

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності процесу точного висіву шляхом
розробки сошника овочевої сівалки**

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-3-23 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шматко Артем Олександрович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г. В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Шматку Артему Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1. Тема роботи:** Підвищення ефективності процесу точного висіву
шляхом розробки сошника овочевої сівалки

керівник роботи Бойко Владислав Борисович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«5» травня 2026 року № 912.

- 2. Строк подання студентом роботи** 8.06.2026 р.

- 3. Вихідні дані до проєкту** Матеріали по механізації вирощування та посіву
овочевих культур. Актуальні розробки запропоновані в патентах та
реалізовані у вигляді діючих машин та пристроїв, наукові напрацювання за
даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які
потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз сучасних
розробок сошників сівалок. 3. Обґрунтування конструкції сошника для
овочевої сівалки. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка проєкту.
Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз господарської діяльності підприємства (A1). 2. Аналіз конструктивних рішень (A1). 3. Конструктивна схема (A1). 4. Складальне креслення (A1). 5. Деталювання (A1). 5. Економічні показники проекту (A1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Бойко В.Б., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцентка		

7. Дата видачі завдання: 23.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 3.04.26	
2	Технологічний	до 20.04.26	
3	Конструктивний	до 18.05.26	
4	Охорона праці	до 22.05.26	
5	Економічний	до 28.05.26	
6	Графічна частина	до 8.06.26	

Студент

(підпис)

Шматко А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бойко В. Б.

(прізвище та ініціали)

Поз.	Форм.	Позначення		Найменування	Кіл.	Прим.	
				<u>Текстові документи</u>			
	A4	52ДП.061.000.000ПЗ		Пояснювальна записка	75		
				<u>Графічні матеріали</u>			
1	A1	52ДП.061.000.000А		Аналіз господарської діяльності підприємства	1		
2	A1	52ДП.061.000.000А		Аналіз конструктивних рішень	1		
3	A1	52ДП.061.100.000ВЗ		Конструктивна схема	1		
4	A1	52ДП.061.104.000СК		Складальне креслення	1		
5	A1	52ДП.061.104.000		Деталювання	1		
6	A1	52ДП.061.000.000Е		Економічні показники проекту	1		
		</					

АНОТАЦІЯ

Шматко А.О. Підвищення ефективності процесу точного висіву шляхом розробки сошника овочевої сівалки / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У випускній кваліфікаційній роботі бакалавра за спеціальністю 208 «Агроінженерія» на тему: «Підвищення ефективності процесу точного висіву шляхом розробки сошника овочевої сівалки» розглянуто питання вдосконалення процесу висіву овочевих культур шляхом розробки конструкції сошника.

Проведено аналіз існуючих конструкцій сошників сівалок точного висіву та визначено їх основні недоліки, зокрема нестабільність глибини загортання насіння і нерівномірність формування посівного ложа. Обґрунтовано необхідність удосконалення робочого органу з урахуванням вимог точного землеробства та можливості використання в системах мостового землеробства.

Запропоновано конструкцію сошника, що забезпечує стабільну глибину загортання насіння, якісне формування посівного ложа та покращення контакту насіння з ґрунтом. Наведено обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів і виконано відповідні розрахунки.

Оцінено вплив конструкції сошника на якість посіву та продуктивність агрегату. Визначено перспективи використання розробки в умовах мостового землеробства.

Ключові слова: сошник, сівалка точного висіву, овочеві культури, глибина загортання, посівне ложе, мостове землеробство.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА	
ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «ЗОРЯ»	9
1.1. Загальна інформація про ТОВ «ЗОРЯ»	9
1.2. Характеристика галузі рослинництва	10
1.3. Механізація технологічних процесів	13
1.4. Економічні та енергетичні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ»	16
1.5. Висновки та актуальність розробки	19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ	
ТОЧНОГО ВИСІВУ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР	20
2.1. Особливості процесу посіву та точного розташування насіння овочевих культур в ґрунті	20
2.2. Особливості висіву насіння овочевих культур за мостової технології землеробства	24
2.3. Аналіз конструкцій сошників сівалок	30
2.4. Висновки	33
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК	
СОШНИКА ОВОЧЕВОЇ СІВАЛКИ	34
3.1. Конструктивна схема та принцип роботи сошника	34
3.2. Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів сошника	37
3.3. Розрахунок сил взаємодії сошника з ґрунтом	46
3.4. Розрахунок процесу надійного висіву насіння	48
3.5. Розрахунок елементів конструкції на міцність	49
3.6. Висновки	52

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	53
4.1. Оцінка стану охорони праці в господарстві	53
4.2. Заходи з підвищення безпеки при виконанні посівних робіт	54
4.3. Вимоги безпеки при експлуатації сівалки з розробленим сошником	56
4.4. Оцінка впливу на навколишнє середовище	58
4.5. Висновки	61
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	62
5.1. Загальні положення	62
5.2. Витрати на розробку сошника	64
5.3. Розрахунок ефективності проекту	66
5.4. Висновки	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
ЛІТЕРАТУРА	73
ДОДАТКИ	76

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства характеризується впровадженням інтенсивних та ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на підвищення врожайності культур та ефективності використання технічних засобів. Особливе місце у цьому процесі займає точний висів овочевих культур, який забезпечує оптимальне розміщення насіння в ґрунті, рівномірність сходів та раціональне використання посівного матеріалу [1-3].

Якість виконання процесу висіву значною мірою визначається конструкцією робочих органів сівалки, серед яких ключову роль відіграє сошник. Саме сошник формує посівне ложе, забезпечує задану глибину загортання насіння та впливає на умови його проростання. Недосконалість існуючих конструкцій сошників призводить до нестабільності глибини висіву, порушення структури ґрунту та зниження польової схожості, що в кінцевому результаті негативно впливає на врожайність овочевих культур.

Особливо актуальною ця проблема є в умовах впровадження мостової технології землеробства, яка передбачає мінімізацію ущільнення ґрунту за рахунок виключення руху техніки по полю. У таких системах висуваються підвищені вимоги до робочих органів сільськогосподарських машин, зокрема до точності, стабільності та енергоефективності їх роботи. Це зумовлює необхідність розробки нових конструктивних рішень сошників, адаптованих до умов мостового землеробства.

Отже, удосконалення конструкції сошника овочевої сівалки є важливим напрямом підвищення ефективності процесу точного висіву та забезпечення високих агротехнічних показників роботи посівних агрегатів.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу точного висіву овочевих культур шляхом розробки та обґрунтування конструкції сошника овочевої сівалки.

РОЗДІЛ 1. ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКА ХАРАКТЕРИСТИКА ТОВ «ЗОРЯ»

1.1. Загальна інформація про ТОВ «ЗОРЯ»

Товариство з обмеженою відповідальністю «ЗОРЯ» є сільськогосподарським підприємством, що здійснює виробничу діяльність у межах Дніпропетровської області [4]. Господарство розташоване на відстані близько 63 км від обласного центру – міста Дніпро, що забезпечує зручне транспортне сполучення та ефективну логістику матеріально-технічних ресурсів і готової продукції.

Підприємство має достатній земельний фонд, який становить понад 1600 га сільськогосподарських угідь, що дозволяє організовувати багатогалузеве виробництво та впроваджувати науково обґрунтовані сівоzmіни. Виробнича діяльність господарства носить комплексний характер і включає галузі рослинництва та тваринництва.

Основним напрямом діяльності є вирощування зернових та технічних культур, які формують економічну основу підприємства. Поряд із цим розвивається тваринницька галузь, представлена вирощуванням овець, що забезпечує ефективне використання кормової бази та додаткову продукцію.

Чисельність працівників господарства становить близько 60 осіб, що свідчить про середній рівень кадрового забезпечення та дозволяє організувати виконання всього комплексу польових і виробничих робіт.

Структура підприємства включає машинно-тракторний парк, ремонтно-обслуговуючу базу, зерносклади, сушильні комплекси та інші виробничі підрозділи. Наявність сучасної технічної бази забезпечує своєчасне виконання технологічних операцій та підвищує ефективність виробництва.

Земельні угіддя розташовані в умовах рівнинного рельєфу з елементами балкової системи, що вимагає врахування особливостей місцевості при організації польових робіт. Клімат зони характеризується помірною посушливістю, що обумовлює необхідність впровадження ресурсозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Таким чином, ТОВ «ЗОРЯ» є господарством із достатнім виробничим потенціалом, яке має передумови для впровадження сучасних технологій, зокрема точного та мостового землеробства, що сприятиме підвищенню ефективності використання технічних засобів і земельних ресурсів.

1.2. Характеристика галузі рослинництва

Рослинництво є основною галуззю виробничої діяльності ТОВ «ЗОРЯ», яка забезпечує формування переважної частини валової продукції підприємства. Організація виробництва базується на раціональному використанні земельних ресурсів, впровадженні науково обґрунтованих сівозмін та застосуванні сучасних агротехнологій вирощування сільськогосподарських культур.

У структурі посівних площ господарства переважають зернові культури, серед яких провідне місце займають озима пшениця та кукурудза на зерно. Серед технічних культур вирощуються соняшник і ріпак, які мають важливе значення для економіки підприємства, однак їх частка регулюється з урахуванням агротехнічних вимог.

Починаючи з 2024 року, в господарстві започатковано новий напрям – овочівництво, під яке відведено окремі площі. Впровадження цього напрямку зумовлене необхідністю диверсифікації виробництва та підвищення ефективності використання земельних ресурсів, а також переходом до більш інтенсивних технологій, зокрема точного та мостового землеробства.

Таблиця 1.1 – Структура посівних площ ТОВ «ЗОРЯ» (2023–2025 рр.)

Культури	2023 р. (га/%)	2024 р. (га/%)	2025 р. (га/%)
Кукурудза на зерно	518 / 30,8	540 / 31,6	570 / 33,1
Ярий ячмінь	120 / 7,1	105 / 6,1	95 / 5,5
Соняшник	181 / 10,8	150 / 8,8	140 / 8,1
Озима пшениця	540 / 32,2	520 / 30,4	510 / 29,7
Ріпак	322 / 19,1	349 / 20,4	379 / 22,0
Овочеві культури	—	26 / 1,5	26 / 1,5
Всього	1681 / 100	1690 / 100	1720 / 100

Аналіз структури посівів свідчить про тенденцію до збільшення площ під кукурудзою на зерно як найбільш продуктивною культурою. Водночас спостерігається поступове скорочення площ під ячменем та соняшником, що обумовлено оптимізацією сівозмін. Введення овочевих культур супроводжується незначним перерозподілом земельних ресурсів, що є обґрунтованим з точки зору підвищення економічної ефективності господарства.

Важливим показником ефективності галузі рослинництва є рівень урожайності сільськогосподарських культур (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Урожайність основних культур ТОВ «ЗОРЯ» (ц/га)

Культура	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Кукурудза на зерно	64,4	66,8	69,2
Ярий ячмінь	36,0	34,5	33,0
Соняшник	18,6	19,5	20,2
Озима пшениця	58,2	60,0	62,5
Ріпак	25,4	26,2	27,0
Овочеві культури	—	210	235

З наведених даних видно, що врожайність основних польових культур має тенденцію до зростання, що пояснюється впровадженням сучасних агротехнологій, раціональним внесенням добрив та вдосконаленням системи захисту рослин. Найбільш стабільні показники демонструють кукурудза на зерно та озима пшениця.

Овочеві культури, які почали вирощуватися з 2024 року, характеризуються значно вищою урожайністю порівняно з польовими культурами, що є типовим для інтенсивного овочівництва. Зростання їх урожайності у 2025 році свідчить про адаптацію технології вирощування та підвищення ефективності виробництва.

У господарстві застосовується комплекс агротехнічних заходів, спрямованих на збереження родючості ґрунтів, зокрема внесення органічних і мінеральних добрив, а також використання сидеральних культур. Дотримання сівозмін забезпечує стабільний рівень виробництва та раціональне використання земельних ресурсів.

Таким чином, розвиток галузі рослинництва в ТОВ «ЗОРЯ» характеризується позитивною динамікою, а впровадження овочівництва створює передумови для застосування сучасних технічних засобів, зокрема сівалок точного висіву з удосконаленими сошниками.

1.3. Механізація технологічних процесів

Рівень механізації виробничих процесів у ТОВ «ЗОРЯ» є одним із визначальних факторів ефективності сільськогосподарського виробництва. Використання сучасної техніки дозволяє своєчасно виконувати польові роботи, підвищувати продуктивність праці та знижувати витрати на виробництво продукції.

У господарстві сформований машинно-тракторний парк (табл. 1.3), який включає енергетичні засоби різної потужності та широкий спектр сільськогосподарських машин для виконання основних технологічних операцій. До складу технічного забезпечення входять трактори, зернозбиральні комбайни, ґрунтообробні машини, сівалки, обприскувачі та транспортні засоби. Наявність техніки різного класу дозволяє формувати агрегати залежно від умов роботи та забезпечує гнучкість у виконанні виробничих завдань.

Основні технологічні процеси в рослинництві, такі як обробіток ґрунту, внесення добрив, сівба, догляд за посівами та збирання врожаю, виконуються механізованим способом відповідно до технологічних карт. При цьому значна увага приділяється правильному комплектуванню машинно-тракторних агрегатів, що передбачає узгодження параметрів трактора та причіпного або навісного обладнання. Це дозволяє досягти оптимального завантаження техніки, зменшити перевитрати палива та підвищити якість виконання робіт.

Таблиця 1.3 – Склад і характеристика засобів механізації ТОВ «ЗОРЯ»

Група техніки	Найменування та марка техніки	Кількість, шт.
1	2	3
Енергетичні засоби	Трактори МТЗ-821, МТЗ-892	7
	Трактори К-700, ХТЗ-17021	4
	Трактори John Deere 8320, Case MHA 255	2
	Самохідний обприскувач Case IH 3320	1
	Комбайни John Deere 9500, КЗС-9-1	3
	Бурякозбиральний комбайн	1
	Плуги ПЛН-3-35, ПЛП-5-35, John Deere 3810	12
Ґрунтообробна техніка	Борони дискові ДМ-6, ДМТ-6 «Діметра»	5
	Культиватори КПС-4, АГ-6 «Борекс»	10
	Культиватори КРН-4,2, КРН-5,4	9
	Культиватори КПН-8,2 «Вакула», ТМ-18 «Титан»	4
	Котки КПД-6 «Панько», голчасті «Голта»	11

Продовження табл. 1.3

1	2	3
Посівна техніка	Сівалки зернові СЗ-3,6; СЗ-5,4	7
	Сівалки точного висіву СЧПН-8, «Кльон-1,8»	3
	Посівні комплекси Case SDX 30, Concord 2000	4
	Сівалки John Deere	6
Техніка для догляду	Обприскувачі Вектор-3000	2
	Розкидачі добрив РУМ-0,8	4
Збиральна техніка	Прес-підбирач New Holland	1
	Навантажувачі (типу Т229-D)	2
Транспортні засоби	Автомобілі КрАЗ, МАН, МАЗ	8
	Автомобілі ГАЗ-53	3
	Спеціалізований транспорт (КрАЗ, ВАЗ)	2

Перед початком польових робіт проводиться налаштування та перевірка робочих органів машин, що забезпечує дотримання агротехнічних вимог. У процесі виконання робіт здійснюється контроль якості з боку спеціалістів господарства, що дозволяє оперативно вносити корективи в налаштування агрегатів.

Разом із тим, аналіз рівня механізації показує, що поряд із сучасними машинами у господарстві продовжує використовуватися техніка попередніх поколінь, яка має нижчі показники продуктивності та енергоефективності.

Це особливо відчутно при виконанні операцій, що потребують високої точності, зокрема під час висіву сільськогосподарських культур.

З розвитком нового напрямку – овочівництва – зростають вимоги до якості виконання посівних робіт, зокрема до рівномірності розміщення насіння та стабільності глибини його загортання. Існуючі сівалки не завжди забезпечують необхідну точність висіву, що негативно впливає на польову схожість та подальший розвиток рослин.

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення робочих органів посівних машин, зокрема сошників, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтом і визначають якість формування посівного ложа. Це обумовлює актуальність розробки нових конструктивних рішень, адаптованих до умов сучасного виробництва та впровадження технологій точного і мостового землеробства.

1.4. Економічні та енергетичні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ»

Ефективність діяльності сільськогосподарського підприємства визначається рівнем економічних показників, які характеризують результати виробництва, а також ступенем використання матеріально-технічних і енергетичних ресурсів. Аналіз економічного стану ТОВ «ЗОРЯ» свідчить про позитивну динаміку розвитку господарства та поступове підвищення ефективності виробництва.

Основу економічних результатів підприємства формує галузь рослинництва, яка забезпечує найбільшу частку валової продукції. Зростання обсягів виробництва досягається за рахунок підвищення урожайності культур, оптимізації структури посівних площ та впровадження сучасних агротехнологій. Водночас важливим фактором є ефективне використання технічних засобів та трудових ресурсів. Основні економічні показники діяльності господарства наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні економічні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ»

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Рівень рентабельності рослинництва, %	55–131	58–135	60–140
Рентабельність тваринництва, %	36	37,5	39
Середньорічна заробітна плата, грн	180004	192000	205000
Середньомісячна заробітна плата, грн	18422	20000	21500
Чисельність працівників, осіб	60	62	65
Кредитна заборгованість, грн	124689	118000	110000

Аналіз наведених даних показує, що господарство характеризується стабільним зростанням економічних показників. Рівень рентабельності рослинництва залишається достатньо високим, що забезпечує економічну доцільність вирощування основних культур. Позитивною тенденцією є також підвищення рівня заробітної плати працівників та незначне збільшення їх чисельності, що свідчить про розширення виробництва.

Водночас спостерігається зниження кредитної заборгованості, що вказує на покращення фінансового стану підприємства та ефективне управління ресурсами. Рентабельність тваринництва має стабільну тенденцію до зростання, що підтверджує доцільність розвитку цієї галузі.

Важливою складовою оцінки діяльності господарства є рівень його енергозабезпеченості, який характеризує забезпеченість виробництва енергетичними ресурсами та ефективність їх використання.

Таблиця 1.5 – Показники енергозабезпеченості ТОВ «ЗОРЯ»

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Потужність машинно-тракторного парку, кВт	2350	2450	2600
Енергозабезпеченість, кВт/га	1,40	1,45	1,50
Витрати палива, л/га	82	79	76
Енергоемність виробництва, кВт·год/га	1450	1400	1350

Як видно з таблиці 1.5, рівень енергозабезпеченості господарства є достатнім і має тенденцію до поступового зростання. Це пояснюється частковим оновленням машинно-тракторного парку та більш раціональним використанням техніки. Зменшення витрат палива на одиницю площі свідчить про підвищення енергоефективності виробництва.

Разом із тим, значна частина енергетичних ресурсів витрачається на виконання ґрунтообробних і посівних операцій, що обумовлює необхідність пошуку шляхів зниження енерговитрат. Одним із таких напрямів є вдосконалення робочих органів сільськогосподарських машин, зокрема сошників сівалок, які безпосередньо впливають на величину тягового опору та енерговитрати.

У зв'язку з розвитком овочівництва в господарстві та впровадженням технологій точного висіву зростають вимоги до якості виконання посівних робіт і ефективності використання енергетичних ресурсів. Це обумовлює необхідність розробки нових конструктивних рішень, спрямованих на підвищення точності висіву та зниження енерговитрат.

Таким чином, аналіз економічних та енергетичних показників діяльності ТОВ «ЗОРЯ» свідчить про наявність резервів підвищення ефективності виробництва, реалізація яких можлива за рахунок модернізації технічних засобів та впровадження інноваційних рішень у технологічні процеси.

1.5. Висновки та актуальність розробки

1. У результаті аналізу діяльності ТОВ «ЗОРЯ» встановлено, що господарство має достатній виробничий і технічний потенціал для ефективного ведення сільського господарства. Основною галуззю є рослинництво, яке характеризується стабільною урожайністю та раціональною структурою посівних площ. З 2024 року в господарстві започатковано розвиток овочівництва, що потребує впровадження сучасних технологічних рішень.

2. Машинно-тракторний парк дозволяє виконувати основні технологічні операції, однак використання частини застарілої техніки знижує якість окремих процесів, зокрема посіву. Аналіз економічних та енергетичних показників свідчить про стабільний розвиток господарства, проте значні витрати енергоресурсів обумовлюють необхідність підвищення енергоефективності виробництва.

3. Особливої уваги потребує якість виконання посівних робіт, яка безпосередньо впливає на формування врожаю. Існуючі технічні засоби не забезпечують необхідної точності висіву овочевих культур, особливо в умовах впровадження мостової технології землеробства, де висуваються підвищені вимоги до стабільності роботи та точності розміщення насіння.

У зв'язку з цим актуальною є розробка конструкції сошника для сівалки точного висіву, що використовується в системі агромота. Такий сошник повинен забезпечувати формування якісного посівного ложа, стабільну глибину загортання насіння, зниження тягового опору та енерговитрат при роботі агрегату. Таким чином, розробка сошника для овочевої сівалки в умовах мостового землеробства є важливим напрямом підвищення ефективності виробництва, що сприятиме впровадженню сучасних інтенсивних технологій та раціональному використанню ресурсів.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ТОЧНОГО ВИСІВУ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

2.1. Особливості процесу посіву та точного розташування насіння овочевих культур в ґрунті

Процес посіву овочевих культур є однією з ключових технологічних операцій, від якої безпосередньо залежить формування рівномірних сходів, густина стояння рослин і подальша врожайність [5, 6]. Особливістю овочевих культур є підвищені вимоги до точності розміщення насіння, що обумовлено їх біологічними характеристиками, малими розмірами насіння, а також чутливістю до умов проростання. Навіть незначні відхилення параметрів висіву можуть призвести до нерівномірного розвитку рослин і зниження продуктивності посівів.

Для забезпечення оптимальних умов проростання необхідно дотримуватись встановлених агротехнічних параметрів, основними з яких є глибина загортання насіння, інтервал між насінинами в рядку та ширина міжрядь [6]. Як показано в таблиці 2.1, ці параметри суттєво відрізняються залежно від культури та її біологічних особливостей.

Для більшості овочевих культур глибина загортання насіння знаходиться в межах 1,5–4,0 см [7]. Зокрема, для дрібнонасінневих культур, таких як морква і цибуля, вона становить 1,5–2,5 см, тоді як для крупніших (буряк, горох) – 3,0–4,0 см. Відхилення від заданої глибини більше ніж на $\pm 0,5$ см призводить до нерівномірних сходів, затримки проростання або навіть часткової загибелі рослин. Це пояснюється тим, що при надмірному загортанні насіння не вистачає енергії для проростання, а при недостатньому – воно піддається висиханню.

Відстань між насінинами в рядку також має важливе значення і залежить від культури та технології вирощування. Для овочевих культур точного висіву вона зазвичай становить 2–10 см, при цьому допустиме відхилення не повинно

перевищувати $\pm 10\text{--}15\%$ від заданого значення. Міжряддя, як правило, знаходиться в межах 15–45 см, що забезпечує можливість механізованого догляду за посівами. Для культур із більшим інтервалом живлення (капуста, томат, перець) ці параметри можуть бути значно більшими, що також відображено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні фізико-механічні та агротехнологічні параметри насіння овочевих культур

Культура	Розмір насіння, мм	Маса 1000 насінин, г	Глибина висіву, см	Інтервал у рядку, см	Міжряддя, см	Щільність ґрунту, г/см ³
Морква	1,0–1,5	1,0–1,5	1,5–2,5	2–4	15–30	1,1–1,2
Цибуля	2,0–3,0	3,0–4,5	1,5–3,0	3–5	20–30	1,1–1,2
Буряк столовий	3,0–5,0	15–20	2,5–4,0	5–8	30–45	1,2–1,3
Редис	2,5–3,5	8–12	2,0–3,0	3–6	15–25	1,1–1,2
Капуста	1,5–2,5	3–5	1,5–3,0	25–40	45–70	1,1–1,2
Томат	2,0–3,0	2,5–4,0	1,5–2,5	25–50	50–70	1,1–1,2
Перець	3,0–4,0	5–7	2,0–3,0	20–40	45–70	1,1–1,2

Суттєвий вплив на розміщення насіння має обрана схема висіву. Як показано на рисунку 2.1, у сучасному овочівництві застосовуються різні способи висіву: рядковий, стрічковий, широкорядний та гніздовий. Найбільш поширеним є рядковий спосіб, який забезпечує рівномірне розміщення рослин і дозволяє ефективно виконувати міжрядний обробіток. Стрічковий спосіб використовується для підвищення щільності посівів, а гніздовий – для культур із великими інтервалами живлення [5-7].

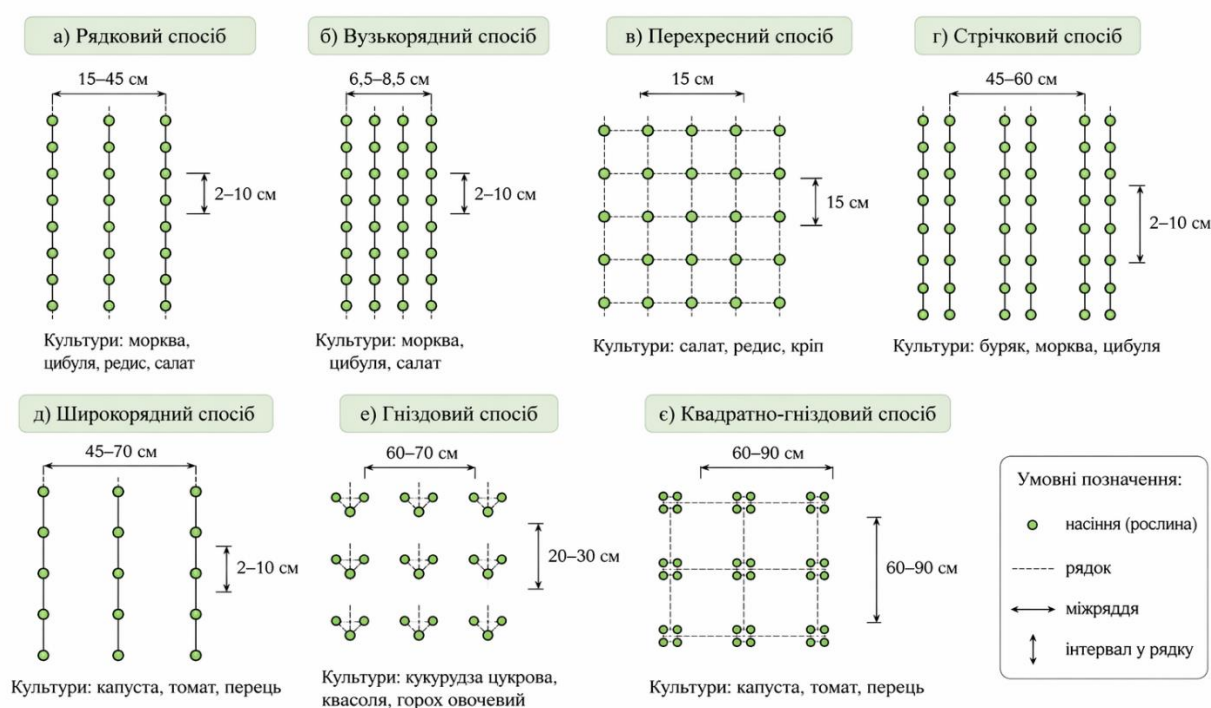


Рисунок 2.1 – Схеми висіву овочевих культур

Якість формування посівного ложа є одним із визначальних факторів ефективного проростання насіння. Оптимальне посівне ложе повинно мати ущільнений нижній шар і більш розпушений верхній, що створює сприятливі умови для капілярного підйому вологи та доступу повітря до насіння. Щільність ґрунту в зоні укладання насіння повинна становити приблизно 1,1–1,3 г/см³, що забезпечує надійний контакт насіння з ґрунтом і сприяє його швидкому проростанню.

Вирішальну роль у забезпеченні зазначених параметрів відіграє сошник, який є основним робочим органом сівалки. Саме він формує борозну, визначає глибину загортання насіння та впливає на структуру ґрунту в зоні посіву. Геометричні параметри сошника, зокрема кут входження в ґрунт ($15\text{--}25^\circ$), ширина робочої частини (20–50 мм) та глибина занурення, визначають характер руйнування ґрунту, стабільність руху та величину тягового опору.

Нестабільність ходу сошника призводить до коливання глибини посіву, яке може досягати $\pm 1,0$ см, що є критичним для овочевих культур. Крім того, при надмірному розпушенні ґрунту можливе осипання стінок борозни, що викликає зміщення насіння від заданого положення. Це особливо небезпечно для дрібного насіння, яке легко зміщується навіть при незначних порушеннях структури ґрунту.

У гідравлічних овочевих сівалках точного висіву стабільність роботи сошника забезпечується за рахунок створення притискного зусилля, яке може регулюватися в межах 200–800 Н. Це дозволяє підтримувати задану глибину загортання насіння незалежно від змін щільності ґрунту, вологості та нерівностей поверхні поля. Такий підхід значно підвищує точність висіву та рівномірність розміщення насіння.

В умовах мостового землеробства вимоги до точності розміщення насіння ще більше зростають, оскільки технологія передбачає мінімальне ущільнення ґрунту та високу стабільність положення агрегату. Відсутність колій і рівномірність навантаження створюють передумови для більш точного висіву, але одночасно висувають підвищені вимоги до роботи сошника як основного елемента, що взаємодіє з ґрунтом.

Таким чином, як свідчать наведені в таблиці 2.1 параметри та схеми висіву, представлені на рисунку 2.1, забезпечення точного розташування насіння овочевих культур у ґрунті є складним багатофакторним процесом. Його ефективність визначається не лише агротехнічними умовами, але й конструктивними особливостями робочих органів сівалки.

Удосконалення конструкції сошника дозволяє підвищити стабільність глибини загортання, забезпечити рівномірне формування посівного ложа та зменшити енерговитрати на виконання посівних робіт. Це є особливо важливим для гідравлічних сівалок точного висіву, які застосовуються в системах мостового землеробства, де точність і ефективність технологічних процесів мають вирішальне значення.

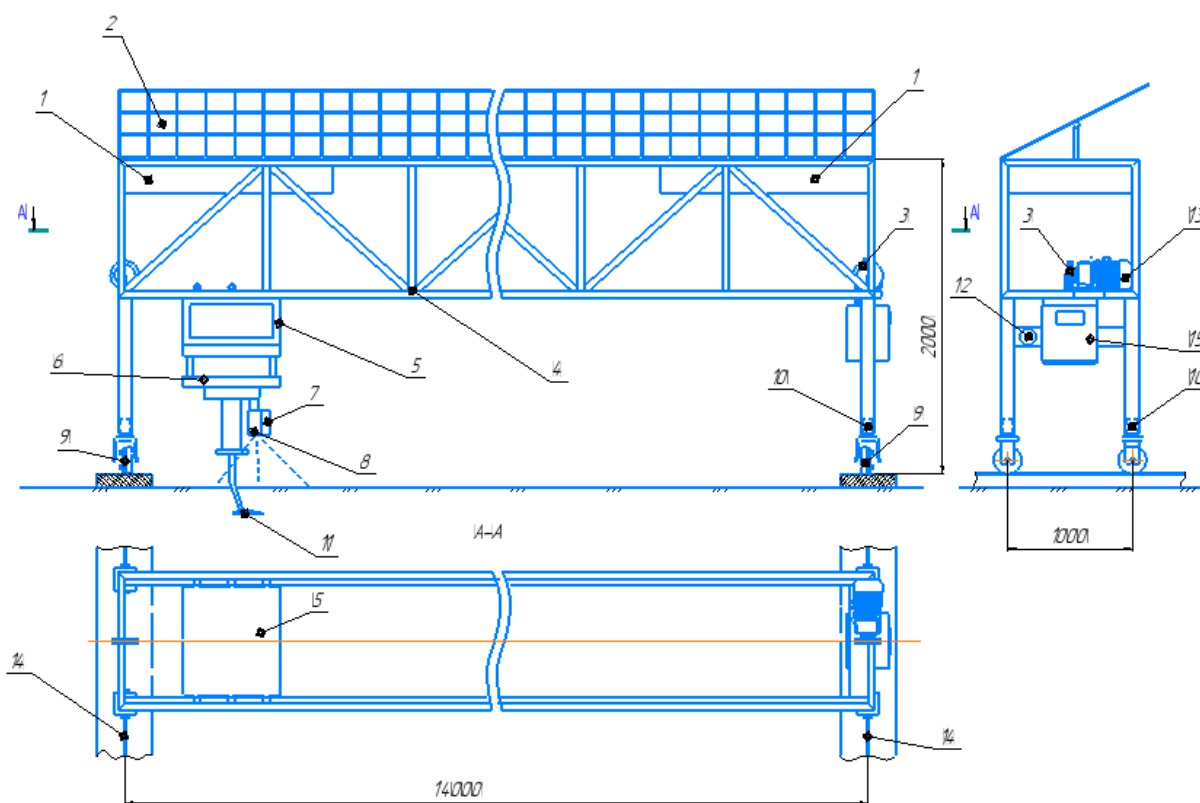
2.2. Особливості висіву насіння овочевих культур за мостової технології землеробства

Мостова технологія землеробства є одним із перспективних напрямів розвитку сучасного аграрного виробництва, який базується на принципі повного виключення руху техніки по оброблюваній поверхні ґрунту [8]. Переміщення сільськогосподарських машин у такій системі здійснюється по спеціально облаштованих рейкових або колійних шляхах, що дозволяє мінімізувати ущільнення ґрунту та створити більш сприятливі умови для росту рослин. У результаті формується стабільне агрофізичне середовище, яке характеризується рівномірною щільністю, високою пористістю та покращеними умовами вологонакопичення. Застосування мостових машин є особливо ефективним при вирощуванні овочевих культур, які потребують високої точності виконання технологічних операцій. Відсутність колій на полі сприяє збереженню структури ґрунту, запобігає утворенню ущільнених шарів і забезпечує більш рівномірний розподіл вологи в орному горизонті. Це створює передумови для одночасного та дружного проростання насіння, що є критично важливим для формування вирівняних посівів.

Однією з ключових особливостей висіву насіння в умовах мостового землеробства є підвищені вимоги до точності параметрів посіву. Як було показано в пункті 2.1 та на рисунку 2.1, схеми розміщення рослин (рядковий, стрічковий, гніздовий способи) визначають не лише просторову організацію

посівів, але й вимоги до стабільності інтервалів між насінинами та глибини їх загортання. У системах точного землеробства ці параметри повинні витримуватися з мінімальними відхиленнями.

Завдяки жорсткій конструкції агромоста (рис. 2.2) та відсутності коливань, характерних для колісних агрегатів, забезпечується стабільність швидкості руху та положення посівного агрегату. На відміну від традиційних машин, де нерівності поверхні та деформації шин викликають вертикальні і горизонтальні коливання, у мостових системах ці фактори практично відсутні. Це дозволяє суттєво зменшити випадкові похибки висіву та забезпечити точне дотримання схем розміщення рослин, наведених на рисунку 2.1.



- 1 – акумуляторна батарея; 2 – сонячна панель; 3 – ланцюговий привід; 4 – ферма агромоста; 5 – каретка;
 6 – механізм агрегування; 7 – LED модуль; 8 – камера машинного зору; 9 – мотор-колесо;
 10 – електропривід повороту коліс; 11 – робочий орган знаряддя; 12 – роз'єм для зарядки батареї;
 13 – мотор-редуктор ланцюгової передачі; 14 – опорні рейки; 15 – шафа керування;

Рисунок 2.2 – Агромоствова машина

Важливою складовою сучасних мостових систем є високий рівень автоматизації технологічних процесів. Використання електронних систем керування, датчиків положення, систем супутникової навігації (GNSS), а також локальних координатних систем дозволяє контролювати рух агрегату і роботу робочих органів у режимі реального часу. Це забезпечує можливість реалізації так званого координатного або адресного вирощування овочевих культур, при якому кожна рослина розміщується в заздалегідь визначеній точці поля (рис.2.3).

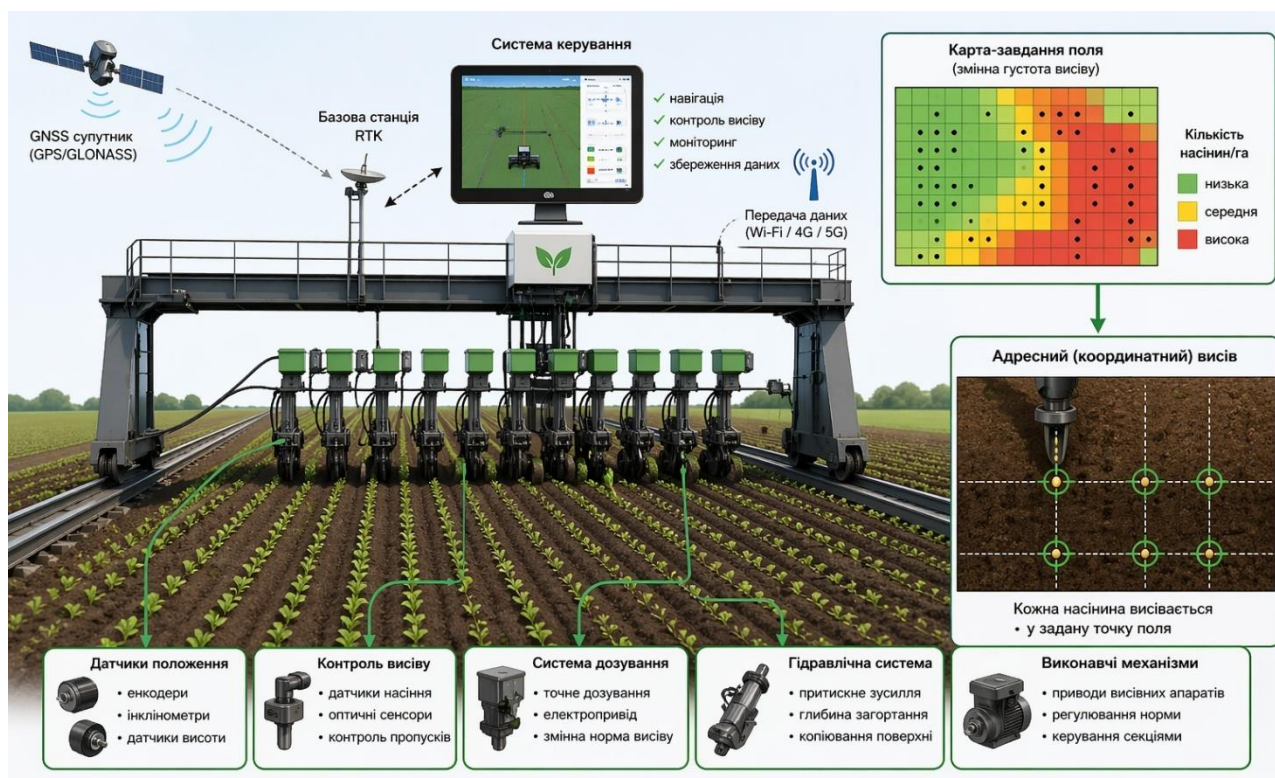


Рисунок 2.3 Координатне (адресне) вирощування овочів

Технологічні карти поля формуються на основі комплексного аналізу ґрунтових умов, включаючи рельєф, щільність, вологість, вміст поживних речовин та інші параметри. На їх основі визначаються оптимальні точки висіву, що дозволяє адаптувати густоту стояння рослин до конкретних умов ділянки. У таких системах інтервал між насінинами може змінюватися в межах поля, що забезпечує більш раціональне використання ресурсів. Допустимі відхилення

положення насіння в таких системах не повинні перевищувати $\pm 1-2$ см у горизонтальній площині та $\pm 0,5$ см по глибині, що значно підвищує вимоги до точності роботи всіх елементів посівного агрегату. При цьому навіть незначні порушення параметрів можуть призвести до відхилення рослин від оптимальної зони живлення, що негативно впливає на їх розвиток.

Особливого значення в цих умовах набуває робота сошника, який формує борозну, забезпечує задану глибину загортання насіння та впливає на структуру посівного ложа. У системах мостового землеробства, де рух агрегату є стабільним, основні похибки розміщення насіння пов'язані саме з конструкцією та режимом роботи сошника. Це означає, що вимоги до його геометрії, стабільності ходу та взаємодії з ґрунтом є критично важливими.

Особливістю є також робота сошника в умовах менш ущільненого ґрунту, який не піддається дії коліс техніки. Такий ґрунт має підвищену пористість і меншу несучу здатність, що може призводити до нестабільного заглиблення робочого органу. У результаті виникають коливання глибини посіву, а також можливе осипання стінок борозни, що спричиняє зміщення насіння від заданої точки.

Для реалізації адресного висіву в ДДАЕУ розроблено гідравлічну сівалку точного висіву (рис. 2.4). Насіння у таких сівалках транспортується у вигляді суспензії в рідині та подається до зони висіву разом із потоком рідини. У момент висіву насіння разом із рідиною надходить у борозну через сошник, після чого додатково виштовхується потоком повітря, що забезпечує його відокремлення від транспортного середовища та укладання в насіннєве ложе.

Однак така схема висіву супроводжується рядом специфічних проблем. Однією з основних є налипання зволоженого насіння на бокові поверхні сошника 8, що обумовлено наявністю рідини, капілярними силами та адгезією між насінням і матеріалом робочого органу. Це призводить до порушення рівномірності висіву, затримки окремих насінин у каналі сошника та їх

подальшого випадкового скидання, що негативно впливає на точність розміщення.

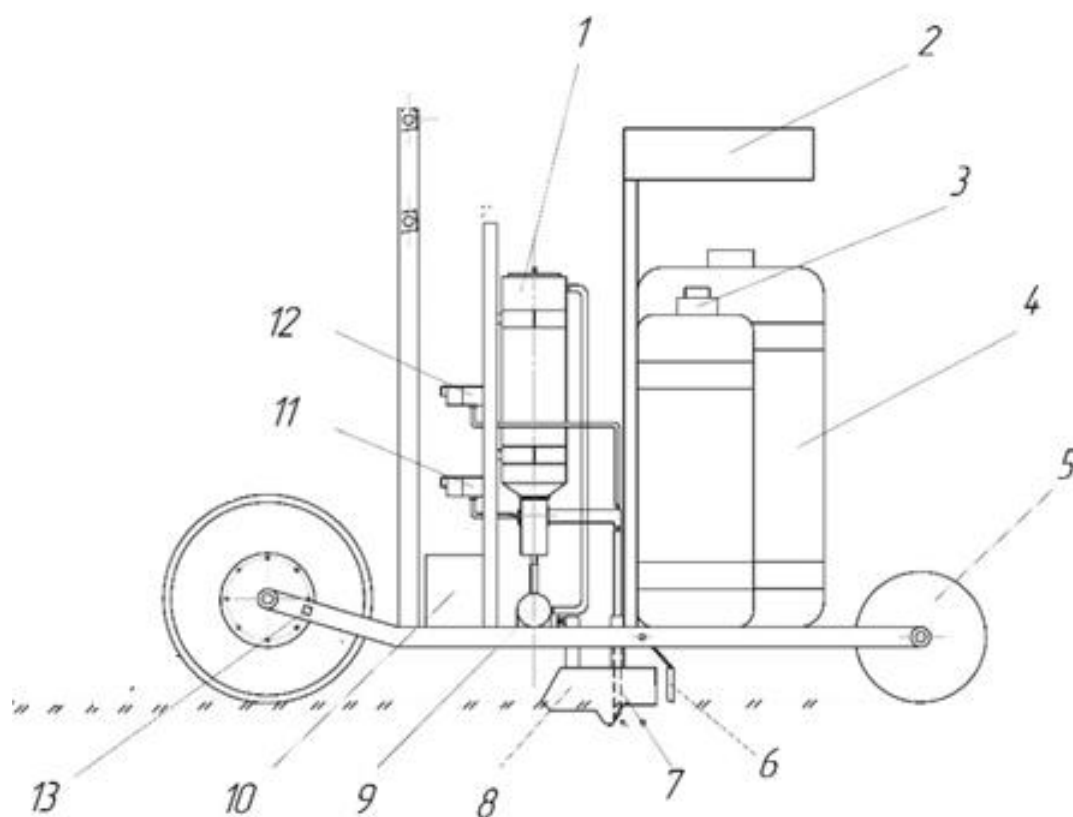


Рисунок 2.4 – Гідравлічна овочева сівалка точного висіву

- 1 – гідравлічний висівний апарат; 2 – електронний блок керування;
 3 – пневматичний енергоакумулятор (ресивер); 4 – бак для рідини; 5 –
 коток; 6 – пристрій для закривання борозни; 7 – магістраль подачі насіння
 (насіннєпровід); 8 – формувач борозни (сошник); 9 – гідравлічна помпа;
 10 – джерело живлення (АКБ); 11 – гідравлічний електроклапан;
 12 – пневматичний електроклапан; 13 – датчик контролю переміщення
 сівалки;

Крім того, використання повітряного потоку для виштовхування насіння з рідиною може викликати його неконтрольоване переміщення у зоні борозни. У результаті насіння може зміщуватися від заданої точки висіву, що особливо

критично при реалізації координатного або адресного висіву, де кожна насінина повинна бути розміщена у строго визначеному положенні.

Зазначені особливості обумовлюють підвищені вимоги до конструкції сошника. На відміну від традиційних рішень, він повинен забезпечувати не лише формування борозни і заданої глибини загортання, але й стабільне проходження насіннево-рідинної суміші без затримок і налипання. Геометрія каналу сошника, його поверхня та форма повинні сприяти вільному руху насіння разом із рідиною та запобігати утворенню зон застою.

Важливим є також контроль процесу виходу насіння з потоку рідини та його укладання в ґрунт. Конструкція сошника повинна забезпечувати гасіння швидкості руху насіння перед контактом із дном борозни, щоб виключити його відскок або зміщення. Одночасно необхідно мінімізувати турбулентність потоку та неконтрольований вплив повітря, який може порушувати точність висіву.

Окрім цього, в умовах мостового землеробства особливого значення набуває збереження структури ґрунту. Сошник повинен формувати борозну з мінімальним перемішуванням шарів і забезпечувати стабільні умови для укладання насіння навіть у менш ущільненому ґрунті, який не піддається дії коліс техніки.

Таким чином, використання гідравлічних сівалок точного висіву в умовах агромота висуває принципово нові вимоги до конструкції сошника. Класичні сошники, розроблені для сухого або пневматичного висіву, не забезпечують необхідної якості роботи при подачі насіння у рідині.

У зв'язку з цим виникає необхідність розробки спеціалізованого сошника, який би усував налипання насіння, забезпечував стабільне проходження насіннево-рідинної суміші, точне укладання насіння у задану точку та мінімальний вплив на структуру ґрунту. Реалізація такого конструктивного рішення дозволить підвищити точність висіву, зменшити втрати насіння та забезпечити ефективну роботу гідравлічних овочевих сівалок у системах мостового землеробства.

2.3. Аналіз конструкцій сошників сівалок

Сошник є одним із найбільш відповідальних робочих органів сівалки, оскільки саме він безпосередньо взаємодіє з ґрунтом і формує посівне ложе, у яке укладається насіння [9-11]. Від його конструкції та режиму роботи залежить не лише глибина загортання, а й рівномірність розміщення насіння, стабільність формування борозни та подальші умови проростання рослин. Навіть за наявності високоточного висівного апарата, неналежна робота сошника може призвести до значних відхилень у положенні насіння, що негативно впливає на рівномірність сходів і врожайність [12-13].

У сучасних сівалках точного висіву застосовується кілька основних типів сошників, які відрізняються за принципом взаємодії з ґрунтом, геометрією робочих поверхонь та умовами використання. Найбільш поширеними є анкерні (лапові), однодискові та дводискові сошники [14-19], загальний вигляд яких наведено на рисунку 2.5. Кожен із цих типів має свої конструктивні особливості та область ефективного застосування.

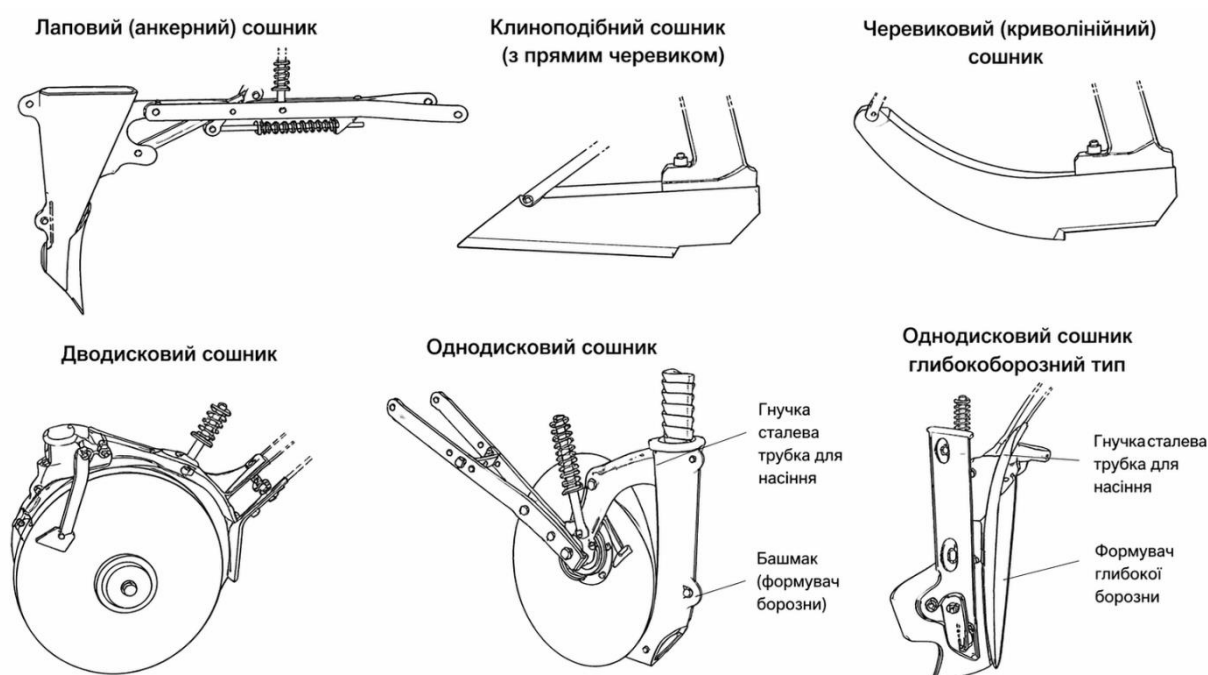


Рисунок 2.5 – Різновиди сошників

Анкерні сошники характеризуються відносною простотою конструкції та працюють за принципом розрізання ґрунту з подальшим відкиданням його в сторони. Завдяки своїй формі вони добре проникають у ґрунт навіть при підвищеній щільності, що забезпечує стабільну глибину загортання насіння. Такі сошники є достатньо надійними та простими у виготовленні й обслуговуванні. Проте їх робота супроводжується значним порушенням структури ґрунту, що призводить до руйнування капілярних зв'язків і збільшення енерговитрат. У пухких або надмірно розпушених ґрунтах вони працюють менш стабільно, оскільки не забезпечують чіткої геометрії борозни. Особливо важливо, що їх конструкція не пристосована до роботи з насінням у рідинному середовищі: відкриті поверхні сприяють налипанню зволоженого насіння та утворенню нерівномірного потоку.

Однодискові сошники формують борозну за рахунок обертання диска, який розрізає ґрунт і частково відсуває його вбік. Такий принцип роботи дозволяє зменшити руйнування структури ґрунту та знизити тяговий опір у порівнянні з анкерними сошниками. Вони демонструють стабільну роботу на середніх швидкостях і добре адаптуються до різних умов. Проте їх ефективність значною мірою залежить від стану ґрунту: у сухих або надто пухких умовах можливе погіршення якості формування борозни. Додатковим недоліком є схильність до забивання рослинними рештками, а також нестабільність глибини при нерівностях поверхні поля. У контексті гідравлічного висіву важливим є те, що робочі поверхні диска можуть накопичувати вологу, що створює передумови для налипання насіння та порушення його рівномірного руху.

Дводискові сошники є найбільш поширеними у сучасних сівалках точного висіву. Вони формують борозну шляхом розходження двох дисків, що дозволяє більш точно і акуратно розкрити ґрунт без значного його перемішування. Така конструкція забезпечує високу якість формування посівного ложа та стабільну глибину загортання насіння, а також добре працює на різних типах ґрунтів. Проте дводискові сошники мають складнішу конструкцію і потребують більш

точного налаштування. У процесі роботи можливе накопичення ґрунту або рослинних решток у зоні між дисками, що впливає на якість формування борозни. Особливо критичним є те, що між дисками утворюються замкнені або напівзамкнені об'єми, в яких може затримуватися насіннево-рідинна суміш, що є неприйнятним для гідравлічних систем висіву.

Аналіз наведених на рисунку 2.5 конструкцій показує, що всі існуючі типи сошників розроблені переважно для роботи з сухим насінням або пневматичними системами подачі. Вони не враховують особливостей транспортування насіння у рідині та його поведінки у вологому середовищі. У гідравлічних сівалках насіння подається у вигляді суспензії, що змінює характер його руху, взаємодію з поверхнями та умови виходу в борозну.

Основною проблемою при використанні традиційних сошників у таких умовах є налипання зволоженого насіння на внутрішні та бокові поверхні робочого органу. Це призводить до порушення рівномірності подачі, утворення зон застою та накопичення насіння. У подальшому це викликає нерівномірний висів, коли частина насіння затримується, а потім викидається нерівномірно. Додатково виникає проблема неконтрольованого переміщення насіння при його виході з потоку рідини, особливо під дією повітряного потоку, що використовується для його виштовхування.

У результаті таких процесів порушується точність координатного висіву, яка є критично важливою для сучасних систем точного землеробства. Як показано на рисунку 2.1, навіть незначні відхилення у розміщенні насіння можуть призводити до зміни площі живлення рослин, їх нерівномірного розвитку та зниження врожайності. Особливо високі вимоги до роботи сошника висуваються в умовах мостового землеробства, де забезпечується стабільність руху агрегату та мінімізуються зовнішні збурюючі фактори. У таких умовах основні похибки процесу висіву визначаються саме роботою сошника. Тому навіть незначні конструктивні недоліки призводять до систематичних помилок у розміщенні насіння.

Таким чином, проведений аналіз показує, що існуючі конструкції сошників не забезпечують необхідної якості роботи при гідравлічному висіві насіння овочевих культур. Це обумовлює необхідність розробки нового типу сошника, конструкція якого буде адаптована до умов подачі насіння у рідині, забезпечуватиме відсутність налипання, стабільний рух насіннево-рідинної суміші та точне укладання насіння у задану точку.

2.4. Висновки

1. Встановлено, що процес висіву овочевих культур вимагає високої точності дотримання основних агротехнічних параметрів, зокрема глибини загортання насіння та інтервалів між рослинами. Порушення цих параметрів призводить до нерівномірних сходів і зниження врожайності.

2. Визначено, що якість посіву значною мірою залежить від роботи сошника, який формує борозну та забезпечує розміщення насіння у ґрунті. Навіть за наявності точного висівного апарата нестабільність роботи сошника призводить до відхилень у положенні насіння.

3. Умови мостового землеробства сприяють підвищенню точності висіву встановлено, що застосування автоматизованих систем керування дозволяє реалізувати координатний висів насіння у задані точки поля.

4. Аналіз існуючих конструкцій сошників показав, що вони не враховують особливості гідравлічної подачі насіння, що призводить до налипання, утворення зон застою та зниження точності висіву. Таким чином, виникає необхідність розробки спеціалізованого сошника для гідравлічної овочевої сівалки, який забезпечить стабільну роботу, точне розміщення насіння та підвищення ефективності посівного процесу.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК СОШНИКА ОВОЧЕВОЇ СІВАЛКИ

3.1. Конструктивна схема та принцип роботи сошника

На основі проведеного аналізу технологічного процесу висіву овочевих культур та існуючих конструкцій сошників встановлено, що традиційні робочі органи не забезпечують необхідної якості роботи при гідравлічному способі подачі насіння. Зокрема, як було визначено в пункті 2.3, основними недоліками є налипання зволоженого насіння на внутрішні поверхні сошника, утворення зон налипання посівного матеріалу, а також рекошет насіння під дією повітряного імпульсного потоку, що призводить до порушення точності його розміщення [20-22].

Крім того, аналіз умов роботи в системах мостового землеробства (пункт 2.2) показав, що за рахунок стабільності руху агрегату та відсутності ущільнення ґрунту основні похибки процесу висіву визначаються саме конструкцією сошника. Це обумовлює необхідність розробки спеціалізованого робочого органу, адаптованого до гідравлічного висіву насіння.

Об'єктом підвищення ефективності є гідравлічна овочева сівалка точного висіву, конструктивна схема якої наведена на рисунку 3.1 [23]. Сівалка включає висівний апарат 1, опорне колесо 2, ущільнююче колесо 3, сошник 4 та вузол його кріплення 5. У запропонованій конструкції замість традиційного сошника використано удосконалений кілевидний сошник, який забезпечує усунення налипання насіння та підвищення точності його укладання.

Запропонований сошник (рис. 3.2) конструктивно складається з корпусу, вузла кріплення до рами сівалки, подаючого насіннєпровода, внутрішнього каналу подачі насіннєво-рідинної суміші, дифузорної (розширювальної) камери, прямого носика (ложеукладача), бокових крил для формування борозни та верхніх захисних щитків.

Корпус сошника має обтічну форму та виконує функцію несучого елемента. Внутрішній канал подачі насіння виконаний із гладкою поверхнею та покритий матеріалом з низьким коефіцієнтом тертя (полімер типу UHMW-PE), що забезпечує вільний рух насіннево-рідинної суміші та виключає налипання насіння, яке було встановлено як основна проблема в попередньому аналізі.

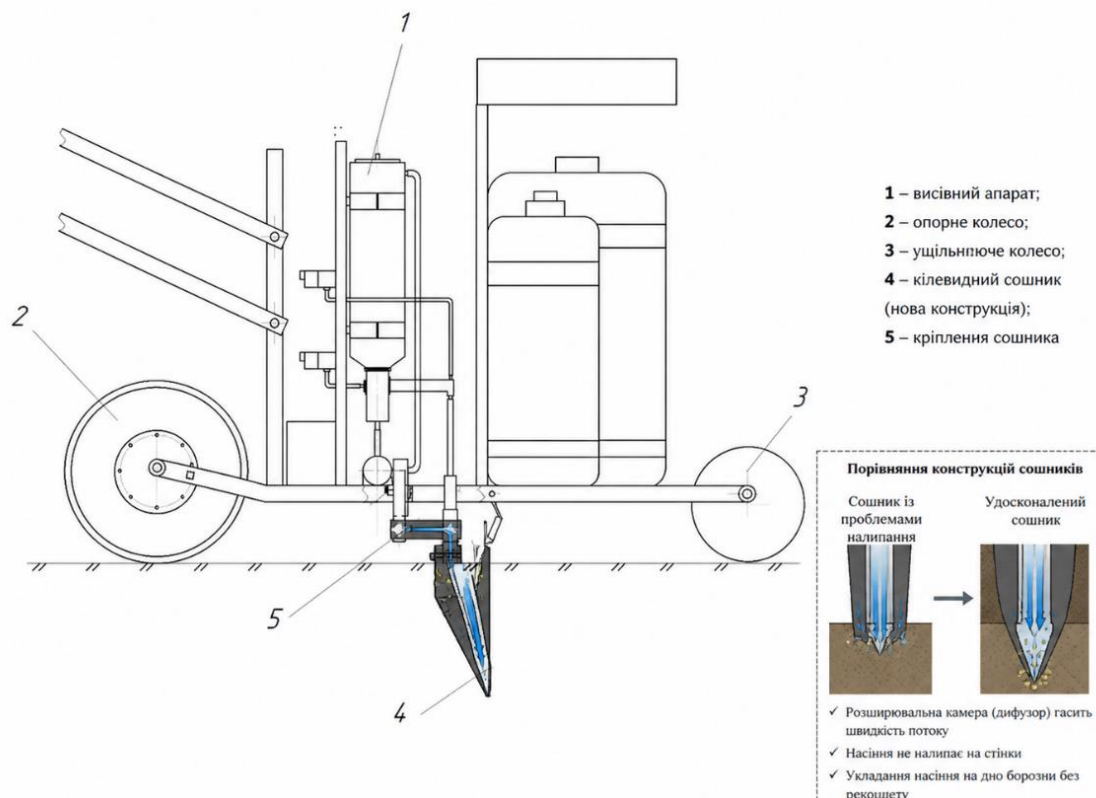


Рисунок 3.2 – Овочева сівалка з удосконаленим сошником

Подача насіннево-рідинної суміші здійснюється через насіннєпровід у внутрішній канал сошника. Геометрія каналу виконана з плавними переходами без різких змін перерізу, що дозволяє уникнути утворення зон застою потоку та забезпечити рівномірний рух суміші.

Ключовим елементом конструкції є дифузорна (розширювальна) камера, розташована у нижній частині сошника. Її застосування обумовлене тим, що при гідравлічному висіві насіння виштовхується імпульсом повітря під тиском 1–1,5 атм. Без гасіння швидкості це призводить до рекошету насіння від стінок борозни. Плавне розширення каналу забезпечує зниження швидкості потоку, стабілізацію руху суміші та усунення впливу повітряного імпульсу.

Після проходження дифузornoї камери насіння спрямовується до напрямного носика, який формує точку укладання насіння на дні борозни. Його конструкція забезпечує укладання насіння без контакту зі стінками борозни, що виключає його відскок і забезпечує точне позиціонування.

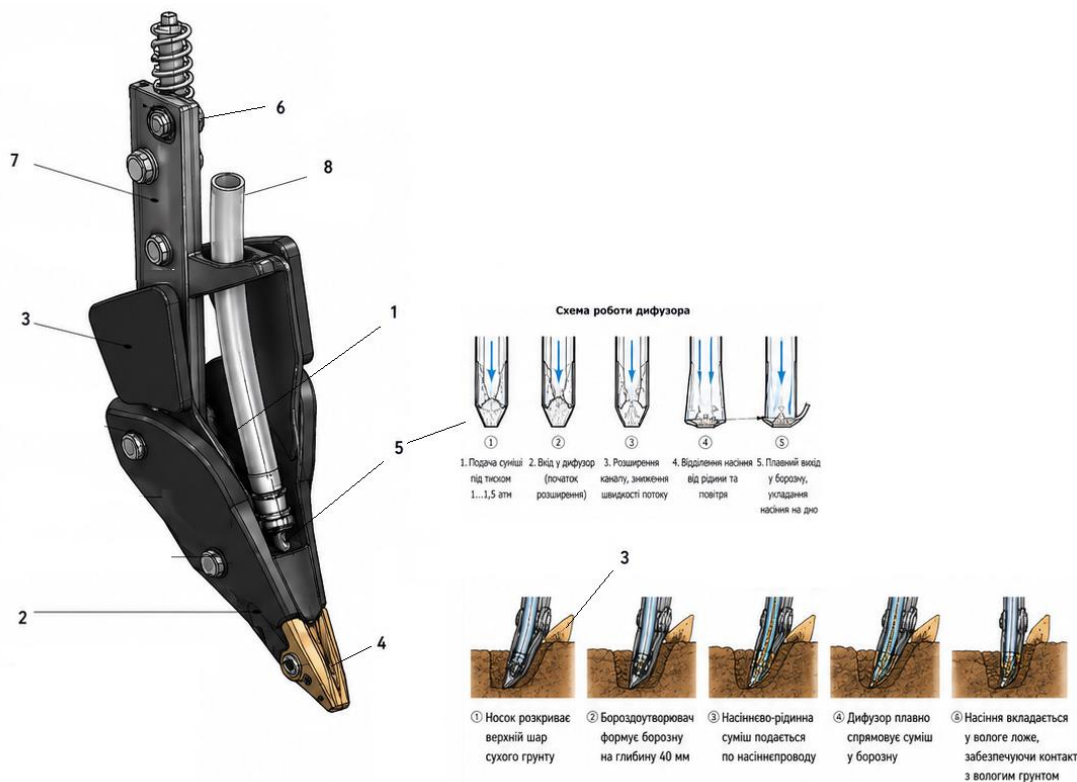


Рисунок 3.2 – Сошник для гідравлічної сівалки точного висіву

Формування борозни здійснюється за допомогою бокових крил, які розсувають ґрунт та створюють стабільне посівне ложе. Їх форма забезпечує мінімальне порушення структури ґрунту, що є важливим для збереження вологи та покращення умов проростання.

Для запобігання потраплянню сухого ґрунту з верхніх шарів у зону висіву передбачено верхні бічні щитки. Вони відводять потік ґрунту в сторони та забезпечують чистоту борозни, що дозволяє розміщувати насіння у вологому шарі ґрунту без передчасного присипання.

Принцип роботи сошника полягає у наступному. Насіннево-рідинна суміш подається через насіннєпровід у внутрішній канал сошника, після чого потрапляє в дифузornoю камеру, де відбувається зниження швидкості потоку та

гасіння повітряного імпульсу. Далі насіння відокремлюється від рідини та спрямовується напрямним носиком до дна борозни, де укладається без відскоку та зміщення. Бокові крила формують борозну, а захисні щитки запобігають потраплянню сухого ґрунту у зону висіву.

Таким чином, запропонована конструкція сошника забезпечує усунення основних недоліків традиційних робочих органів при гідравлічному висіві, а саме налипання насіння, рекошету та нестабільності його розміщення. Це дозволяє підвищити точність висіву та ефективність використання гідравлічних овочевих сівалок у системах мостового землеробства.

3.2. Розрахунок конструктивно-технологічних параметрів сошника

Розрахунок параметрів сошника виконується для обґрунтування геометричних, кінематичних та силових характеристик, що забезпечують стабільний гідравлічний висів насіння без налипання і рекошету. Вихідні дані прийняті за додатком А.

Визначення швидкості виштовхування насіння (до дифузора)

У процесі гідравлічного висіву насіння переміщується по насіннєпроводу не рівномірним потоком, а окремими імпульсами, що формуються в результаті роботи висівного апарата та дії повітряного потоку. Тому для визначення швидкості руху насіння доцільно використовувати кінематичний підхід, який враховує частоту подачі насіння та довжину каналу його транспортування.

Фізично це означає, що за один цикл висіву (період) насіння проходить відстань, рівну довжині насіннєпровода [24, 25]. Таким чином, швидкість руху насіння може бути визначена як добуток довжини ствола на частоту висіву.

Для визначення швидкості руху насіння використовується наступна залежність:

$$v_1 = L \cdot f \quad (3.1)$$

де: v_1 – швидкість руху насіння перед входом у дифузор, м/с;

L – довжина насіннєпровода (ствола), м;

f – частота висіву насіння, Гц.

Для визначення мінімального значення швидкості приймаємо найменші значення довжини ствола та частоти висіву:

$$v_{1in} = 0,20 \cdot 10 = 2,0 \text{ м/с}$$

Для визначення максимального значення швидкості приймаємо найбільші значення параметрів:

$$v_{1ax} = 0,30 \cdot 16 = 4,8 \text{ м/с}$$

Отже, реальна швидкість руху насіння перед входом у дифузорну камеру знаходиться в межах:

$$v_1 = 2,0 \dots 4,8 \text{ м/с}$$

Отримані значення свідчать про те, що насіння виходить із насіннєпровода з досить високою швидкістю, яка формується як за рахунок кінематичних параметрів висівного апарата, так і під дією повітряного імпульсу. Це може призводити до його рекошету від стінок борозни та порушення точності укладання. Тому подальшим етапом розрахунку є визначення параметрів дифузорної камери, яка забезпечує зниження швидкості потоку.

Для визначення характеру руху насіннево-рідинної суміші в насіннєпроводі необхідно оцінити гідродинамічний режим потоку. Це дозволяє встановити, чи є потік ламінарним, перехідним або турбулентним, що безпосередньо впливає на стабільність руху насіння, рівномірність подачі та ймовірність утворення зон застою.

Критерієм оцінки режиму руху є безрозмірне число Рейнольдса, яке визначає співвідношення інерційних та в'язкісних сил у потоці.

Для визначення числа Рейнольдса використовується залежність:

$$Re = \frac{\rho \cdot v_1 \cdot d}{\mu} \quad (3.2)$$

де: Re – число Рейнольдса;

ρ – густина насіннєво-рідинної суміші, кг/м^3 ;

v_1 – швидкість потоку перед дифузором, м/с ;

d – діаметр насіннєпровода, м ;

μ – динамічна в'язкість рідини, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Для розрахунку приймаємо середні значення параметрів:

$$\rho \approx 1000 \text{ кг/м}^3,$$

$$v_1 \approx 3 \text{ м/с},$$

$$d = 0,012 \text{ м}$$

$$\mu = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$Re = \frac{1000 \cdot 3 \cdot 0,012}{0,001} = 36000$$

Отримане значення значно перевищує критичне значення $Re > 4000$, що відповідає турбулентному режиму руху потоку.

Турбулентний режим характеризується наявністю вихорів, хаотичним рухом частинок та підвищеною нерівномірністю швидкісного поля. У випадку гідравлічного висіву це може призводити до нестабільного руху насіння, його

відхилення від траєкторії, а також збільшення ймовірності налипання на внутрішніх поверхнях каналу.

У зв'язку з цим виникає необхідність стабілізації потоку перед виходом насіння у борозну. Це досягається шляхом застосування дифузornoї камери, яка знижує швидкість потоку, зменшує турбулентність та забезпечує більш контрольований рух насіння.

Визначення швидкості насіннево-рідинної суміші після дифузора

Як було встановлено в попередньому пункті, швидкість руху насіння перед входом у дифузornoу камеру становить 2,0...4,82 м/с. Така швидкість є надмірною для забезпечення якісного укладання насіння, оскільки призводить до його рекошету від стінок борозни та зміщення від заданої точки висіву.

Для усунення зазначеного недоліку в конструкції сошника передбачено дифузornoу камеру, основною функцією якої є зниження швидкості потоку насіннево-рідинної суміші за рахунок збільшення площі поперечного перерізу каналу.

Фізично процес зниження швидкості потоку описується законом нерозривності потоку, згідно з яким витрата рідини залишається сталою, а швидкість обернено пропорційна площі поперечного перерізу.

Для визначення швидкості потоку після дифузора використовується залежність:

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2}, \text{ м/с} \quad (3.3)$$

де: v_1 – швидкість потоку перед дифузором, м/с;

v_2 – швидкість потоку після дифузора, м/с;

A_1, A_2 – площі поперечного перерізу каналу до і після розширення, м².

Оскільки канал має круглий переріз, площа визначається як:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

З урахуванням цього співвідношення формулу можна переписати через діаметри:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2, \text{ м/с} \quad (3.5)$$

Для ефективного зниження швидкості приймаємо збільшення діаметра каналу у 3 рази:

$$d_2 = 3 \cdot d_1, \text{ м} \quad (3.6)$$

Тоді співвідношення площ становитиме:

$$\frac{A_2}{A_1} = 9 \quad (3.7)$$

Підставляючи у формулу, отримуємо:

$$v_2 = \frac{v_1}{9} \quad (3.8)$$

Для максимального значення швидкості:

$$v_2 = \frac{4,8}{9} \approx 0,53 \text{ м/с}$$

Для мінімального значення:

$$v_2 = \frac{2,0}{9} \approx 0,22 \text{ м/с}$$

Отже, швидкість потоку після дифузорної камери становить:

$$v_2 = 0,22 \dots 0,53 \text{ м/с}$$

Для забезпечення відсутності рекошету насіння необхідно перевірити умову допустимої швидкості укладання. Гранична швидкість визначається з умови вільного падіння:

$$v_{\text{доп}} = \sqrt{2gh} \quad (3.9)$$

де: $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$h=0,01 \text{ м}$ – допустима висота відскоку.

Підставляємо:

$$v_{\text{доп}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,01} \approx 0,44 \text{ м/с}$$

Порівнюючи отримані значення:

$$v_2 = 0,22 \dots 0,53 \text{ м/с}$$

можна зробити висновок, що при максимальних режимах швидкості частково перевищує допустиме значення. Це свідчить про необхідність додаткового гасіння енергії потоку, що досягається за рахунок використання напрямного носика та оптимізації геометрії дифузора.

Таким чином, застосування дифузornoї камери дозволяє суттєво знизити швидкість насіннево-рідинної суміші та наблизити її до значень, необхідних для стабільного укладання насіння без рекошету.

Для забезпечення ефективного зниження швидкості насіннево-рідинної суміші необхідно визначити геометричні параметри дифузornoї камери. Одним із ключових параметрів є довжина дифузора, яка повинна забезпечувати плавне розширення каналу без утворення різких змін швидкості потоку та додаткової турбулентності.

Якщо дифузор буде занадто коротким, це призведе до різкого розширення потоку, виникнення вихорів і нестабільного руху насіння. У випадку надмірно довгого дифузора збільшується габарит конструкції без суттєвого покращення ефективності. Тому довжина повинна бути оптимальною.

Для визначення довжини дифузора використовується геометрична залежність, що пов'язує різницю діаметрів каналу та кут розширення:

$$L_d = \frac{D_2 - D_1}{2 \tan\left(\frac{\beta}{2}\right)}, \text{ мм} \quad (3.10)$$

де: L_d – довжина дифузора, мм;

D_1 – діаметр каналу до розширення, мм;

D_2 – діаметр каналу після розширення, мм;

β – повний кут розширення дифузора, град.

Для розрахунку приймаємо конструктивні параметри:

$$D_1 = 12 \text{ мм}, D_2 = 30 \text{ мм}, \beta = 15^\circ$$

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$L_d = \frac{30 - 12}{2 \cdot \tan(7,5^\circ)} = 68 \text{ мм}$$

Отримане значення відповідає умовам плавного розширення потоку та забезпечує зниження швидкості без утворення значних турбулентних зон.

З урахуванням технологічних та конструктивних вимог приймаємо:

$$L_d = 70 \text{ мм}$$

Таким чином, визначена довжина дифузора забезпечує оптимальні умови для гасіння швидкості насіннєво-рідинної суміші, зменшення турбулентності потоку та створення стабільного режиму руху насіння перед його укладанням у борозну.

Для оцінки плавності гасіння швидкості потоку визначаємо зміну швидкості по довжині дифузора:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{v_1 - v_2}{L_d} \quad (3.11)$$

де v_1 – швидкість до дифузора, м/с;

v_2 – швидкість після дифузора, м/с;

L_d – довжина дифузора, м.

Підставляємо:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{4,8 - 0,53}{0,07} \approx 61 \text{ м/с}^2$$

Це показує інтенсивність гасіння швидкості.

Визначення коефіцієнта розширення потоку

Для оцінки ефективності дифузора визначаємо відношення площ:

$$k = \frac{A_2}{A_1} \quad (3.12)$$

Тоді:

$$k = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \quad (3.13)$$

Підставляємо:

$$k = \left(\frac{30}{12}\right)^2 = 6,25$$

Це означає, що площа збільшується більш ніж у 6 разів.

Для оцінки енергетичних втрат у процесі розширення потоку використовуємо:

$$h = \zeta \cdot \frac{v_1^2}{2g} \quad (3.14)$$

де: ζ – коефіцієнт місцевих втрат (0,2...0,4 для плавного дифузора),
 $g=9,81 \text{ м/с}^2$

Підставляємо:

$$h = 0,3 \cdot \frac{4,8^2}{2 \cdot 9,81} = 0,35 \text{ м} \quad (3.15)$$

Для забезпечення ефективного зниження швидкості потоку без виникнення відриву струменя від стінок дифузора необхідно правильно обрати кут його розширення. Надмірно великий кут призводить до утворення вихорів і зон рециркуляції, що негативно впливає на рух насіння. Занадто малий кут, у свою чергу, призводить до збільшення довжини дифузора і ускладнення конструкції.

Для оцінки оптимального кута розширення використовується напівемпірична залежність:

$$\beta_{opt} = 2 \cdot \arctan \left(\frac{D_2 - D_1}{2L_d} \right) \quad (3.16)$$

де: β_{opt} – оптимальний кут розширення дифузора, град;

D_1 – початковий діаметр каналу, мм;

D_2 – кінцевий діаметр каналу, мм;

L_d – довжина дифузора, мм.

Підставляємо значення:

$$\beta_{opt} = 2 \cdot \arctan \left(\frac{30-12}{2 \cdot 70} \right) = 2 \cdot 7,4^\circ = 14,8 \text{ град}$$

Отримане значення практично співпадає з прийнятим конструктивним кутом:

$$\beta \approx 15^\circ$$

Обраний кут розширення дифузора є оптимальним, оскільки забезпечує плавне зниження швидкості потоку без утворення зон відриву та турбулентних вихорів. Це створює сприятливі умови для стабільного руху насіннєво-рідинної суміші та точного укладання насіння у борозну.

3.3. Розрахунок сил взаємодії сошника з ґрунтом

Під час роботи сошник взаємодіє з ґрунтом, руйнуючи його структуру та формуючи борозну [9, 10]. При цьому виникає сила опору, яка визначає необхідне притискне зусилля та енергетичні витрати агрегату. Правильне визначення цієї сили є важливим для забезпечення стабільного заглиблення сошника та дотримання заданої глибини посіву.

Для оцінки сили опору ґрунту використовується залежність, яка враховує площу взаємодії робочого органу з ґрунтом та його питомий опір [26].

Сила опору визначається за формулою:

$$F = k \cdot b \cdot hF \quad (3.17)$$

де: F – сила опору ґрунту, Н;

k – питомий опір ґрунту, Н/мм²;

b – ширина борозни, мм;

h – глибина обробітку, мм.

Для розрахунку приймаємо:

$$k = 0,4 \text{ Н/мм}^2$$

$$b = 30 \text{ мм,}$$

$$h = 40 \text{ мм}$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$F = 0,4 \cdot 30 \cdot 40 = 480 \text{ Н}$$

Отримане значення сили опору відповідає умовам роботи сошника в середньо щільних ґрунтах і використовується для подальшого визначення притискного зусилля.

Для більш точного розрахунку сили опору визначаємо площу контакту:

$$S = b \cdot h \quad (3.18)$$

$$S = 30 \cdot 40 = 1200 \text{ мм}^2$$

Уточнений розрахунок сили опору через напруження ґрунту

Сила опору також може бути визначена через напруження руйнування ґрунту:

$$F = \sigma \cdot S \quad (3.19)$$

де: $\sigma \approx 0,3 \dots 0,5 \text{ Н/мм}^2$

$$F = 0,4 \cdot 1200 = 480 \text{ Н}$$

Визначення питомого тиску сошника на ґрунт

Для оцінки умов роботи визначаємо тиск:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{480}{1200} = 0,4 \text{ Н/мм}^2 \quad (3.20)$$

Визначення потужності, необхідної для переміщення сошника

Потужність витрачається на подолання сили опору:

$$N = F \cdot v, \text{ Вт} \quad (3.21)$$

Швидкість руху сівалки з сошником приймаємо $v = 6 \text{ км/год} = 1,67 \text{ м/с}$.

$$N = 480 \cdot 1,67 = 802 \text{ Вт}$$

Отримані результати свідчать про те, що сила опору ґрунту для запропонованої конструкції сошника становить близько 480 Н, що відповідає середнім умовам роботи. Додаткові розрахунки підтверджують узгодженість

отриманих значень та дозволяють оцінити навантаження на конструкцію і енергетичні витрати процесу.

3.4. Розрахунок процесу надійного висіву насіння

Під час руху насіннево-рідинної суміші по внутрішніх поверхнях сошника виникають сили тертя та адгезії, які можуть призводити до налипання зволоженого насіння. Це порушує рівномірність подачі та точність висіву, тому при проектуванні конструкції необхідно забезпечити мінімізацію цих сил.

Сила тертя, що діє на насіння при його контакті з поверхнею каналу, визначається як:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot N \quad (3.22)$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя, Н;

f – коефіцієнт тертя між насінням і матеріалом поверхні;

N – нормальна сила притискання насіння до поверхні, Н.

Для оцінки ефективності вибору матеріалу порівнюємо коефіцієнти тертя для сталі та полімерного покриття:

$$\frac{f_{\text{сталі}}}{f_{\text{полімер}}} = \frac{0,4}{0,15} \approx 2,7 \quad (3.23)$$

Це означає, що використання полімерних матеріалів дозволяє зменшити силу тертя майже у 3 рази.

Визначення сили адгезії насіння до поверхні

Окрім тертя, важливу роль відіграє адгезія, яка залежить від площі контакту:

$$F_{\text{адг}} = \tau \cdot A \quad (3.25)$$

де $F_{\text{адг}}$ – сила адгезії, Н;

τ – питоме зчеплення (Па);

A – площа контакту насіння з поверхнею, м².

Зменшення площі контакту (гладка поверхня, округлий канал) знижує налипання.

Умова руху насіння без налипання

Для забезпечення руху насіння необхідно, щоб сила потоку перевищувала сили опору:

$$F_{\text{пот}} > F_{\text{тр}} + F_{\text{адг}} \quad (3.26)$$

де: $F_{\text{пот}}$ – сила, що діє від потоку рідини та повітря.

Проведений аналіз показує, що налипання насіння визначається сумарною дією сил тертя та адгезії. Використання матеріалів із низьким коефіцієнтом тертя, таких як полімери, дозволяє зменшити силу тертя у 2,5–3 рази. Додатково, зменшення площі контакту та забезпечення достатньої сили потоку дозволяє виконати умову руху насіння без затримок. Таким чином, запропоновані конструктивні рішення забезпечують стабільний рух насіння в каналі сошника та виключають його налипання.

3.5. Розрахунок елементів конструкції на міцність

Розрахунок на міцність виконується з метою перевірки працездатності основних елементів сошника під дією навантажень, що виникають у процесі взаємодії з ґрунтом та під час подачі насіннєво-рідинної суміші [27]. До найбільш навантажених елементів відносяться: корпус сошника (кілевидна частина), кронштейн кріплення та елементи насіннєпровода.

У розрахунках приймаємо розрахункове навантаження від опору ґрунту, визначене в п. 3.2: $F=480$ Н

Матеріал корпусу – сталь 45; для розрахунків приймаємо допустиме напруження: $[\sigma]=140\dots160$ МПа (з урахуванням коефіцієнта запасу).

Перевірка корпусу сошника на вигин

Корпус сошника працює як консольна балка, навантажена силою F на відстані l від місця кріплення.

Згинальний момент визначається за формулою:

де: l – відстань від точки прикладання сили до кріплення, м.

Приймаємо:

Згинальний момент визначається:

$$M = F \cdot l, \text{ Нм} \quad (3.27)$$

де: $l=0,25$ м

$$M = 480 \cdot 0,25 = 120 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Для визначення напруження при вигині використовуємо:

$$\sigma = W/M$$

де: W – момент опору перерізу, м^3 .

Для прямокутного перерізу:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ м}^3 \quad (3.28)$$

Приймаємо: $b = 0,03$ м, $h = 0,01$ м

$$W = \frac{0,03 \cdot (0,01)^2}{6} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Тоді напруження:

$$\sigma = \frac{120}{5 \cdot 10^{-7}} = 240 \text{ МПа} \quad (3.29)$$

Отримане значення перевищує допустиме, що свідчить про необхідність збільшення товщини перерізу або застосування ребер жорсткості.

Перевірка корпусу при збільшеній товщині

Приймаємо: $h=0,015$ м

$$W = \frac{0,03 \cdot (0,015)^2}{6} = 1,125 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$\sigma = \frac{120}{1,125 \cdot 10^{-6}} \approx 107 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується: $\sigma < [\sigma] \quad 107 < 150$.

Перевірка елемента на зсув

Для оцінки міцності при зрізі використовуємо:

$$\tau = \frac{F}{A}, \text{ МПа} \quad (3.30)$$

де: $A = b \cdot t$ площа перерізу, м^2 :

$$A = 0,03 \cdot 0,004 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\tau = \frac{480}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 4 \text{ МПа}$$

Допустиме значення:

$$[\tau] \approx 80 \text{ МПа}$$

$$\tau < [\tau]$$

умова виконується $4 < 80 \text{ МПа}$

Перевірка на стійкість (втрату форми)

Для тонкостінних елементів оцінюємо стійкість:

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = 620 \text{ МПа} \quad (3.31)$$

де: $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ - модуль пружності; $\lambda = 57,7$ - гнучкість

Умова виконується $\sigma_{\text{кр}} > \sigma \quad 620 \text{ МПа} > 107 \text{ МПа}$

Перевірка коефіцієнта запасу міцності

Коефіцієнт запасу визначається:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{150}{107} = 1,4 \quad (3.32)$$

Рекомендоване значення: $n=1,3 \dots 2$ умова виконується

У результаті проведених розрахунків встановлено, що при початкових геометричних параметрах корпус сошника не забезпечує необхідної міцності. Після коригування товщини елементів напруження зменшується до допустимого рівня. Перевірки на зсув, вигин та стійкість підтверджують працездатність конструкції. Коефіцієнт запасу міцності знаходиться в допустимих межах, що забезпечує надійну роботу сошника в умовах експлуатації.

3.6. Висновки

Розроблено конструкцію сошника адаптовану для роботи з сівалкою точного гідровисіву овочевих культур.

У результаті розрахунків визначено, що швидкість руху насіння перед дифузором становить 2,0–4,8 м/с, що потребує її зниження. Обґрунтовано застосування дифузорної камери, яка забезпечує зменшення швидкості до значень, близьких до допустимих для стабільного укладання насіння 0,40–0,45 м/с. Встановлено, що використання полімерних матеріалів дозволяє зменшити силу тертя і, відповідно, налипання насіння у 2,5–3 рази. Розрахунок сил взаємодії з ґрунтом показав, що опір становить близько 480 Н і не перевищує допустимих значень для даного типу робочого органу. Перевірка на міцність підтвердила працездатність конструкції.

Запропонований сошник забезпечує підвищення точності висіву, стабільність технологічного процесу та ефективну роботу гідравлічної сівалки в системі мостового землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Оцінка стану охорони праці в господарстві

Оцінка стану охорони праці в господарстві ТОВ «ЗОРЯ» виконується з метою визначення рівня безпеки виробничих процесів, виявлення потенційно небезпечних факторів та обґрунтування заходів щодо їх усунення або мінімізації [28, 29]. Аналіз проводиться з урахуванням специфіки діяльності підприємства, яке здійснює вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням механізованих та частково автоматизованих технологій.

У господарстві функціонують основні виробничі підрозділи, пов'язані з виконанням польових робіт, технічним обслуговуванням машинно-тракторного парку та зберіганням матеріально-технічних ресурсів. Усі ці процеси супроводжуються впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я працівників.

До основних небезпечних факторів належать: рухомі частини машин і механізмів, обертові робочі органи, підвищена запиленість повітря, шум і вібрація, а також можливість травмування при виконанні ремонтних робіт. Особливу небезпеку становлять операції з агрегування техніки, обслуговування робочих органів та виконання польових робіт у нічний час.

Шкідливими факторами є вплив хімічних речовин (добрива, засоби захисту рослин), підвищена температура в літній період, а також тривале перебування оператора у вимушеній позі під час керування технікою.

У процесі аналізу встановлено, що в господарстві загалом дотримуються вимоги нормативних документів з охорони праці. Працівники проходять інструктажі з техніки безпеки, використовують засоби індивідуального захисту, а основна техніка оснащена захисними кожухами та сигналізаційними елементами. Виробничі приміщення забезпечені первинними засобами пожежогасіння.

Разом з тим, виявлено ряд недоліків, які потребують усунення. Зокрема, у деяких випадках має місце недостатній контроль за технічним станом обладнання, несвоєчасне обслуговування окремих вузлів машин, а також недотримання оптимальних режимів праці та відпочинку. Окремі робочі місця потребують покращення умов освітлення та зниження рівня шуму.

В умовах впровадження нових технологій, зокрема використання мостових машин і гідравлічних сівалок, виникають додаткові вимоги до безпеки праці. Це пов'язано з наявністю нових елементів конструкції, гідравлічних систем, а також необхідністю точного налаштування робочих органів. Тому особливу увагу слід приділяти навчанню персоналу та розробці інструкцій з безпечної експлуатації нових технічних засобів.

Таким чином, стан охорони праці в господарстві можна оцінити як задовільний, однак він потребує подальшого вдосконалення, особливо в частині технічного контролю, організації робочих місць та адаптації до нових технологічних процесів.

4.2. Заходи з підвищення безпеки при виконанні посівних робіт

Підвищення безпеки при виконанні посівних робіт є важливою складовою організації виробництва, оскільки дані операції пов'язані з використанням машин і механізмів, рухомих частин, гідравлічних систем та впливом зовнішніх факторів [30]. Особливої уваги потребує виконання робіт із застосуванням гідравлічних овочевих сівалок та мостових машин, де поєднуються механічні, гідравлічні та автоматизовані процеси.

Одним із основних напрямів підвищення безпеки є забезпечення справного технічного стану машин і обладнання. Перед початком посівних робіт необхідно проводити технічний огляд сівалки, перевіряти стан сошників, насіннєпроводів, гідравлічних з'єднань та вузлів кріплення. Особливу увагу

слід приділяти герметичності системи подачі насіннево-рідинної суміші та відсутності витоків під тиском.

Важливим заходом є захист працівників від травмування рухомими частинами машин. Усі обертові та рухомі елементи повинні бути обладнані захисними кожухами. Забороняється виконувати регулювання або очищення робочих органів під час руху агрегату або при працюючих механізмах.

З метою запобігання небезпеці, пов'язаній із гідравлічними системами, необхідно дотримуватися правил роботи з обладнанням під тиском. Роботи з обслуговування та ремонту повинні виконуватися тільки після повного зниження тиску в системі. Не допускається використання пошкоджених шлангів або з'єднань.

Особливу увагу слід приділяти безпеці при роботі з мостовими машинами. Оскільки рух агрегату здійснюється по направляючих конструкціях, необхідно контролювати їх технічний стан, надійність кріплення та відсутність сторонніх предметів на шляху руху. Обслуговуючий персонал повинен знаходитися поза зоною переміщення машини під час її роботи.

Для підвищення безпеки оператора необхідно забезпечити ергономічні умови праці: зручне розташування органів керування, достатній рівень освітлення, а також зниження впливу шуму та вібрації. При роботі у вечірній або нічний час агрегати повинні бути обладнані освітлювальними приладами.

Важливим заходом є використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні використовувати спецодяг, рукавиці, захисне взуття, а при роботі з рідинами та хімічними речовинами – захисні окуляри та респіратори.

У сучасних умовах ефективним напрямом підвищення безпеки є впровадження автоматизації. Використання систем контролю та датчиків дозволяє зменшити участь людини в небезпечних операціях, а також своєчасно виявляти відхилення в роботі обладнання. Зокрема, застосування координатного висіву дозволяє мінімізувати необхідність ручного втручання в процес.

Таким чином, реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки при виконанні посівних робіт, знизити ризик травматизму та забезпечити ефективну і безпечну експлуатацію гідравлічних сівалок у системах мостового землеробства.

4.3. Вимоги безпеки при експлуатації сівалки з розробленим сошником

Безпечна експлуатація гідравлічної овочевої сівалки з удосконаленим сошником передбачає дотримання вимог охорони праці на всіх етапах виконання робіт: підготовки, запуску, виконання посіву та завершення роботи. Особливості конструкції сошника, зокрема наявність дифузornoї камери та системи подачі насіннево-рідинної суміші під тиском, обумовлюють підвищені вимоги до безпеки.

Підготовка до роботи

Перед початком посівних робіт необхідно провести повний технічний огляд сівалки. Перевіряється стан кріплення сошника, цілісність корпусу, відсутність тріщин і деформацій, а також чистота внутрішніх каналів. Особливу увагу слід приділити насіннепроводу та дифузornoї камері, оскільки їх засмічення або пошкодження може призвести до нерівномірної подачі насіння або аварійної ситуації.

Необхідно перевірити герметичність гідравлічної системи, справність шлангів і з'єднань, а також відсутність витоків. Робота із системою під тиском допускається лише за умови повної її справності.

Перед запуском агрегату всі захисні кожухи повинні бути встановлені, а сторонні предмети — видалені з робочої зони. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту.

Запуск агрегату

Запуск сівалки здійснюється після перевірки всіх вузлів та систем. При цьому оператор повинен переконатися у відсутності людей у зоні руху агрегату та в зоні роботи сошників.

Подача насіннево-рідинної суміші повинна здійснюватися поступово, з контролем тиску в системі. Різке підвищення тиску не допускається, оскільки це може спричинити пошкодження елементів конструкції або неконтрольований викид суміші.

Виконання посівних робіт

Під час роботи агрегату забороняється перебування працівників поблизу рухомих частин та робочих органів. Контроль процесу здійснюється дистанційно або з кабіни транспортного засобу.

Особливу увагу слід приділяти роботі сошника. У випадку порушення подачі насіння, появи сторонніх шумів або підвищеного опору руху агрегат необхідно негайно зупинити.

Очищення сошника, насіннепровода або дифузорної камери під час роботи забороняється. Усі регулювальні роботи виконуються тільки після повної зупинки машини та зниження тиску в системі.

При роботі в умовах мостового землеробства необхідно контролювати положення машини на направляючих та не допускати знаходження людей у зоні її переміщення.

Завершення роботи

Після закінчення посівних робіт необхідно повністю зупинити агрегат і відключити подачу насіннево-рідинної суміші. Після цього виконується розгерметизація системи для усунення залишкового тиску.

Сошник і насіннєпровід необхідно очистити від залишків суміші, щоб запобігти налипанню та засміченню. Очищення виконується за допомогою спеціальних інструментів, без застосування надмірних зусиль.

Проводиться огляд стану робочих органів, перевірка зносу елементів та їх підготовка до подальшого використання або зберігання.

Загальні вимоги безпеки

У процесі роботи необхідно суворо дотримуватися правил техніки безпеки, не допускати перевищення допустимого тиску в системі, своєчасно виконувати технічне обслуговування та використовувати справне обладнання.

Працівники повинні бути проінструктовані щодо особливостей роботи гідравлічної сівалки та ознайомлені з потенційними небезпеками.

Дотримання вимог безпеки на всіх етапах – від підготовки до завершення роботи – дозволяє забезпечити надійну експлуатацію сівалки з розробленим сошником, мінімізувати ризик травматизму та підвищити ефективність виконання посівних робіт.

4.4. Оцінка впливу на навколишнє середовище

Оцінка впливу на навколишнє середовище виконується з метою визначення екологічних наслідків використання гідравлічної овочевої сівалки з розробленим сошником та обґрунтування заходів щодо їх мінімізації. Враховується вплив технологічного процесу посіву на ґрунт, атмосферне повітря, водні ресурси та загальний екологічний стан агроєкосистеми.

Одним із основних факторів впливу є взаємодія робочих органів із ґрунтом. Традиційні технології передбачають рух техніки безпосередньо по полю, що призводить до ущільнення ґрунту, погіршення його структури та зниження водопроникності. Використання мостової технології землеробства дозволяє повністю усунути цей негативний фактор, оскільки переміщення

агрегату здійснюється по спеціальних напрямних, а оброблювана поверхня не піддається дії коліс.

Застосування розробленого сошника також сприяє збереженню структури ґрунту. Завдяки оптимальній геометрії робочого органа забезпечується формування борозни з мінімальним перемішуванням шарів, що дозволяє зберегти природну капілярну систему ґрунту та покращити умови для проростання насіння.

Важливим аспектом є вплив на атмосферне повітря. Під час виконання посівних робіт можливе утворення пилу, особливо у сухих умовах. Однак використання гідравлічного способу висіву, при якому насіння подається разом із рідиною, дозволяє зменшити запиленість робочої зони та знизити негативний вплив на повітряне середовище.

Додатковим позитивним фактором є зменшення витрат енергії. Завдяки оптимізації конструкції сошника та зниженню тягового опору агрегату зменшується споживання пального або електроенергії, що, у свою чергу, призводить до зниження викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Разом з тим, використання гідравлічної системи пов'язане з ризиком потрапляння насіннево-рідинної суміші або технічних рідин у ґрунт у випадку розгерметизації системи. Для запобігання цьому необхідно забезпечити герметичність з'єднань, своєчасне технічне обслуговування та контроль стану обладнання.

Також слід враховувати вплив шуму та вібрації, які виникають під час роботи агрегату. Хоча їх рівень, як правило, не перевищує допустимих норм, необхідно забезпечити дотримання санітарних вимог та використання відповідних технічних засобів для їх зниження.

Важливим екологічним аспектом є раціональне використання матеріалів та утилізація відходів. Зношені елементи сошника, ущільнення та інші деталі повинні підлягати своєчасній заміні та утилізації відповідно до чинних норм.

Таблиця 4.1 – Оцінка впливу посівних робіт на навколишнє середовище
та заходи щодо його зменшення

№	Фактор впливу	Джерело виникнення	Характер впливу	Наслідки	Заходи щодо зменшення
1	Ущільнення ґрунту	Рух техніки по полю	Механічний	Погіршення структури ґрунту, зниження врожайності	Використання мостової технології, відсутність колій
2	Порушення структури ґрунту	Робота сошника	Механічний	Руйнування капілярної структури	Оптимальна форма сошника, мінімальне перемішування
3	Запиленість повітря	Посівні роботи	Фізичний	Погіршення умов праці, забруднення повітря	Використання гідравлічного висіву, зволоження
4	Викиди від техніки	Двигун агрегату	Хімічний	Забруднення атмосфери	Зниження тягового опору, оптимізація режимів роботи
5	Витік робочої рідини	Гідросистема	Хімічний	Забруднення ґрунту	Герметизація системи, регулярний контроль
6	Шум і вібрація	Робота механізмів	Фізичний	Вплив на оператора	Використання технічно справного обладнання
7	Налипання та втрати насіння	Недосконала конструкція сошника	Технологічний	Нерівномірність висіву, перевитрати	Використання полімерних матеріалів, дифузор
8	Відходи (зношені деталі)	Експлуатація обладнання	Техногенний	Засмічення навколишнього середовища	Своєчасна утилізація, заміна деталей
9	Розлив насіннєвої суміші	Аварійні ситуації	Хімічний	Локальне забруднення ґрунту	Контроль тиску, технічне обслуговування
10	Енергоспоживання	Робота агрегату	Енергетичний	Непрямий вплив на екологію	Оптимізація конструкції сошника

Таким чином, впровадження гідравлічної овочевої сівалки з розробленим сошником у поєднанні з мостовою технологією землеробства має переважно позитивний вплив на навколишнє середовище. Основні екологічні переваги полягають у збереженні структури ґрунту, зменшенні запиленості повітря та зниженні енерговитрат. При цьому дотримання вимог експлуатації та своєчасне обслуговування обладнання дозволяє мінімізувати можливі негативні наслідки.

4.5. Висновки

У розділі проведено оцінку стану охорони праці та визначено основні небезпечні фактори при виконанні посівних робіт, зокрема вплив рухомих частин машин, гідравлічних систем під тиском, пилу, шуму та хімічних речовин.

Розроблено заходи щодо підвищення безпеки, які передбачають контроль технічного стану обладнання, використання засобів індивідуального захисту, дотримання правил роботи з гідросистемами та впровадження елементів автоматизації.

Сформульовано вимоги безпеки при експлуатації сівалки з розробленим сошником на всіх етапах роботи, що дозволяє знизити ризик травматизму та підвищити надійність технологічного процесу.

Оцінка впливу на навколишнє середовище показала, що застосування мостової технології та удосконаленого сошника сприяє зменшенню ущільнення ґрунту, зниженню запиленості та енерговитрат, а можливі негативні фактори мінімізуються за рахунок належної експлуатації.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення

Техніко-економічне обґрунтування проекту виконується з метою оцінки доцільності впровадження розробленого сошника для гідравлічної овочевої сівалки в умовах мостової технології землеробства. Основна увага приділяється визначенню економічного ефекту, який досягається за рахунок підвищення якості посіву, зниження втрат насіння, зменшення енерговитрат та покращення умов формування врожаю овочевих культур [31].

Необхідність проведення техніко-економічного обґрунтування зумовлена тим, що впровадження нових конструктивних рішень повинно бути не лише технічно доцільним, але й економічно ефективним. У сучасних умовах господарювання особливого значення набуває раціональне використання матеріальних і енергетичних ресурсів, а також забезпечення стабільності технологічних процесів.

Запропонована конструкція сошника враховує специфіку гідравлічного способу висіву, при якому насіння подається у вигляді насіннево-рідинної суміші. Це дозволяє забезпечити більш точне укладання насіння у ґрунт, зменшити його налипання на робочих поверхнях та усунути явище рекошету при виході з насіннепровода. У результаті досягається підвищення рівномірності розміщення насіння, що є одним із ключових факторів формування дружніх сходів і підвищення врожайності.

Крім того, використання сошника в системі мостового землеробства дозволяє реалізувати переваги цієї технології, зокрема зменшення ущільнення ґрунту, стабільність руху агрегату та можливість координатного (адресного) висіву. Це створює передумови для більш ефективного використання посівних площ і підвищення продуктивності агровиробництва.

В економічному аспекті впровадження розробленого сошника забезпечує зниження витрат за рахунок зменшення перевитрат насіння, зниження енерговитрат на виконання посівних робіт та підвищення врожайності. Сукупність цих факторів формує додатковий економічний ефект, який визначає доцільність впровадження розробленої конструкції у виробництво.

Таким чином, техніко-економічне обґрунтування дозволяє комплексно оцінити ефективність запропонованого рішення та підтвердити його практичну цінність для сучасного сільськогосподарського виробництва.

Для виконання техніко-економічного обґрунтування прийнято вихідні дані, що характеризують умови вирощування овочевих культур, технологічні параметри посіву та економічні показники господарства. Обрані значення відповідають реальним виробничим умовам і дозволяють об'єктивно оцінити ефективність впровадження розробленого сошника для гідравлічної овочевої сівалки.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

№	Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1	Площа посіву	(S)	га	20
2	Базова врожайність	(Y_0)	т/га	20
3	Приріст врожайності	(ΔY)	%	3
4	Ціна продукції	(C)	грн/т	6150
5	Витрати насіння	($C_{\text{нас}}$)	грн/сезон	100 000
6	Економія насіння	(η)	%	10
7	Робоча швидкість агрегату	(v)	км/год	6

5.2. Витрати на розробку сошника

Матеріальні витрати включають вартість сталі, полімерних елементів, зварювальних матеріалів та нанесення гідрофобного покриття. З урахуванням цих складових приймається узагальнена вартість матеріалу на одиницю маси виробу.

Матеріальні витрати визначаються за формулою:

$$C_{\text{мат}} = m \cdot C_{\text{м}}, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де: m — маса сошника, кг;

$C_{\text{м}}$ — вартість матеріалу, грн/кг.

Приймаємо $m = 5$ кг, $C_{\text{м}} = 300$ грн/кг

Тоді:

$$C_{\text{мат}} = 5 \cdot 300 = 1500 \text{ грн}$$

Собівартість сошника визначимо за формулою:

$$C_{\text{с}} = C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{накл}}, \text{ грн} \quad (5.2)$$

$$C_{\text{с}} = 1500 + 360 + 36 + 180 = 2076 \text{ грн}$$

Загальні витрати на виготовлення комплекту сошників:

Загальні витрати на виготовлення комплекту сошників визначаються як добуток собівартості одного виробу на їх кількість у складі сівалки.

Розрахунок виконується за формулою:

$$K = C_{\text{с}} \cdot n, \text{ грн} \quad (5.3)$$

де: K - загальні витрати, грн;

C_c — собівартість одного сошника, грн;

n — кількість сошників, шт.

Приймаємо $C_c = 2076$ грн, $n = 6$ шт

Тоді:

$$K = 2076 \cdot 6 = 12456 \text{ грн}$$

Капіталовкладення включають витрати на виготовлення комплексу сошників, монтаж, налаштування, транспортні витрати та інші супутні витрати, пов'язані з впровадженням конструкції у виробництво.

Загальні капіталовкладення визначаються:

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{виг}} + C_{\text{мон}} + C_{\text{дод}}, \text{ грн} \quad (5.4)$$

де $K_{\text{виг}}$ — витрати на виготовлення сошників, грн;

$C_{\text{мон}}$ — витрати на монтаж і налаштування, приймаємо 4500 грн;

$C_{\text{дод}}$ — інші витрати (транспорт, організаційні роботи тощо),

$$C_{\text{дод}} = 12044 \text{ грн}$$

Тоді:

$$K_{\text{заг}} = 12456 + 4500 + 12044 = 29000 \text{ грн}$$

Структура капіталовкладень показує, що найбільшу частку становлять витрати на виготовлення сошників, а також значну частину займають додаткові витрати, пов'язані з впровадженням. Такий розподіл є характерним для впровадження нових технічних рішень і підтверджує реалістичність прийнятих економічних показників.

5.3. Розрахунок ефективності проекту

Підвищення якості висіву, яке забезпечується застосуванням розробленого сошника, сприяє більш рівномірному розміщенню насіння в ґрунті, покращенню умов проростання та формуванню дружніх сходів. Це, у свою чергу, призводить до збільшення врожайності овочевих культур.

Приріст врожайності визначається як відносне збільшення базового показника:

$$\Delta Y = Y_0 \cdot \frac{\Delta Y}{100}, \text{ т} \quad (5.4)$$

де: Y_0 — базова врожайність, т/га;

ΔY — приріст врожайності, %.

Підставляємо значення:

$$\Delta Y = 20 \cdot 3/100 = 0,6 \text{ т/га}$$

Загальний приріст врожаю визначається:

$$Q = \Delta Y \cdot S, \text{ т} \quad (5.5)$$

де S — площа посіву, га.

$$Q = 0,6 \cdot 20 = 12 \text{ т}$$

Додатковий дохід від реалізації продукції визначається:

$$E_1 = Q \cdot C, \text{ грн} \quad (5.6)$$

де C — ціна продукції, грн/т.

$$E_1 = 12 \cdot 6150 = 73800 \text{ грн}$$

Отримані результати свідчать, що завдяки підвищенню врожайності на 3% додатковий обсяг продукції становить 15 т, що забезпечує додатковий дохід у розмірі 120 тис. грн. Це є одним із основних джерел економічного ефекту від впровадження розробленого сошника.

Одним із важливих джерел економічного ефекту є зменшення витрат насіння за рахунок підвищення точності висіву. Використання розробленого сошника забезпечує рівномірне розміщення насіння у ґрунті, що дозволяє уникнути перевитрат та повторного підсіву.

Економія насіння визначається як частка від загальних витрат на посівний матеріал:

$$E_2 = C_{\text{нас}} \cdot \frac{\eta}{100}, \text{ грн} \quad (5.7)$$

де $C_{\text{нас}}$ — загальні витрати насіння, грн;

η — відсоток економії, %.

$$E_2 = 100000 \cdot 0,1 = 10000 \text{ грн}$$

Сумарний економічний ефект

Загальний економічний ефект визначається як сума додаткового доходу від підвищення врожайності та економії насіння:

$$E_{\text{заг}} = E_1 + E_2, \text{ грн} \quad (5.8)$$

$$E_{\text{заг}} = 73800 + 10000 = 83800 \text{ грн}$$

Термін окупності

Для оцінки ефективності впровадження розраховується термін окупності капіталовкладень:

$$T = \frac{K_{\text{заг}}}{E_{\text{заг}}} \quad (5.9)$$

де: $K_{\text{заг}}$ — загальні капіталовкладення, грн.

Підставляємо значення:

$$T = \frac{29000}{83800} \approx 0,35 \text{ року}$$

Для більш наочного представлення результату виконаємо переведення у місяці:

$$T = 0,35 \cdot 12 \approx 4,2 \text{ місяця}$$

Результати розрахунку для проведення аналізу базового та проектного варіантів наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Порівняння ефективності класичного та проектного сошників

№	Показник	Базовий сошник	Проектний сошник	Відхилення / ефект
1	Рівномірність висіву	Низька (нерівномірна)	Висока	Покращення якості
2	Налипання насіння	Присутнє	Відсутнє	Усунено
3	Точність розміщення	±15–20%	±5–10%	+30–50% точності
4	Втрати насіння	До 3%	відсутні	Економія 3%
5	Урожайність	20 т/га	20,6 т/га	+0,6
6	Загальний урожай	400 т	412 т	+12 т
7	Додатковий дохід	—	73 800 грн	+73 800 грн
8	Економія насіння	10 000 грн		
9	Сумарний ефект	83 800 грн		
10	Капіталовкладення	29 000 грн		
11	Термін окупності	0,35 року ≈ 4,2 міс		

5.4. Висновки

Отримані результати показують, що впровадження розробленого сошника є економічно доцільним. Річний економічний ефект становить 83,8 тис. грн і формується за рахунок підвищення врожайності та зменшення витрат насіння, що досягається завдяки покращенню якості висіву.

Капіталовкладення у впровадження становлять 29 тис. грн, а термін окупності – близько 0,35 року або приблизно 4 місяці, що свідчить про високу ефективність запропонованого рішення.

Таким чином, розроблений сошник забезпечує підвищення ефективності посівних робіт і покращення економічних показників виробництва, що підтверджує доцільність його впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності процесу точного висіву овочевих культур шляхом розробки сошника для гідравлічної овочевої сівалки, яка працює в умовах мостової технології землеробства. Метою роботи було створення конструкції сошника, що забезпечує стабільне укладання насіння у ґрунт, усунення налипання насіння та підвищення рівномірності посіву.

У результаті аналізу існуючих технологій встановлено, що традиційні сошники не враховують специфіку гідравлічного висіву, що призводить до налипання насіння, його нерівномірного розподілу та зниження якості посіву.

Досліджено особливості процесу висіву овочевих культур та визначено основні агротехнічні параметри: глибина загортання насіння 20–60 мм, інтервал між насінинами 50–600 мм, допустимі відхилення не більше $\pm 10\text{--}15\%$. Обґрунтовано підвищені вимоги до точності розміщення насіння у ґрунті.

Розроблено конструкцію сошника з дифузornoю камерою, яка забезпечує зниження швидкості насіннево-рідинного потоку з 2,0–4,8 м/с до 0,22–0,53 м/с, що дозволяє виключити рекошет насіння та забезпечити його стабільне укладання на дно борозни. Встановлено, що сила опору ґрунту становить близько 480 Н, а конструкція забезпечує необхідну міцність і надійність роботи.

Виконано оцінку умов праці та впливу технології на навколишнє середовище. Визначено основні небезпечні фактори та запропоновано заходи щодо їх усунення. Показано, що застосування мостової технології землеробства зменшує ущільнення ґрунту, а гідравлічний спосіб висіву сприяє зниженню запиленості повітря.

Проведено техніко-економічне обґрунтування проєкту. Встановлено, що собівартість одного сошника становить 2076 грн, загальні капіталовкладення — 29 тис. грн, а річний економічний ефект — 83,8 тис. грн. Термін окупності становить приблизно 0,35 року або близько 4 місяців.

Таким чином, у роботі досягнуто поставленої мети — розроблено ефективну конструкцію сошника для гідравлічної овочевої сівалки, яка забезпечує підвищення точності висіву, зменшення втрат насіння та покращення економічних показників виробництва. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження запропонованого технічного рішення у сучасне сільськогосподарське виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Погорілий Л. В. Сільськогосподарські машини : підручник / Л. В. Погорілий, В. Г. Аніскін. – К. : Вища освіта, 2005. – 560 с.
2. Кравчук В. І. Машини для сівби і садіння сільськогосподарських культур / В. І. Кравчук. – К. : Урожай, 1999. – 320 с.
3. Лур'є А. Б. Теорія сільськогосподарських машин / А. Б. Лур'є. – К. : Колос, 1991. – 528 с.
4. Звіт господарства за 2023-2025 роки.
5. Барабаш О. Ю., Левченко В. М. Технології вирощування овочевих культур. – Київ : Вища школа, 2017. – 312 с.
6. Лихочвор В. В. Рослинництво. – Львів : НВФ «Українські технології», 2016. – 800 с.
7. Бондар С. О. Овочівництво : підручник. Київ: Урожай, 2018. – 384 с.
8. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень : монографія / Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М., Сокол С. П., Надикто В. Т., Улексін В. О., Бойко В. Б., Золотовська О. В., Теслюк Ю. В. – Дніпро : Акцент, 2023. – 367 с.
9. Божко І. М. Взаємодія робочих органів сільськогосподарських машин із ґрунтом / І. М. Божко. – К. : Урожай, 1990. – 240 с.
10. Кушнар'єв А. С. Механіка ґрунтів / А. С. Кушнар'єв. – Харків : Основа, 2004. – 280 с.
11. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / за ред. Д. Г. Войтюка. – К. : Урожай, 2008. – 464 с.
12. ДСТУ 4691:2006. Машини сільськогосподарські. Методи визначення показників якості посіву. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 18 с.
13. ДСТУ ISO 7256-1:2005. Сівалки. Методи випробування. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 22 с.

14. Kepner R. A. Principles of Farm Machinery / R. A. Kepner, R. Bainer, E. L. Barger. – 3rd ed. – Westport : AVI Publishing Company, 1978. – 527 p.
15. HORSCH – Modern Soil Cultivation and Seeding Technology : офіційний сайт. Дата звернення: 10.05.2026.
16. ASABE Standards 2006. Agricultural Machinery Management Data. – St. Joseph : ASABE, 2006. – 450 p.
17. Бондар С. М., Гуменюк М. Я. Машини для рослинництва. – Київ: Вища освіта, 2005. – 384 с.
18. CLAAS – Agricultural Machinery and Harvesting Technology : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.19.
19. John Deere – Agricultural Equipment and Precision Farming : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.
20. Grift T. E. Seed placement accuracy in precision planting / T. E. Grift // Transactions of the ASABE. – 2001. – Vol. 44(4). – P. 745–751.
21. Grisso R. D. Precision Farming Tools: Soil and Crop Sensors / R. D. Grisso, M. Alley. – Virginia Cooperative Extension, 2009. – 120 p.
22. Oksanen T. Automatic guidance of agricultural vehicles / T. Oksanen, A. Visala // Biosystems Engineering. – 2009. – Vol. 104, No. 3. – P. 362–371.
23. Пат. №99860 Україна МПК А01С 7/04 Координатний гідропневматичний висівний апарат/ Улексін В.О., Бойко В.Б. 10.10.2012, Бюл.№ 19
24. Ковбаса В. П., Барановський В. М., Пастухов В. І. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 336 с.
25. Blackmore B. S. Developments in precision agriculture / B. S. Blackmore // Agricultural Engineering International. – 2002. – Vol. 4. – P. 1–14.
26. Панченко О.М. Аналітичний метод визначення тягових опорів ґрунтообробних та землерийних машин та оцінка їх ефективності для

енергозберігаючих технологій: Навчальний посібник.- Дніпропетровськ: ДДАУ,1995.-96 с.

27. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: Підручник. – К.: Знання, 2016. –. 400 с.
28. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України. 28 червня 1996 р.
29. Закон України «Про охорону праці». Від 24.11.1992 року N 2695-XII)»
30. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Нац. гірн. ун-т. –2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
31. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві нової техніки і технологій. – Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. – 52 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані для розрахунку

№	Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1	Робоча швидкість агрегату	v	км/год	4...8
2	Глибина загортання насіння	h	мм	20...60
3	Ширина борозни	b	мм	25...35
4	Міжряддя	a	мм	150...450
5	Інтервал між насінинами	s	мм	50...600
6	Допустиме відхилення глибини	Δh	мм	± 5
7	Тиск повітря для виштовхування насіння	p	атм	1,0...1,5
8	Діаметр насіннєпровода	d	мм	10...16
9	Витрата насіннєво-рідинної суміші	Q	л/хв	0,5...1,5
10	Щільність ґрунту	ρ	г/см ³	1,1...1,3
11	Вологість ґрунту	W	%	18...25
12	Кут входження сошника в ґрунт	α	град	15...25
13	Притискне зусилля сошника	F	Н	200...800
14	Коефіцієнт тертя насіння по сталі	f	—	0,3...0,5
15	Коефіцієнт тертя по полімеру	f_p	—	0,1...0,2
16	Швидкість потоку суміші в каналі	v_p	м/с	1,5...3,0
17	Кут розширення дифузора	β	град	5...25
18	Довжина дифузornoї камери	L	мм	40...80
19	Ширина кілевидної частини сошника	b_k	мм	20...30
20	Товщина стінок сошника	t	мм	2...4

[illegible]