному шарі (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Значення напружень у посівному шарі ґрунту

Номер експерименту	1	2	3	4
Нормальні напруження $\sigma$ , Па	347	544	672	802
Дотичні напруження $\tau$ , Па	345	491	751	998

За результатами експериментальних досліджень побудована залежність граничних дотичних напружень  $\tau$  від нормальних тисків  $\sigma$  (рис. 4.1), що характеризує величину початкового опору зсуву ґрунту, підготовленого до сівби.



Рисуюнок 4.1. Залежність граничних дотичних напружень ґрунту,

підготовленого до сівби, від нормальних тисків.

Апроксимацією експериментальних даних встановлено, що найбільш оптимальною залежністю зміни дотичних напружень  $\tau$  від нормальних тисків  $\sigma$  є рівняння квадратичної регресії:

$$\tau = 0,00194\sigma^2 - 10,574\sigma + 2085,7221. \quad (4.1)$$

Похибка апроксимації  $\Delta A = 2,8\%$ , фактичний критерій Фішера  $F\Phi = 199$ , табличний (критичний)  $F_T = 84$ . Оскільки  $F\Phi > F_T$ , це свідчить про статистичну надійність регресії.

Таким чином, початковий опір зсуву ґрунту, підготовленої під посів, становить  $\tau_0 \approx 334$  Па.

#### **4.2. Результати імітаційного моделювання функціонування силового струминного елемента**

В отриманій при імітаційному моделюванні картині газодинамічних процесів протягом повного циклу перемикання елемента були виділені основні етапи перемикання силового струменя і розповсюдження хвиль тиску.

На рисунку 4.5 представлений процес встановлення струменя в робочій камері елемента після подачі тиску живлення. По обидві сторони струменя йде процес утворення вихорів, які формуються випадковим чином. Зазначимо, що робоче середовище частково ежекується із каналів управління. Первинний потік струменя живлення скидається в атмосферні вікна і частково надходить у вихідні канали. Випадковим чином, виходячи з миттєвих опорів вихідних і атмосферних каналів, повітряний струмінь живлення встановлюється вздовж лівої стінки робочої камери. На зображенні (рис. 4.2), отриманому в середовищі Ansys Fluent можна бачити ядро струменя і його основний напрям.

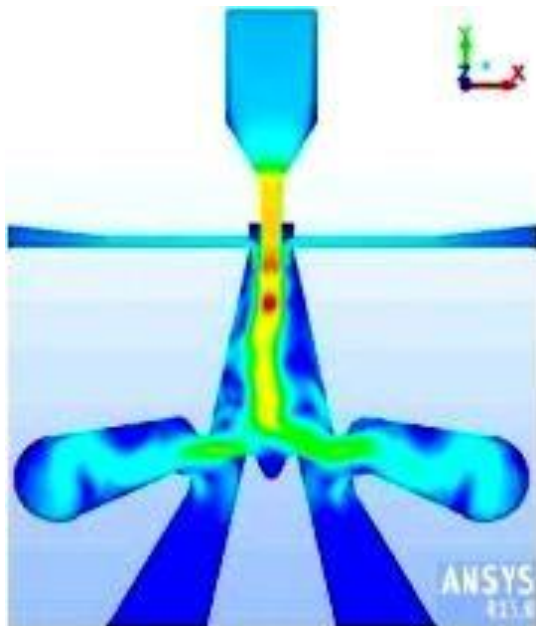


Рисунок 4.2. Фрагмент моделювання процесу встановлення струменя в робочій камері струминного елемента після подачі живлення в програмному середовищі Ansys Fluent.

На рис. 4.3 показано, як відбувається підвищення тиску в лівому вихідному каналі.

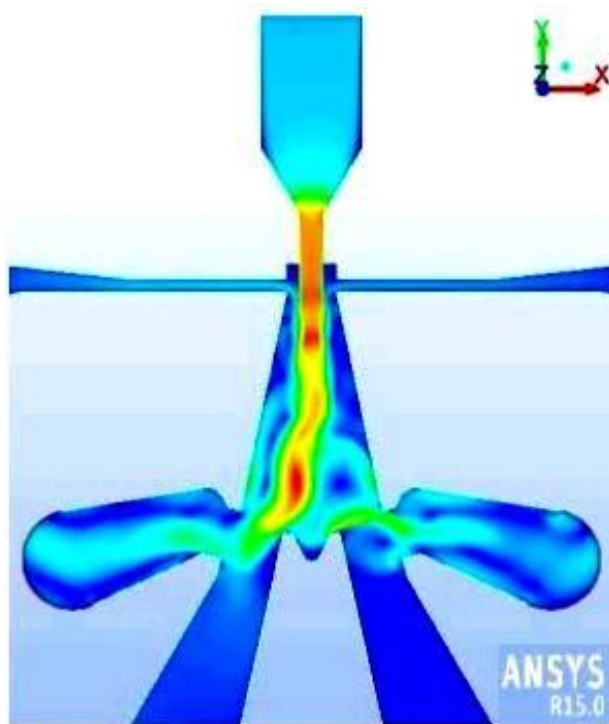


Рисунок 4.3. Фрагмент виявленого підвищення тиску в лівому вихідному каналі силового струминного елемента на моделі процесу.



Виявлена поява тиску управління в лівому керуючому каналі. Струмінь при цьому починає відхилятися вправо. Спостерігається надходження робочого середовища від силового струменя в правий канал управління і поширення хвилі тиску з нього назустріч потоку робочого середовища, який формується у верхньому вихідному каналі. Нестабільну поведінку силового струменя можна пояснити ще несталим плинном робочого середовища в камері елемента.

На моделі процесу (рис. 4.4) виявлено, що вже майже відхилений вправо струмінь скидається в ліве атмосферне вікно і поки не може подолати вихор відбитого потоку, що формується праворуч від нього.

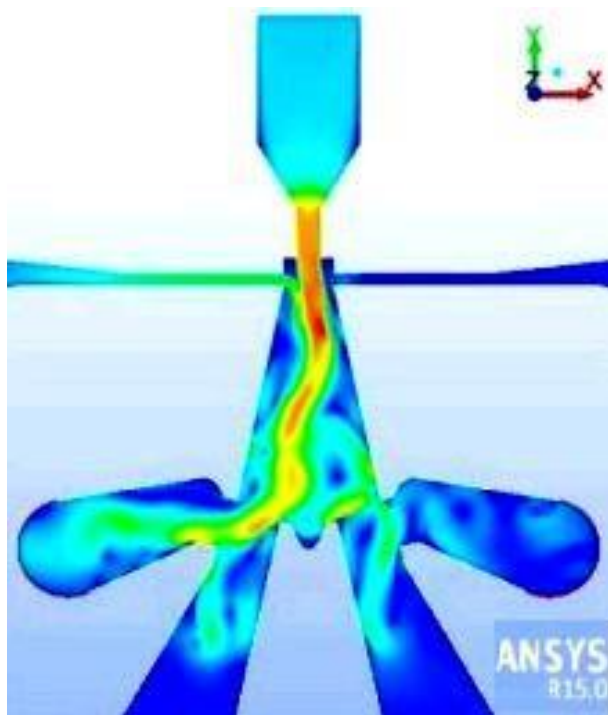


Рисунок 4.4. Момент скидання струменя в ліве атмосферне вікно силового струминного елемента на фрагменті моделі процесу.

Зауважимо, що коли в правий вихідний канал починається викид пульсацій тиску і витрати, які формує пульсуюче робоче середовище відбитого потоку, то вони можуть бути джерелом помилкових спрацьовувань струминного елемента. Цей процес добре помітний на рис. 4.8 («петля» у верхньому вихідному каналі).



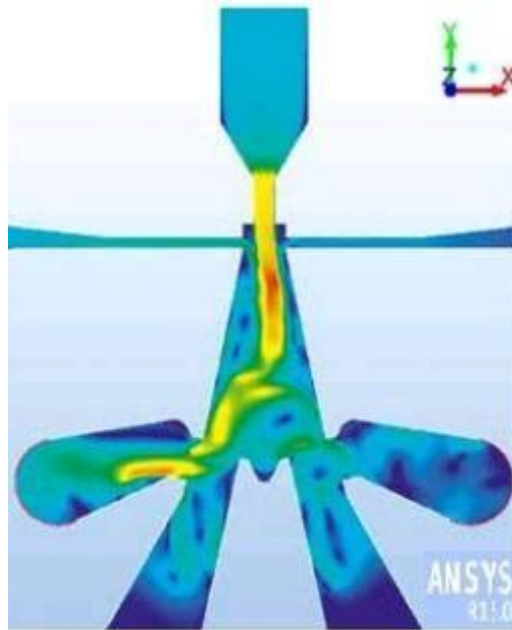


Рисунок 4.4. Фіксування моментів «паразитних» викидів пульсацій тиску і витрати в правий вихідний канал силового струминного елемента на фрагменті моделі процесу.

На фрагменті моделі процесу (рис. 4.6) видно, як струмінь знову встановлюється «середнє» положення, відхилившись від лівої стінки.

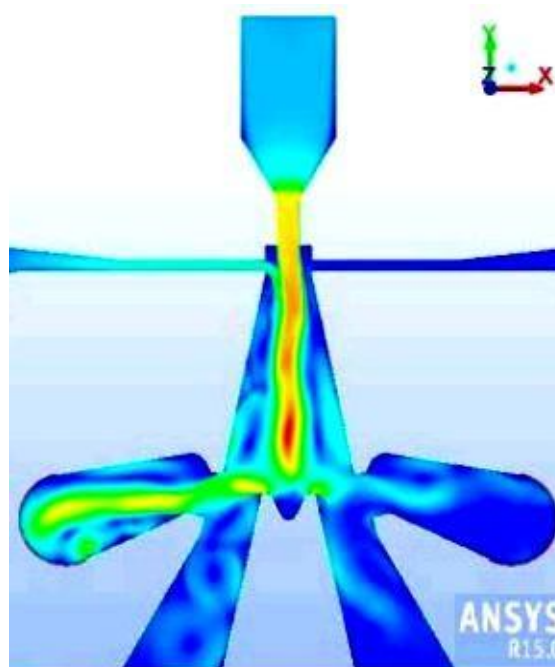


Рисунок 4.6. Фрагмент установалення струменя в середньому положенні в силовому струминному елементі на моделі процесу.

Виявлено, що основний потік скидається в лівий атмосферне канал, а по обидві сторони струменя формуються відображені потоки. В обох вихідних каналах формуються пульсації тиску. В розглянутий момент у верхньому вихідному каналі вони більше, що і визначає надходження керуючого тиску і витрати в лівий канал управління і переміщення силового струменя до правої стінки.

Визначено, що потужність нового відбитого потоку, який формується зліва від силового струменя, порівняна з потужністю силового струменя. Миттєвий потік, відбившись від лівої стінки робочої камери, направляється спочатку проти силового струменя, притискаючи його до правої стінки, а потім розриває його. Тільки подальше переміщення силового струменя до правої стінки робочої камери послаблює відбитий потік, і він починає ежектуватися силовим струменем.

Силовий струмінь відновлює свою цілісність. Пульсації тиску в лівому вихідному каналі призводять до пульсацій тиску в лівому управляючому каналі, що також викликає нестабільність положення силового струменя і дає початкові пульсації тиску в правий вихідний канал. Під впливом тиску в лівому управляючому каналі струмінь остаточно переходить до правої стінки струминного елемента (рис. 4.7).

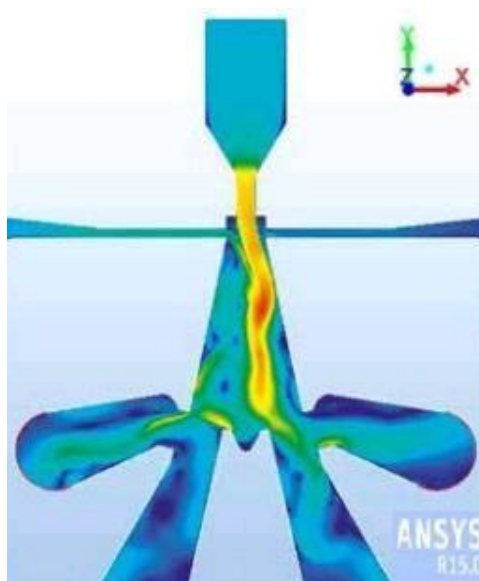


Рисунок 4.7. Фрагмент перемикання струменя до правої стінки силового

струминного елемента на моделі процесу.

Після цього потік робочого середовища в правому вихідному каналі починає перемикати силовий струмінь знову до лівої стінки робочого елемента, і при цьому формується правий відбитий потік (рис. 4.8).

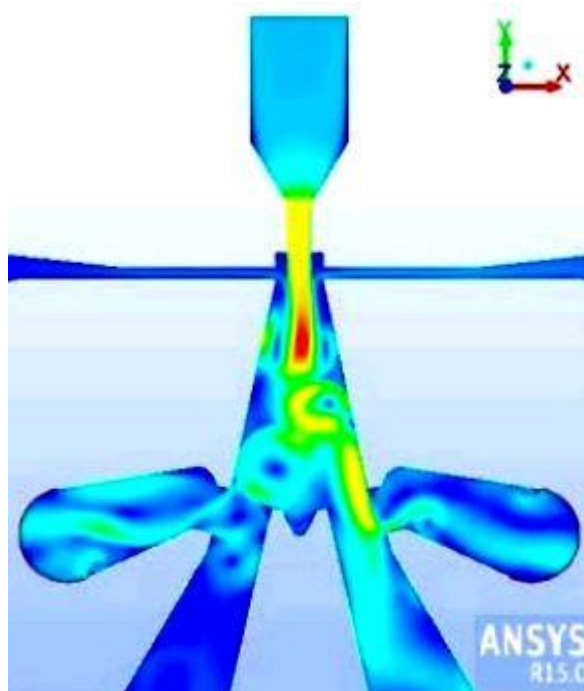


Рисунок 4.8. Фрагмент початку зворотного перемикання струменя до лівої стінки силового струминного елемента на моделі процесу.

В процесі його формування видно розрив силового струменя, що відхилився від правої стінки.

Таким чином, за результатами досліджень виявлено виникнення пульсацій тиску в правому вихідному каналі. Визначено, що одночасно починає надходити витрата у лівий канал управління, в той час як ядро струменя відхиляється вліво.

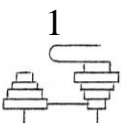
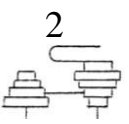
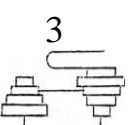
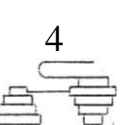
Процес перемикання починає повторюватися. Крім цього, зафіксовано розрив силового струменя і виникнення «паразитних» пульсацій тиску, що є ще одним джерелом помилкових спрацьовувань.

### 4.3. Результати випробувань автоматизованої системи регулювання норми висіву

Показники норми висіву, при управлінні положенням багатопозиційного пневматичного перемикача в автоматизованій системі регулювання норми висіву, представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

**Число пневмоімпульсів блоку управління на метр переміщення**

Положення ремня на шківках приводу блоку управління	Положення багатопозиційного пневматичного перемикача					
	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7
	0,51	1,00	2,05	4,03	5,55	6,08
	0,61	1,21	2,46	4,82	6,84	7,28
	0,74	1,46	2,97	5,83	8,03	8,80
	0,88	1,76	3,56	7,00	9,84	10,56

Графічну залежність кількості пневмоімпульсів на метр переміщення сівалки, від положення пневматичного перемикача системи управління нормою висіву представлено на рис. 4.9.

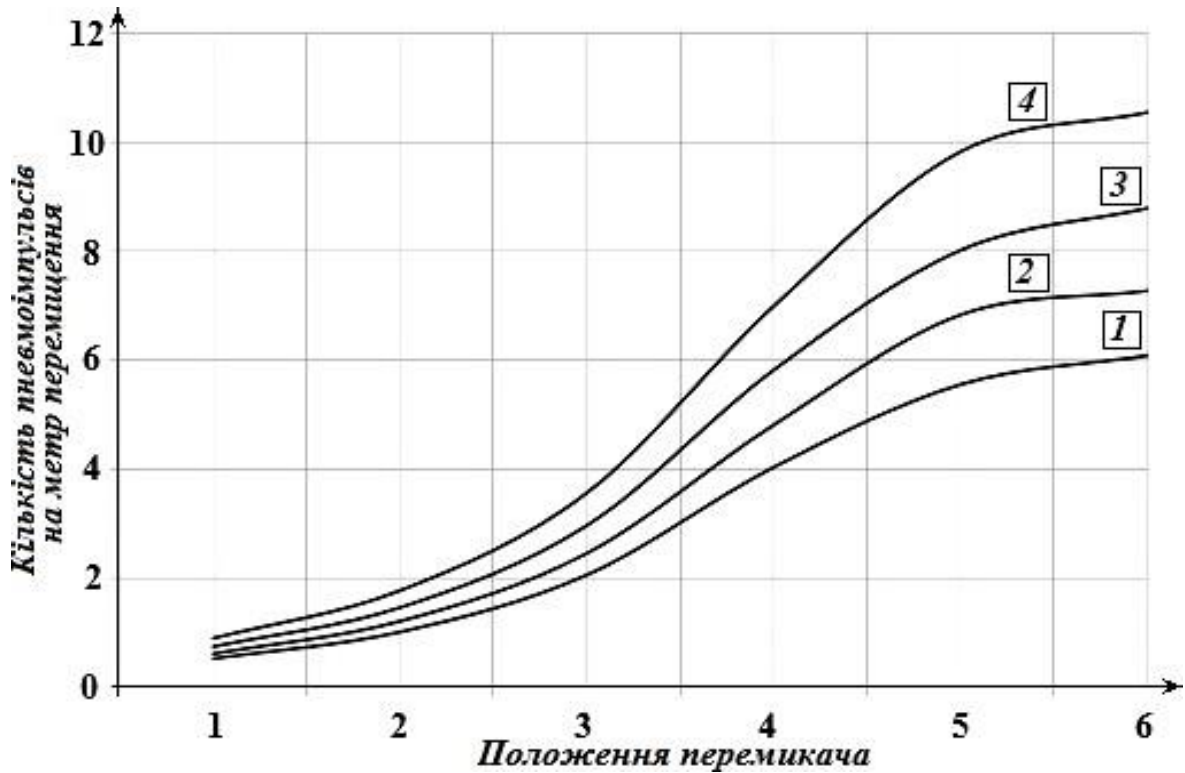


Рисунок 4.9. Показники регулювання автоматизованим виконавчим механізмом зміни норми висіву:

1...4 – положення паса на шківках приводу блоку управління.

Отримані залежності можна апроксимувати кубічної регресією:

$$y = ax^3 + bx^2 + cx + d, \quad (4.8)$$

де  $y$  – число пневмоімпульсів на метр переміщення сівалки;

$a, b, c, d$  – коефіцієнти рівняння регресії. Наприклад, для 1-го положення ременя на шківках приводу блоку управління  $a = -0,1104$ ,  $b = 1,1960$ ,  $c = -2,5165$ ,  $d = 1,9833$ .

$x$  – положення багатопозиційного пневматичного перемикача ( $x = 1 \dots 6$ ).

Похибка апроксимації  $\Delta A = 5,6\%$ , фактичний критерій Фішера  $F_\phi = 330,5$ , табличний (критичний)  $F_T = 19,2$ . Так як  $F_\phi \gg F_T$ , то рівняння регресії є статистично надійним.

#### 4.4. Висновки до розділу

1. Показано, що ґрунт, підготовлений до сівби, є зв'язним сипучим середовищем зі значенням початкового опору зсуву  $\tau_0 \approx 334$

2. Па.

2. Виявлено, що геометричні характеристики силового струминного елемента, розраховані теоретично або обрані відповідно до рекомендацій для управляючих елементів пневмоніки, не дозволяють забезпечити якісну роботу силового елемента. Тому необхідно брати до уваги гідродинамічну подібність і масштабні фактори, які встановлюються шляхом моделювання.

3. Виявлено, що при зменшенні норми висіву має місце погіршена рівномірність поздовжнього розподілу насіння, що можна пояснити підвищеною дискретністю подачі потоку посівного матеріалу. Отже, при регулюванні норми висіву бажано збільшувати число пневматичних імпульсів на метр переміщення, щоб стабілізувати норму висіву і тим самим знизити нерівномірність подачі та розподілу посівного матеріалу.

## 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

### 5.1 Дослідження та оцінка стану з охорони праці в ПП «Ларіни»

Науково-технічний прогрес обумовлює нові задачі, пов'язані з охороною праці. В умовах зросту механізації та автоматизації процесів зберігання та переробки зернової продукції, велике значення набуває проблема охорони праці працюючих.

Збільшення енергоозброєності та технічної оснащеності потребує своєчасного виявлення, усунення і потенційного прогнозування можливих небезпечних місць на виробничих лініях, складах та інших виробничих об'єктах. Необхідне проведення робіт профілактичного характеру, пов'язаних з попередженням нещасних випадків. Для цієї цілі відповідним службам з охорони праці необхідно керуватися:

1. Законом України «Про охорону праці», прийнятим Верховною Радою України 21 листопада 2002 року;
2. «Типовим Положенням» про навчання по питанням охорони праці;
3. «Інструкціями» – тобто нормативними актами, які містять обов'язкові для дотримання працівниками вимог з охорони праці при виконанні робіт на робочих місцях.

В ПП «Ларіни» за стан охорони праці відповідає директор, Черкашина Т.В. Їй підпорядковується інженер з питань охорони праці, який працює за сумісництвом і має практичний стаж роботи більше 3-х років.

До основних обов'язків директора входить:

- опрацювання ефективної цілісної системи управління ОП;
- сприяння удосконаленню діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;

В свою чергу спеціаліст з питань охорони праці контролює:

- дотримання чинного законодавства, міжгалузевих, галузевих та інших нормативних актів, виконання працівниками посадових

інструкцій з питань охорони праці;

- виконання приписів органів державного нагляду, пропозицій та подань уповноважених трудових колективів і профспілок з питань охорони праці;

- своєчасне проведення навчання та інструктажів працюючих, атестації та переатестації з питань безпеки праці посадових осіб та осіб, які виконують роботи підвищеної небезпеки, а також дотримання вимог безпеки при виконанні цих робіт.

За стан охорони праці на робочих місцях відповідають начальники цехів, майстри, бригадири. До їх обов'язків входить:

- забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування, будівель і споруд;

- забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;

- професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань опрацювання ефективної цілісної системи управління охороною праці;

- вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;

- професійного добору виконавців для визначених видів робіт.

Вступний інструктаж з питань охорони праці для працівників проводить спеціаліст з охорони праці підприємства.

В підприємстві погано організована пожежно-сторожова охорона, яка не оснащена зв'язком зі всіма підрозділами господарства. Графік чергувань пожежної охорони розроблено, але його не завжди дотримуються. Навчання правилам безпеки практично не ведеться.

Стан охорони праці на виробничих ділянках характеризує узагальнений коефіцієнт рівня охорони праці.

$$K_{cn}^u = \frac{K_d + K_b + K_{впр}}{3} \leq 1 \quad (5.1)$$



Розраховуємо коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці:

$$K_{\partial} = \frac{C_{\partial}}{C}, \quad (5.2)$$

де  $K_{\partial}$  – коефіцієнт рівня дотримання правил охорони праці;

$C_{\partial}$  – кількість працівників, що дотримуються правил охорони праці;

$C$  – загальна кількість працівників.

$$K_{\partial 2015} = \frac{9}{10} = 0,9;$$

$$K_{\partial 2016} = \frac{10}{10} = 1,0;$$

$$K_{\partial 2017} = \frac{10}{10} = 1,0.$$

Як показали розрахунки, рівень дотримання правил охорони праці в господарстві за останній рік підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт технічної безпеки обладнання:

$$K_{\sigma} = \frac{n_{\sigma}}{n}, \quad (5.3)$$

де  $K_{\sigma}$  – коефіцієнт технічної безпеки обладнання;

$n_{\sigma}$  – кількість одиниць обладнання, що відповідає вимогам безпеки і санітарним вимогам;

$n$  – загальна кількість обладнання.

$$K_{\sigma 2015} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2016} = \frac{20}{25} = 0,8;$$

$$K_{\sigma 2017} = \frac{23}{25} = 0,92.$$

Як показали розрахунки, рівень технічної безпеки в господарстві за останні роки підвищився.

Розраховуємо коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці:

$$K_{впр} = \frac{m_{ср}}{m}, \quad (5.4)$$

де  $K_{впр}$  – коефіцієнт виконання планових робіт з охорони праці;

$m_{ср}$  – кількість фактично виконаних запланованих робіт з охорони праці;

$m$  – загальна кількість запланованих робіт за певний відрізок часу.

$$K_{впр2015} = \frac{5}{10} = 0,5;$$

$$K_{впр2016} = \frac{6}{10} = 0,6;$$

$$K_{впр2017} = \frac{6}{10} = 0,6.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці дорівнює:

$$K_{сн2015}^ч = \frac{0,9 + 0,8 + 0,5}{3} = 0,73;$$

$$K_{сн2016}^ч = \frac{1,0 + 0,8 + 0,6}{3} = 0,8;$$

$$K_{сн2017}^ч = \frac{1,0 + 0,92 + 0,6}{3} = 0,84.$$

Коефіцієнт рівня охорони праці свідчить, що стан охорони праці в господарстві, як показують розрахунки даний показник за останній рік підвищився.

В господарстві стан охорони праці знаходиться на належному рівні, але маютья недоліки: не проводиться атестація робочих місць; підвищений рівень запиленості робочих місць; не проводиться інструктаж з охорони праці та надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства.

## **5.2 Аналіз показників виробничого травматизму та захворювань, причини їх виникнення в господарстві**

Метою дослідження виробничого травматизму є розробка заходів по запобіганню нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно

систематично аналізувати і узагальнювати їх причини. Аналіз причин травматизму дозволяє поділяти їх на організаційні, технічні, психофізіологічні та санітарно-гігієнічні.

Так, як в господарстві випадків травматизму за досліджувані роки не було, проводимо розрахунок показників захворювань.

Для їх кількісної характеристики використовують такі показники:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T}{P} \cdot 100 \quad (5.4)$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_{\text{в}} = \frac{D}{T} \quad (5.5)$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{\text{вт}} = \frac{D}{P} \cdot 100 \quad (5.6)$$

де  $T$  – кількість випадків захворювань за досліджуваний період;

$P$  – середньоспискова кількість працівників, чол.;

$D$  – сумарна втрата днів працездатності в результаті захворювань, днів.

Отже, за звітній період отримаємо наступні дані:

- коефіцієнт частоти захворювань:

$$K_{\text{ч}2015} = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10$$

- коефіцієнт важкості захворювань:

$$K_{\text{в}2015} = \frac{24}{1} = 24$$

- коефіцієнт втрат робочого часу:

$$K_{\text{вт}2015} = \frac{24}{10} \cdot 100 = 240$$

Основні показники захворювань зводяться до таблиці 5.1 та робляться висновки про його рівень.

Таблиця 5.1 – Основні показники захворювань по ПП «Ларіни»

Показники	Роки		
	2021	2022	2023
Кількість працюючих, чол.	10	10	10
Кількість захворювань, од	1	-	-
Втрати днів непрацездатності від захворювань	24	-	-
Коефіцієнт частоти	10	-	-
Коефіцієнт важкості	24	-	-
Коефіцієнт втрат робочого часу	240	-	-

### 5.3. Заходи по поліпшенню умов праці

Для покращення стану охорони праці на підприємстві, створення безпечних умов праці, зменшення виробничого травматизму та захворюваності, в наслідок чого підвищення рівня виробництва рекомендується:

- організувати кабінет з охорони праці;
- забезпечити кабінет необхідним обладнанням;
- закупити учбові плакати з охорони праці та розповсюдити їх по всіх виробничих підрозділах;
- систематично проводити демонстрацію фільмів про охорону праці та пожежну безпеку;
- проводити з працівниками лекції та бесіди з охорони праці;
- щомісяця проводити на підприємстві день охорони праці;
- налагодити пропаганду безпечних умов праці.
- слідкувати за чистотою площадок для зберігання техніки.
- перевірити лінії електропередач, висоту введів в приміщення. Висота ліній по нижньому проводу повинна бути не менше 6 м, а висота вводу в приміщення не менше 2,5 м.
- перевірити блискавкозахист приміщень.

- перевірити контури заземлення електрообладнання та встановити захисні щитки.

- забезпечити протипожежним інвентарем, резервуарами з водою та вогнегасниками.

- посадити зелене насадження.

- забезпечити кожний агрегат аптечкою першої медичної допомоги.

- регулярно проводити інструктажі з охорони праці.

- забезпечити всі виробничі приміщення плакатами з охорони праці.

В разі виникнення пожежі на стаціонарних об'єктах викличте пожежну команду, повідомте керівництво і приступіть до ліквідації осередку загоряння згідно з вимогами інструкції про заходи з пожежної безпеки.

При виникненні пожежі на електроустановках у першу чергу необхідно повідомити про це пожежну охорону, відповідального за електрогосподарство, керівника робіт.

У випадку загоряння зерна погасіть топку, виключіть вентилятори і вивантажувальні пристрої, закрийте випускні заслінки і, не зупиняючи подачі вологого зерна, відкрийте люки дифузорів, виявивши осередок загоряння, через вікно короба спробуйте витягнути його із шахти. Якщо осередок загоряння усунути не вдається, включіть розвантаження на максимальну продуктивність, а осередки загоряння зерна гасіть водою й усувайте з основного потоку зерна. Після розвантаження всього зерна ретельно очистіть стінки камери й поверхню коробів від нагару.

При загорянні одязі постарайтесь зняти її або накрийте палаючу ділянку щільною матерією, при можливості занурте у воду.

Розрахунок освітлення виробничих приміщень

Специфіка обладнання підприємств зі зберігання техніки полягає в тому, що воно майже не потребує місцевого освітлення, тому розраховуємо загальне освітлення. Розрахунок проведемо для основних виробничих приміщень.

Розрахунок виконаємо за методом використання світлового потоку. Для цього знайдемо висоту підвісу світильників:

$$H_c = H - (h_p + h_r), \text{ м} \quad (5.8)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочого місця, м;

$h_r$  – відстань від стелі до світильника, м.

Для всіх приміщень висота підвісу буде складати:

$$H_c = 6 - (1,15 + 0,45) = 4,4 \text{ м}$$

Далі визначаємо показник приміщення:

$$\varphi = \frac{a \cdot b}{H_c (a + b)}, \quad (5.9)$$

де  $a$  і  $b$  – довжина і ширина приміщення відповідно, м.

Для виробничого відділення цей індекс складає:

$$\varphi = \frac{18 \cdot 9}{4,4 \cdot (12 + 9)} = \frac{162}{118,8} = 1,36$$

Далі визначаємо кількість світильників в цеху при умові розміщення їх один від одного на відстані три метри:

$$n = \frac{S}{l^2}, \text{ шт} \quad (5.10)$$

Звідси, 
$$n = \frac{162}{9} = 18 \text{ шт}$$

Таким чином, приймаємо кількість світильників рівну 18 шт.

Далі визначаємо світловий потік однієї лампи за формулою:

$$F = \frac{E_{\min} \cdot K \cdot Z \cdot S}{n \cdot \eta} \quad (5.11)$$

де  $E$  – мінімальна освітленість, що дорівнює 150 люкс;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує запиленість світильників ( $K = 1,7$ );

$Z$  – відношення середньої освітленості до мінімальної ( $Z = 0,53$ );

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$n$  – кількість світильників, шт.;

$\eta$  – коефіцієнт використання світового потоку ( $\eta = 0,55$ ).

Розрахунковий світовий потік складає:

$$F = \frac{150 \cdot 1,7 \cdot 0,53 \cdot 162}{18 \cdot 0,55} = 2211 \text{ лм}$$

Отже,

$$E = \frac{2211 \cdot 18 \cdot 0,55}{1,7 \cdot 162 \cdot 0,53} = 150 \text{ лк}$$

Далі за визначеним мінімальним світовим потоком вибираємо лампи для світильників. Таким чином, для обраних світильників типу ОДОР приймаємо люмінесцентні газорозрядні лампи ЛДЦ потужністю 40 Вт.

*Рекомендації щодо покращення охорони праці*

1. Більше уваги приділяти навчанню робітників підрозділів, керівнику підприємства і інженеру з охорони праці.

2. Перевірити стан вентиляції в приміщеннях.

3. Обладнати належним чином місця для куріння на всіх виробничих ділянках, керівнику підприємства.

4. Звернути особливу увагу на проведення інструктажів з питань охорони праці, ознайомити працівників зі способами надання першої медичної допомоги, для учнів і студентів, які прибувають на виробничу практику до господарства, інженеру по охороні праці. Провести атестацію робочих місць.

**Висновки**

У даному розділі приведені стан охорони праці та обов'язки відповідальних осіб з охорони праці на підприємстві, проаналізований стан охорони праці в цеху. У частині інженерних розрахунків для покращення умов праці та підвищення безпеки виробництва був проведений розрахунок системи освітлення приміщень. Також був розроблений план дій виробництва при вибуху, як найбільш ймовірній надзвичайній ситуації. На підставі проведеного аналізу стану охорони праці на підприємстві був розроблений план заходів і засобів спрямованих на покращення умов та безпеки праці, підвищення культури виробництва та зниження травматизму робітників.

## 6. Економічна ефективність впровадження сівалки у виробництво

Основними експлуатаційними показниками роботи агрегатів є: продуктивність, витрати робочого часу, паливно-мастильних матеріалів, питомі експлуатаційні і приведені затрати. Продуктивність агрегату (га/зм) і витрати палива (л/га, кг/га) визначають за типовими нормами виробітку і витрат палива на механізовані польові роботи або у відповідності з нормами встановленими в господарстві.

Економічна ефективність запропонованої роботи визначається шляхом порівняння показників існуючого агрегату (базового) з проектним.

Вихідними даними для розрахунку річного економічного ефекту є показники, наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

### Вихідні дані проекту використання нового складу агрегату

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Вид роботи, що виконується	Сівба	
Склад агрегату	Case MX 285+ VEGA 16 PROFİ	Case MX 285+ VEGA 16 PROFİ Composite
Обсяг роботи (річне навантаження), га	$Q^{\delta} = 3024$	$Q^n = 3150$
Продуктивність агрегату за годину робочої зміни (середньозважена), га/год.	$W^{\delta}_{год} = 7,2$	$W^n_{год} = 7,5$
Витрата палива, л/га	$g_n = 4,9$	$g_n = 4,6$
Балансова вартість сівалки, грн.	$B^{\delta} = 1100000$	$B^n = 1048000$
Тривалість зміни, год.	$T_{зм}^{\delta} = 7$	$T_{зм}^n = 7$
Кількість обслуговуючого персоналу, осіб	$K_{np}^{\delta} = 1$	$K_{np}^n = 1$
Комплексна ціна 1 кг пального, грн.	$Ц_k^{\delta} = 32$	$Ц_k^n = 32$

Проведемо розрахунки експлуатаційних витрат посівної машини VEGA 16 PROFİ в агрегаті з трактором Case MX 285, укомплектованої серійними та запропонованими деталями.



Питомі експлуатаційні витрати посівного агрегату визначаються за формулою:

$$C_{пит} = C_{пмм} + C_{зп} + C_{м}, \quad (6.1)$$

де  $C_{пмм}$  - вартість паливно-мастильних матеріалів, грн./га;

$C_{зп}$  - оплата праці персоналу, який обслуговує агрегат, грн./га.

$C_{м}$  - сума витрат на реновацію, капітальний і поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання, заміну шин, грн./га.

Вартість паливно-мастильних матеріалів знайдемо за формулою:

$$C_{пмм} = Ц_k \cdot g_{га} \cdot 0,83 \cdot K_i, \quad (6.2)$$

де  $Ц_k$  - комплексна ціна 1 кг палива;

$g_{га}$  - витрата палива, л/га (для базового варіанту при агрегуванні з трактором Case MX 285 - 4,9 л/га, для проектного - 4,6 л/га);

$K_i$  - коефіцієнт який враховує індексацію цін на паливо ( $K_i = 1$ ).

Визначаємо для двох варіантів:

$$C_{пмм}^б = 52 \cdot 4,9 \cdot 0,83 \cdot 1 = 130,88 \text{ грн./га.}$$

$$C_{пмм}^п = 52 \cdot 4,6 \cdot 0,83 \cdot 1 = 122,17 \text{ грн./га.}$$

Питомі експлуатаційні витрати для посівної машини:

$$C_{м} = \left[ \frac{B_m \cdot a_{рм}}{100 \cdot n_{зм}^м \cdot G_n^{рік}} + \frac{(C_{прм} + C_{том} + C_{зм})}{G_n^{рік}} \right] \cdot K_i, \quad (6.3)$$

де  $B_m$ ,  $a_{рм}$  - відповідно балансова вартість (грн.) та норма відрахувань на реновацію машини (%), норму амортизаційних відрахувань приймаємо - 11%.

$C_{прм}$ ,  $C_{том}$ ,  $C_{зм}$  - відповідно питомі нормативні витрати на поточний ремонт, технічне обслуговування, зберігання зчіпки, (грн). Для модернізованого агрегату витрати на ТО зменшуються з 8,5 до 5,5 відсотків, за рахунок відсутності проведення ТО модернізованих вузлів;

$n_{зм}^м$ ,  $G_n^{рік}$  - річне нормативне завантаження (нормо-змін) та річне завантаження агрегату (га).

Фактична балансова вартість серійної машини - 1100000 грн., експериментальної: 1148000 грн. (додатково необхідно затратити 48000 грн. на

проведення модернізації в умовах спеціалізованої ділянки)

При використанні серійного комплексу:

$$C_m^{\sigma} = \left[ \frac{1100000 \cdot 11}{100 \cdot 60 \cdot 3024} + \frac{93500}{3024} \right] \cdot 1 = 31,59 \text{ грн./га.}$$

При використанні модернізованого комплексу:

$$C_m^n = \left[ \frac{1148000 \cdot 11}{100 \cdot 60 \cdot 3150} + \frac{63140}{3150} \right] \cdot 1 = 20,70 \text{ грн./га.}$$

Оплату праці обслуговуючого персоналу розраховуємо за формулою:

$$C_{zn} = \frac{1,49 \cdot (K_{нк} \cdot m_{мех} \cdot f_{мех}) \cdot 1,02 \cdot K_3}{W_{зм}}, \text{ грн./га.} \quad (6.4)$$

де 1,49 і 1,02 - коефіцієнти, які беруть до уваги при нарахуванні оплати праці;

$K_{нк}$  - коефіцієнт, який передбачає класність механізаторів. Приймаємо коефіцієнт 1,2 для трактористів-машиністів першого класу;

$m_{мех}$  - кількість трактористів-машиністів;

$f_{мех}$  - оплата праці за змінну норму (тарифні ставки) виробітку відповідно трактористам машиністам, грн./зм.;

$W_{зм}$  - змінна продуктивність серійного посівного агрегату, дорівнює 50,4 га, а модернізованого 52,5;

$K_3$  - коефіцієнт збільшення оплати праці за рахунок інфляції, приймаємо  $K_3 = 1$ .

Підставивши вказані дані маємо:

$$C_{zn}^{\sigma} = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 200) \cdot 1,02 \cdot 1}{50,4} = 7,24 \text{ грн/га.}$$

$$C_{zn}^n = \frac{1,49 \cdot (1,2 \cdot 1 \cdot 200) \cdot 1,02 \cdot 1}{52,5} = 6,95 \text{ грн/га.}$$

Питомі експлуатаційні витрати посівного агрегату визначаємо з формули (5.1):

- для базового:

$$C_{нит}^{\sigma} = 130,88 + 31,59 + 7,24 = 169,71 \text{ грн./га.};$$

- для проектного (модернізованого):

$$C_{num}^n = 122,17 + 20,70 + 6,95 = 149,82 \text{ грн./га.}$$

Величину капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$K^{сер} = \frac{B_m \cdot a_{рм}}{100 \cdot G_n^{рік}}, \text{ грн/га.} \quad (6.5)$$

При експлуатації серійного посівного агрегату маємо:

$$K^{\bar{с}} = \frac{1100000 \cdot 10}{100 \cdot 3024} = 36,37 \text{ грн./га.}$$

Величина капітальних вкладень при експлуатації модернізованого посівного агрегату:

$$K^n = \frac{1148000 \cdot 10}{100 \cdot 3150} = 36,44 \text{ грн./га.}$$

Приведені витрати знаходимо за формулою:

$$П_с = C_3 + E \cdot K, \text{ грн/га,} \quad (6.6)$$

де  $E = 0,15$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

При використанні серійної сівалки:

$$П_с^{\bar{с}} = 169,71 + 0,15 \cdot 36,37 = 175,17 \text{ грн/га.}$$

При використанні проектного варіанту (модернізованої сівалки):

$$П_с^n = 149,82 + 0,15 \cdot 36,44 = 155,29 \text{ грн/га.}$$

Виходячи з отриманих результатів можна стверджувати, що експлуатаційні та приведені витрати на один га при експлуатації посівної машини з удосконаленими вузлами тертя менші, ніж при експлуатації базового (серійного) варіанту.

Крім того додатковий економічний ефект від впровадження полімерно-композитних матеріалів дозволить підвищити врожайність на 2...4 ц/га. Це можливо за рахунок підвищення рівномірності вкладання насіння на задану глибину та, як наслідок отримання більшої кількості одновікових рослин на полі, що дозволяє мінімізувати негативний вплив хімізасобів захисту рослин.

Отже, економічний ефект на 1 га площі дорівнює:

$$E_{ef}^{за} = П_с^n - П_с^{\bar{с}} = 175,17 - 155,29 = 19,88 \text{ грн./га}$$

При річному завантаженні посівної машини 3150 га, річний економічний ефект від впровадження складе:

$$E_{\text{еф}}^{\text{рік}} = F \cdot (P_e^n - P_e^o) = 3150 \cdot (175,17 - 155,29) = 62622 \text{ грн.}$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = K/P. \quad (6.7)$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = 48000/62622 = 0,76 \text{ року}$$

Якщо врахувати, що за рахунок підвищення рівномірності сівби врожайність збільшиться на 2 ц/га, то при загальній площі вирощування близько 3000 га, маємо додатковий валовий збір 600 т.

При середній ціні реалізації (зерно кукурудзи) 5000 грн./т маємо додатковий економічний ефект 3000000 грн.

Отримані показники заносимо до таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

### Техніко-економічні показники роботи

Показник	Одиниця виміру	Варіант	
		Базовий	Проектний
Склад агрегату	-	Case MX 285 VEGA 16 PROFI	Case MX 285 VEGA 16 PROFI Composite
1	2	3	4
Продуктивність агрегату	га/год	7,2	7,5
Балансова вартість сівалки:	грн.	1100000	1148000
Сума витрат на реновацію, ремонт та ТО	грн./га	31,59	20,70
Вартість ПММ	грн./га	130,88	122,17
Оплата праці	грн./га	7,24	6,95
Експлуатаційні витрати	грн./га	169,71	149,82
Величина капітальних вкладень	грн./га	36,37	36,44
Приведені витрати	грн./га	175,17	155,29
Питомий економічний ефект	грн./га	-	19,88
Річний економічний ефект	грн.	-	62622
Термін окупності капітальних вкладень:	років	-	0,76

Техніко-економічними розрахунками встановлено, що економічний ефект від експлуатації, модернізованої експериментальними вузлами тертя, сівалки VEGA 16 PROFİ разом з трактором Case MX 285, складає 62622 грн. Вартість модернізації посівного комплексу VEGA 16 PROFİ в умовах спеціалізованого підприємства складає 48000 грн. При цьому термін окупності додаткових капіталовкладень - 0,76 року. Якщо врахувати збільшення валового збору врожаю на 2 ц/га за рахунок підвищення якості сівби, то термін окупності додаткових капітальних вкладень буде в рази менший.

## Загальні висновки

В магістерській роботі вирішено проблему підвищення ефективності роботи зернових сівалок на основі застосування пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки, із забезпеченням автоматизованого управління їх робочим процесом.

1. На основі аналізу стану проблеми встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається системою комплексів показників ефективності, в якій можна виділити чотири взаємопов'язані підсистеми:  $C$  - витрат коштів;  $\wedge$  - якості висіву;  $T$  - техніко-експлуатаційного рівня сівалок;  $A$  - автоматизації та інформатизації робочого процесу. Обґрунтовано, що загальною методологічною основою їх покращення є системний підхід та його методи - системний аналіз і синтез, при розробці та прийнятті найбільш раціональних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи зернових сівалок.

2. З використанням еволюційних обчислень на основі генетичних алгоритмів показано, що закономірність зміни динаміки показників ефективності зернових сівалок з традиційними висівними системами в даний час можна описати 5-подібною функцією. Виявлено, що швидкість руху і продуктивність, які визначають інтенсивний характер розвитку зернових сівалок, досягають насичення в певний момент часу, а ширина захвату, маса і матеріалоемність, що визначають екстенсивний характер розвитку зернових сівалок, мають тенденцію до безперервного зростання з непропорційним підвищенням витрат і зниженням ефективності їх застосування.

3. Дослідженнями встановлено тенденцію вепольного напрямку розвитку висівних апаратів і систем зернових сівалок та з'ясовано, що у вепольних системах розвиток йде у напрямку переходу від аналогових механічних впливів до дискретних імпульсних і електромагнітних впливів, що дозволило обґрунтувати рішення щодо створення сімейства пневматичних висівних пристроїв дискретної дії, які дають можливість зменшити енергоємність роботи зернових сівалок і більш ефективно здійснювати автоматизацію.

4. На основі встановленої динаміки закономірності зміни показників ефективності роботи зернових сівалок запропоновано і обґрунтовано комплексний критерій ефективності - співвідношення витрат енергії, виражених тяговим опором, до продуктивності, що дозволило доцільність підвищення швидкості роботи зернових сівалок. Фізичний зміст розглянутого критерію полягає в здатності машини долати опір або працювати з максимальною ефективністю, а конструктивно-технологічні рішення, закладені у посівних машинах, можуть порівнюватися на основі запропонованого критерію.

5. Випробуваннями розробленими пневматичними дискретними висівними пристроями з елементами пневмоніки на рівномірність і нестійкість висіву виявлена їх відповідність агротехнічним вимогам, оскільки у всіх випадках коефіцієнт варіації нерівномірності висіву між окремими виходами апаратів менше 5%, а коефіцієнт варіації нестійкості висіву в окремих виходах блоків висівних апаратів менше 3%. Встановлено, що при висіві насіння з різними фізико-механічними властивостями показники нерівномірності і нестійкості висіву змінюються. При нахилі вихрового розподільника насіння понад 12° характеристики рівномірності висіву погіршуються.

6. Показано, що конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компоувальною схемою групового висіву і пневматичною дискретною висівною системою на основі елементів пневмоніки дозволяє зменшити матеріалоємність конструкцій, знизити тяговий опір на 12% і енергоємність роботи сівалок в середньому на 13%, до значень 14,5 кВт/м ефективної потужності двигуна енергозасобу, а також економити експлуатаційні і приведені витрати до 16% у порівнянні з іншими варіантами посівних машин, висівних апаратів і систем.

7. Результати техніко-економічних розрахунків показали, що річний економічний ефект від впровадження запропонованого матеріалу в конструкцію рухомих з'єднань механізму копіювання складає 62622 грн. При цьому термін окупності додаткових капіталовкладень - 0,76 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко М. Г., Деменчук В. А. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві: Підручник. - К.: Вища школа. 2015. 237 с.
2. Гарькавий А.Д. Конкурентоспроможність технології машин: навчальний посібник / А.Д. Гарькавий, В.Ф. Петриненко, А.В. Спирін. - Вінниця: ВДАУ - „Тірас”. - 2023. 68 с.
3. Глуховський В. С. Комплексна механізація вирощування цукрових буряків. - К.: Урожай, 2006. 245 с.
4. Дубчак В.М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М. Дубчак, В.М. Пришляк, Л.І. Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. 254 с.
5. Іванов М.І., Гунько І.В., Ковальова І.М., Худолій О.І. Аналіз технологічних систем. Навчальний посібник. Частина 1. Вінниця.2010. 113с.
6. Ільченко В. Д. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Д. Ільченко, П. І. Карасьов, А. С. Лімонт та ін.: За ред. В.Д. Ільченка. - К.: Урожай, 2013. 288 с.
7. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, В. М. Швайко \*[та ін.] ... М-во аграр. політики України , Вінниц. держ. аграр. ун-т; . - Київ : Хай-Тек Прес, 2011. 616 с.
8. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість [Текст] : підручник. ... за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. - Київ : Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.
9. Калетнік Г.М. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. – К.: «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.
10. Ковбаса В. П. Пришляк В.М., Ярошук Р. О. Визначення впливу сільськогосподарської техніки на ґрунт. Всеукраїнський науково–технічний



журнал «Вібрації в техніці та технологіях», Вінниця: 2019. №4 (95). С. 76-81.

11. Методика навчання і наукових досліджень у вищій школі: Навчальний посібник /С.У. Гончаренко, П.М. Олійник, В.К. Федорченко та ін.; За ред. СУ. Гончаренка, П.М. Олійника. - К.: Вища шк., 2013. 323 с.

12. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. - К.: Агроосвіта, 2012. 584 с.

13. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: підруч. У 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. - К.: Агроосвіта, 2016. - 434 с.

14. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / За ред...В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2021. 140 с.

15. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні: Навч. Посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полевода / За ред.. В.С. Павленка. – Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. 110 с.

16. Пат. № 6280. Україна, АОІС 7/08. Пристрій для визначення рівномірності розподілення насіння / А.В. Рудь, І.О. Мошенко, Ю.Ф. Павельчук, В.М. Жалоба, Л.М. Михайлова. № 2003119972; Заяв. 5 листопада 2003 р. Опубліковано 16. 05. 2015. Бюл. № 5.

17. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. Посібник / За ред. Мельника. - К.: Кондор. - 2014. 284 с.

18. Практикум по сільськогосподарських машинах і знарядь А. В. Рудь, О. М. Коноваленко, І. О. Мошенко, В. В. Іванишин - К.: Урожай, 2006. 208 с.

19. Пришляк В.М. Грунтово-регіональні особливості сівби та розробка стенду сівалки Міжн. наук. журн. Випуск 28. Кам'янець-Подільський-Тернопіль: СМП «ТАЙП» 2018. С.183 - 190.

20. Рудь А.В., Павельчук Ю.Ф., Жалоба В.М., Михайлова Л.М. Патент на корисну модель №18854 Україна. А01С7/08 Пристрій для визначення рівномірності розподілу насіння. Опубліковано 15.11.2016. Бюл. №11.

21. Рудь А.В. Деклараційний патент 51400 А01В 49/06. „Сівалка”. - №2002032028; Заяв. 13.03.2002, Опубліковано 15.11. 2012. Бюл. № 11.

22. Рудь А. В., Мошенко І. О. Методичні вказівки для підготовки даних на дипломне проектування з механізації вирощування сільськогосподарських культур (програма переддипломної практики) - Кам'янець-Подільський, ПДАТА, 2019. 11 с.

23. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. - К.: Вища освіта, 2014 544 с.

24. Спірін А.В., Твердохліб І.В., Борисюк Д.В., Омелянов О.М. Охорона праці в галузі. Практикум.– Вінниця: РВВ ВНАУ, 2015. 127 с.

25. Українська інтенсивна технологія вирощування сільськогосподарських культур // За ред. О. М. Ткаченка, М. В. Роїка. - Київ "Академпрес", 2011. 140 с.

26. Bastow G. Drill unit testing service. - Brit Lugar Beet Rev., 2016, № 49(4) . P. 59-61.

# ДОДАТКИ

**Міністерство освіти і науки України**  
**Дніпровський державний аграрно-економічний університет**

Інженерно-технологічний факультет

**ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ**  
**ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА**

Магістерська кваліфікаційна робота на здобуття  
освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 Агроінженерія

---

Виконав: студент групи МГАІ -2-22  
Матвієнко Д.О.

Керівник: к.т.н., доцент  
Пономаренко Н.О.

Дніпро - 2023

# ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності робочого процесу зернових сівалок шляхом застосування пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

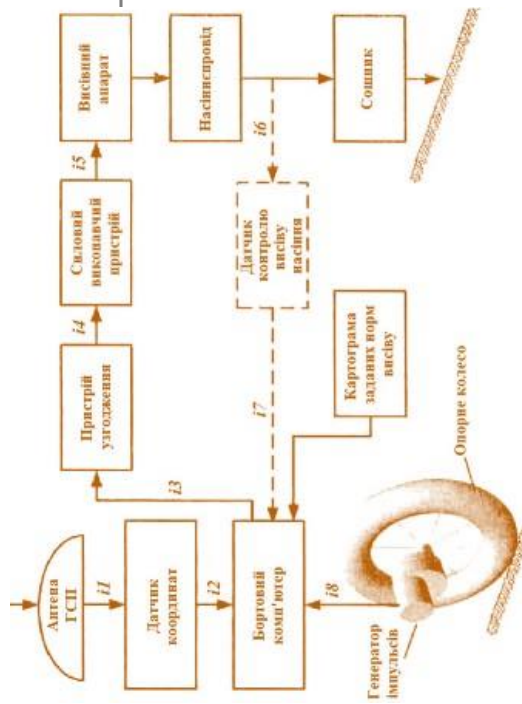
- виконати аналіз стану проблеми підвищення ефективності роботи зернових сівалок, встановити чинники ефективності;
- провести дослідження закономірності динаміки зміни значень показників ефективності, що характеризують конструкції і робочий процес зернових сівалок, та з'ясувати напрямки удосконалення, розробки і застосування зернових сівалок;
- обґрунтувати геометричні характеристики силових струминних елементів висівних апаратів;
- удосконалити конструктивно-компонувальні схеми пневматичних висівних апаратів і систем дискретної дії з елементами пневмоніки для створення та подачі по сошниках вихідного потоку насіння в зернових сівалках;
- експериментально дослідити закономірності зміни показників, що характеризують процес висіву розробленими пневматичними апаратами і системами дискретної дії;
- встановити енергетичну і техніко-економічну ефективність застосування розроблених пневматичних висівних апаратів і пристроїв дискретної дії.

Об'єкт дослідження – робочий процес зернових сівалок і висівних систем.

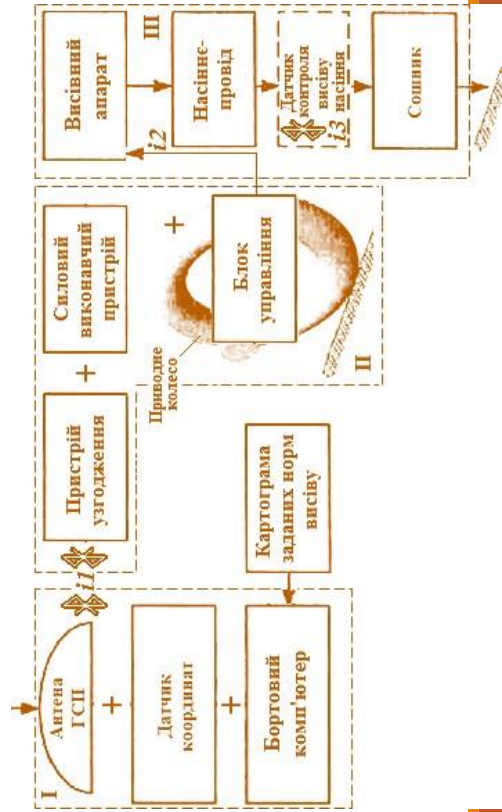
Предмет дослідження – ефективність робочого процесу, принципи дії і конструктивно-компонувальні схеми зернових сівалок та висівних систем.



# ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ПНЕВМАТИЧНОГО ВИСІВНОГО АПАРАТА



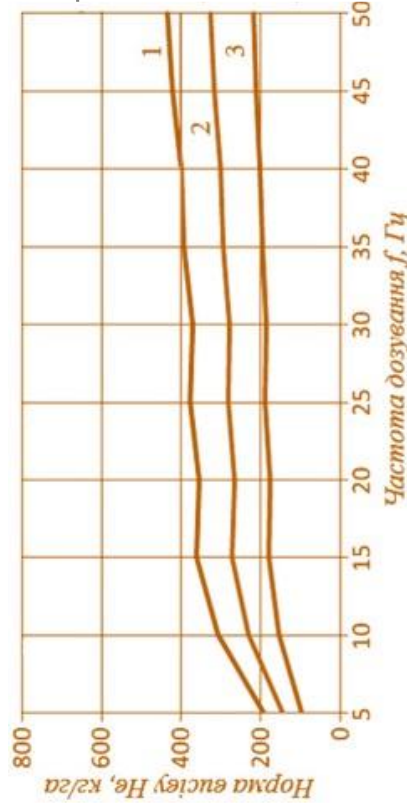
Вихідна структурна модель місцевизначеного посіву.



Структурна модель з мехатронним модулем для місцевизначеного посіву в висівних апаратах і системах з елементами пневмоніки:

- I – обчислювальний пристрій
- II – мехатронний модуль;
- III – висівна система.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМАТИЧНОЇ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ З ЕЛЕМЕНТАМИ ПНЕВМОНІКИ



Залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування при тиску живлення струминного елемента  $P_{ж} = 7$  кПа та швидкості руху сівалки  $V = 3$  м/с:

1 – апарат АВМ-1М; 2 – апарат АВМ-1МА;  
3 – апарат АВМ-1МА з дільником потоку насіння.

**Потужність приводу вентилятора для живлення висівних апаратів сівалки**

Норма висіву при швидкості руху  $V = 3$  м/с

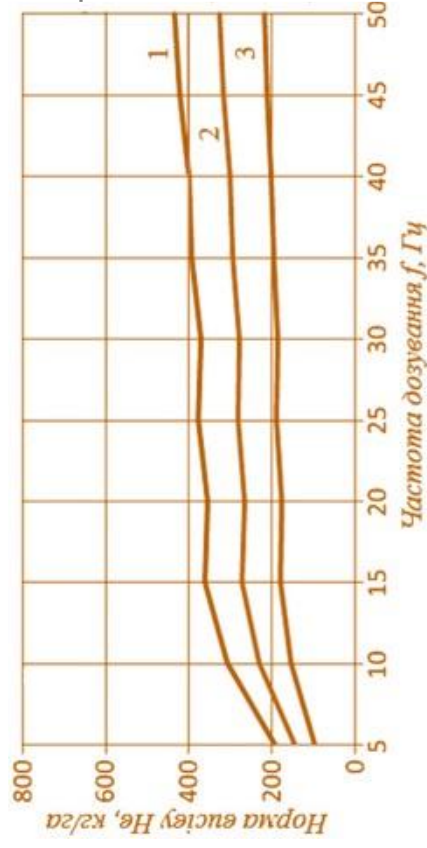
$$N_{\text{вст}} = \frac{\zeta (kN_{\delta} + N_{\theta})}{\eta_{\epsilon} \eta_{\pi} \eta_{\text{пт}}},$$

$$N = \frac{10 \cdot m_{\text{сп}} \cdot f}{0,15 \cdot 3} = 22,22 \cdot m_{\text{сп}} \cdot f.$$

де  $k$  – кількість дозаторів на сівалці;  
 $\zeta$  – коефіцієнт урахування втрат тиску;  
 $\eta_{\epsilon}$  – ККД відцентрового вентилятора;  
 $\eta_{\pi}$  – ККД підшипників;  
 $\eta_{\text{пт}}$  – ККД пасової передачі.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПНЕВМАТИЧНОЇ ВИСІВНОЇ СИСТЕМИ ДИСКРЕТНОЇ ДІЇ З ЕЛЕМЕНТАМИ ПНЕВМОНІККИ



**Залежність норми висіву насіння пшениці від частоти дозування при тиску живлення струминного елемента  $P_{ж} = 7$  кПа та швидкості руху сівалки  $V = 3$  м/с:**  
 1 – апарат АВМ-1М; 2 – апарат АВМ-1МА;  
 3 – апарат АВМ-1МА з дільником потоку насіння.

**Потужність приводу вентилятора для живлення висівних апаратів сівалки**

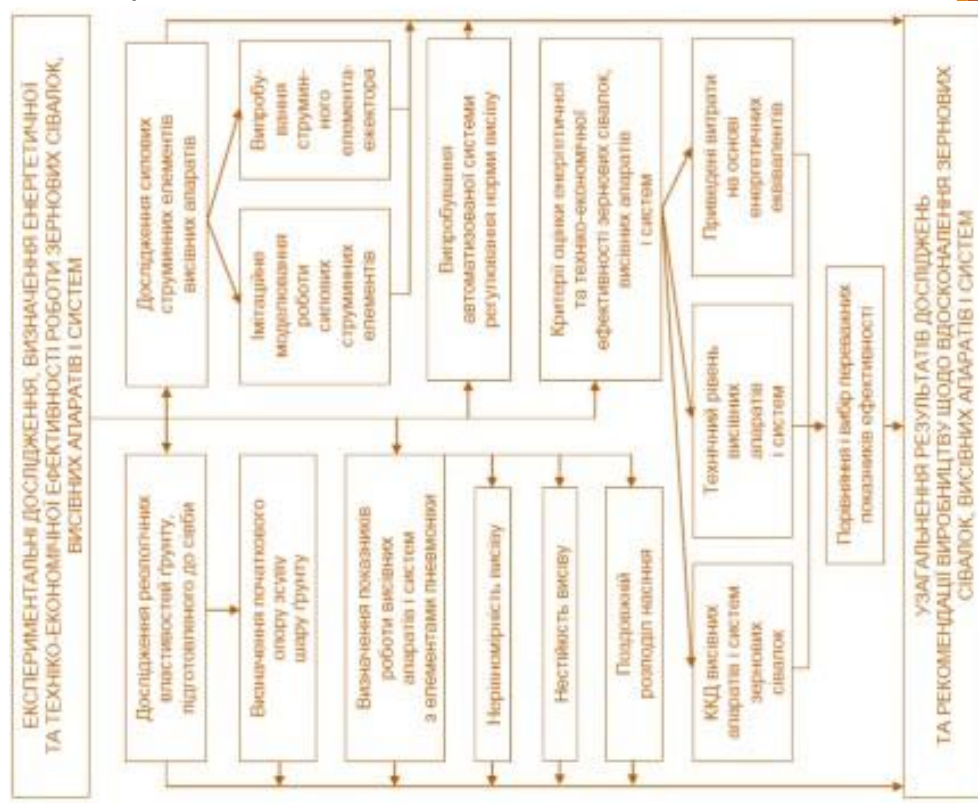
Норма висіву при швидкості руху  $V = 3$  м/с

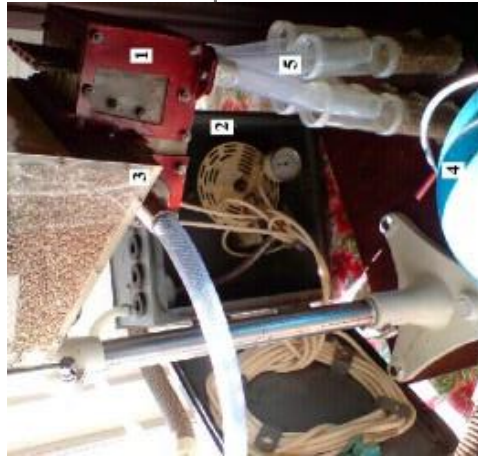
$$N = \frac{10 \cdot m_{сп} \cdot f}{0,15 \cdot 3} = 22,22 \cdot m_{сп} \cdot f.$$

$$N_{сп} = \frac{\zeta (kN_d + N_s)}{\eta_e \eta_n \eta_{пп}}$$

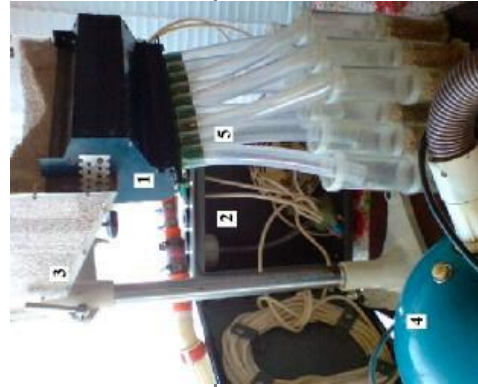
де  $k$  – кількість дозаторів на сівалці;  
 $\zeta$  – коефіцієнт урахування втрат тиску;  
 $\eta_e$  – ККД відцентрового вентилятора;  
 $\eta_n$  – ККД підшипників;  
 $\eta_{пп}$  – ККД пасової передачі.

## СТРУКТУРНА ПОСЛІДОВНІСТЬ МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ





а)



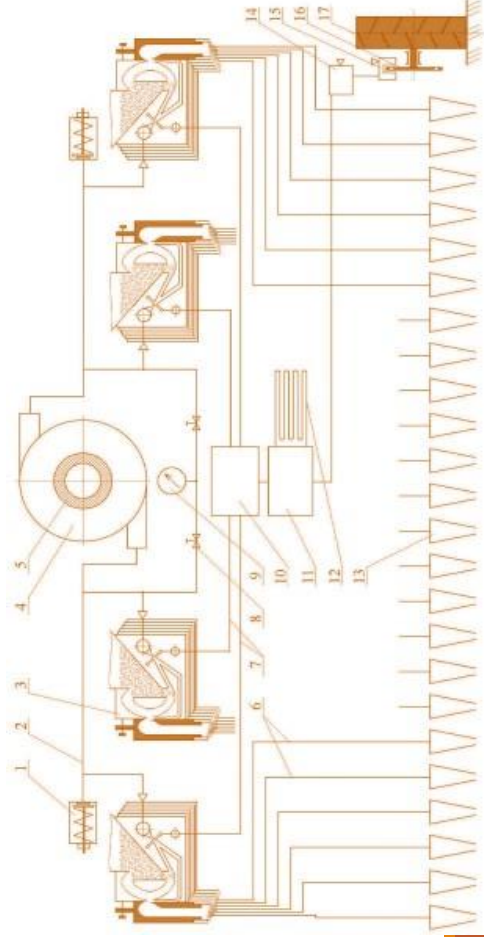
б)

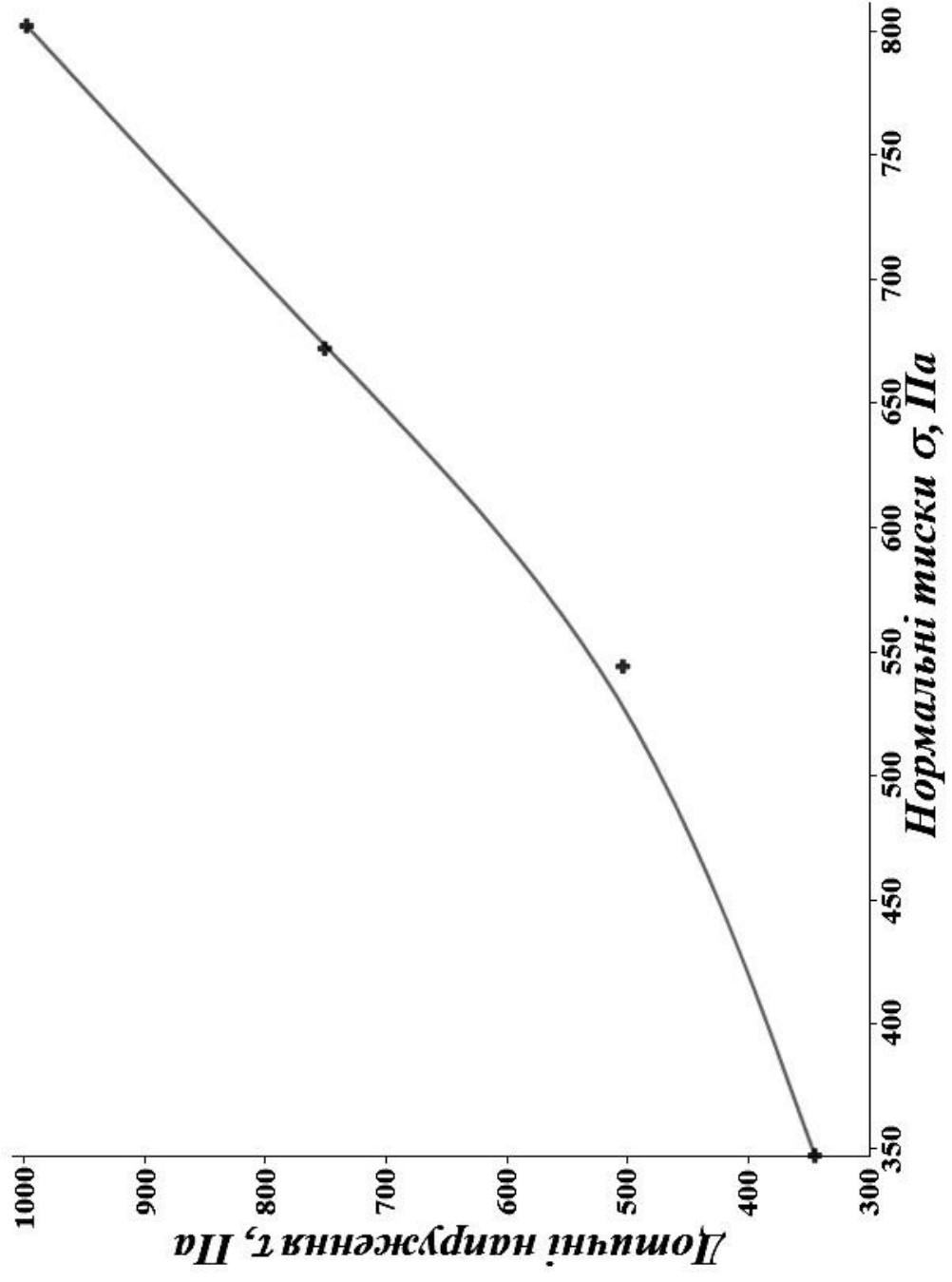
**Загальний вигляд запропонованого універсального висівного апарату без рухомих деталей (а) та висівного апарату з вихровим клапаном (б)**

- 1 – висівний апарат;
- 2 – блок управління;
- 3 – бункер;
- 4 – джерело тиску;
- 5 – напіснепроводи.

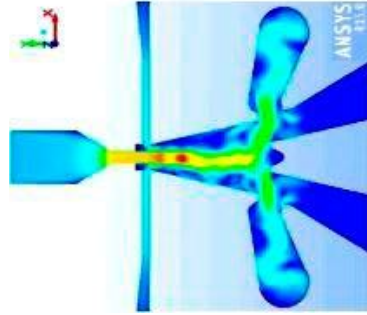
**Схема запропонованої висівної системи зернової сівалки на основі пневматичних апаратів дискретної дії з елементами пневмоніки:**

- 1 – стабілізатор тиску;
- 2 – силові пневмопроводи;
- 3 – висівний апарат;
- 4 – джерело надлишкового тиску;
- 5 – фільтр;
- 6, 7 – сигнальні пневмопроводи;
- 8 – дроселі;
- 9 – манометр;
- 10 – підсилювач пневмоімпульсів;
- 11, 12, 14, 15, 16 – елементи пневмоніки;
- 13 – сошники;
- 17 – приводне колесо.

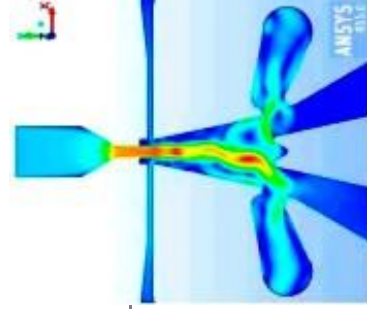




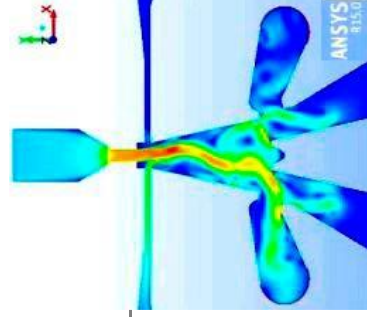
## МОДЕЛЮВАННЯ СИЛОВОГО СТРУМИННОГО ЕЛЕМЕНТА



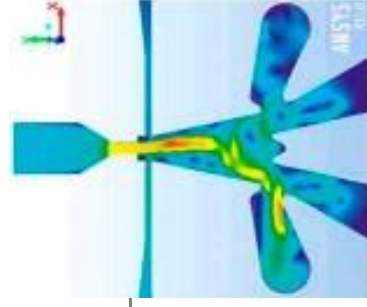
Фрагмент процесу встановлення струменя в камері після подачі живлення



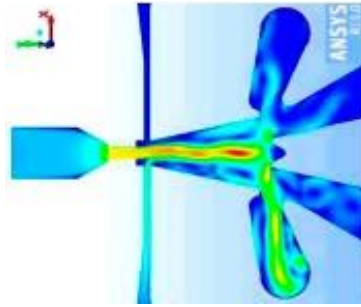
Фрагмент підвищення тиску у лівому вихідному каналі елемента



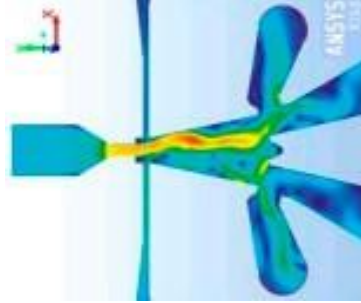
Фрагмент скидання струменя у ліве атмосферне вікно елемента



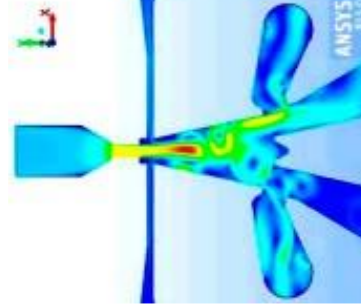
Відображення «паразитних» викидів пульсації тиску і витрати в правий канал



Фрагмент встановлення струменя у середнє положення в елементі



Фрагмент перемікання струменя до правої стінки струмінного елемента



Фрагмент початку зворотного перемікання струменя до лівої стінки елемента



Силовий струмінний елемент, виготовлений на основі моделювання



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу стану проблеми встановлено, що ефективність роботи зернових сівалок визначається системою комплексів показників ефективності, в якій можна виділити чотири взаємопов'язані підсистеми: *C* - витрат коштів; *B* - якості висіву; *T* - техніко-експлуатаційного рівня сівалок; *A* - автоматизації та інформатизації робочого процесу. Обґрунтовано, що загальною методологічною основою їх покращення є системний підхід та його методи - системний аналіз і синтез, при розробці та прийнятті найбільш раціональних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи зернових сівалок.
2. З використанням еволюційних обчислень на основі генетичних алгоритмів показано, що закономірність зміни динаміки показників ефективності зернових сівалок з традиційними висівними системами в даний час можна описати 5-подібною функцією.
3. Дослідженнями встановлено тенденцію вепольного напрямку розвитку висівних апаратів і систем зернових сівалок та з'ясовано, що у вепольних системах розвиток йде у напрямку переходу від аналогових механічних впливів до дискретних імпульсних і електромагнітних впливів, що дозволило обґрунтувати рішення щодо створення сімейства пневматичних висівних пристроїв дискретної дії, які дають можливість зменшити енергоємність роботи зернових сівалок і більш ефективно здійснювати автоматизацію.
4. На основі встановленої динаміки закономірності зміни показників ефективності роботи зернових сівалок запропоновано і обґрунтовано комплексний критерій ефективності - співвідношення витрат енергії, виражених тяговим опором, до продуктивності, що дозволило доцільність підвищення швидкості роботи зернових сівалок.
6. Показано, що конструктивне виконання зернової сівалки з роздільно-агрегатною компоувальною схемою групового висіву і пневматичною дискретною висівною системою на основі елементів пневмоніки дозволяє зменшити матеріалоемність конструкції, знизити тяговий опір на 12% і енергоємність роботи сівалок в середньому на 13%, до значень 14,5 кВт/м ефективної потужності двигуна енергозасобу а також економити експлуатаційні і приведені витрати до 16% у порівнянні з іншими варіантами посівних машин, висівних апаратів і систем.
7. Результати техніко-економічних розрахунків показали, що річний економічний ефект від впровадження запропонованого матеріалу в конструкцію рухомих з'єднань механізму копіювання складає 62622 грн. При цьому термін окупності додаткових капіталовкладень - 0,76 року