

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація вирощування цукрових буряків з модернізацією
сівалки точного висіву»

Виконав здобувач вищої освіти IV курсу,
групи АІ-22-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Семців Віктор Михайлович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро ПЕТРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

професор, д-р техн. наук

_____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Анотація

Тема: «Механізація вирощування цукрових буряків з модернізацією сівалки точного висіву»

В роботі досліджено механізацію висіву цукрових буряків. Обґрунтовано склад агрегату: трактор Lovol 904 та сівалка УПС-8. Встановлено, що за продуктивності 1,91 га/год та витрати пального 1,60 кг/га забезпечується висока економічна ефективність. Запропоновано модернізацію висівного апарату шляхом впровадження прямокутно-серповидних отворів диска шириною 2,5 мм та вакуумної прокладки змінного перетину. Це підвищує силу присмоктування до 2,29 мН та гарантує точність посіву без пошкодження насіння. Впроваджені заходи знижують витрати ресурсів та підвищують безпеку праці.

Ключові слова: цукровий буряк, пневматичний апарат, модернізація диска, точність висіву

Abstract

Topic: «Mechanization of sugar beet cultivation with modernization of precision seed drill»

The paper investigates the mechanization of sugar beet sowing. The composition of the machine unit, consisting of a Lovol 904 tractor and a UPS-8 seeder, is justified. It was established that high economic efficiency is ensured with a productivity of 1.91 ha/h and fuel consumption of 1.60 kg/ha. Modernization of the sowing unit is proposed through the implementation of rectangular-crescent disk holes (2.5 mm wide) and a variable cross-section vacuum gasket. This increases the suction force to 2.29 mN and guarantees sowing precision without seed damage. The implemented measures reduce resource consumption and improve occupational safety.

Keywords: sugar beet, pneumatic unit, disk modernization, sowing precision

ЗМІСТ

Номер розділу	Структурна одиниця і розділ	Сторінка
1	Вступ	
2	Аналіз технології вирощування буряків цукрових	
3	Операційна технологія посіву	
4	Інженерна частина	
5	Охорона праці	
6	Загальні висновки	
-	Список використаної літератури	
-	Додатки	

1. ВСТУП

Сучасний стан агропромислового комплексу України характеризується інтенсифікацією технологій вирощування просапних культур, серед яких цукровий буряк посідає стратегічне місце. Будучи основною сировиною для цукрової галузі, він забезпечує не лише продовольчу безпеку держави, а й формує значний експортний потенціал, сприяючи розвитку суміжних галузей економіки та тваринництва [1, 2]. Специфіка біологічного розвитку цукрових буряків та висока вартість сучасного дражованого насіння висувають жорсткі вимоги до техніко-технологічних параметрів посівного процесу.

Процес сівби є ключовим етапом у формуванні продуктивного стеблостою. Основним завданням механізації на цьому етапі є забезпечення пунктирного способу розміщення насіння з високим ступенем рівномірності за кроком та глибиною загортання. Недосконалість конструкцій існуючих висівних апаратів, їх зношеність або невідповідність сучасним швидкісним режимам роботи часто призводять до виникнення «пропусків» та «двійників», що суттєво знижує кінцеву врожайність та якість коренеплодів [3]. Модернізація сівалок точного висіву, спрямована на вдосконалення пневмомеханічних систем розподілу насіння, дозволяє мінімізувати вплив динамічних коливань агрегату на стабільність висіву. Оптимізація параметрів робочих органів сівалки забезпечує створення сприятливих умов для проростання кожної окремої насінини, що є критично важливим в умовах дефіциту ґрунтової вологи та мінливості кліматичних чинників.

Запропоновані в роботі конструктивні зміни дозволять підвищити рівномірність висіву, знизити витрати посівного матеріалу та забезпечити енергозбереження під час експлуатації посівного агрегату, що безпосередньо впливає на ефективність вирощування цукрових буряків в аграрних підприємствах України.

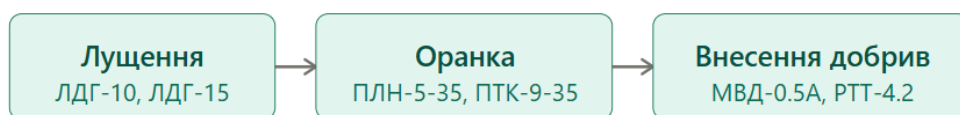
					МВЦБ 00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.	Семців							
Перев.	Петренко							
Н.контр.	Артеменко							
Затв.	Васильковський							
					Літ.		Аркуш	Аркушів
Пояснювальна записка					ЦНТУ, гр. АІ-22-1			

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ

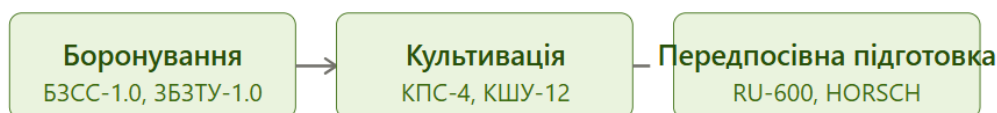
2.1. Місце технічного забезпечення в інтенсивній технології виробництва

Цукровий буряк є однією з найбільш механізованих просапних культур, технологія вирощування якої передбачає виконання понад двадцяти самостійних механізованих операцій протягом вегетаційного сезону (рис. 2.1).

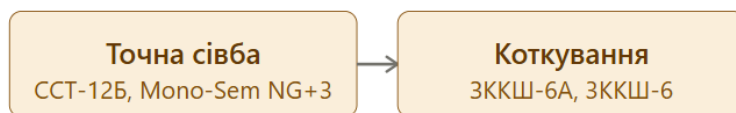
ОСІНЬ



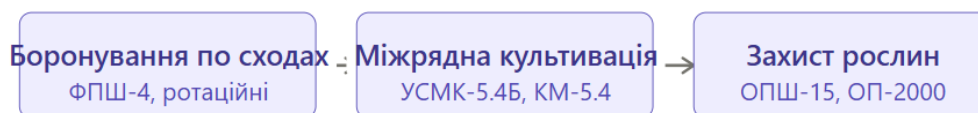
РАННЯ ВЕСНА



СІВБА



ДОГЛЯД ЗА ПОСІВАМИ



ЗБИРАННЯ

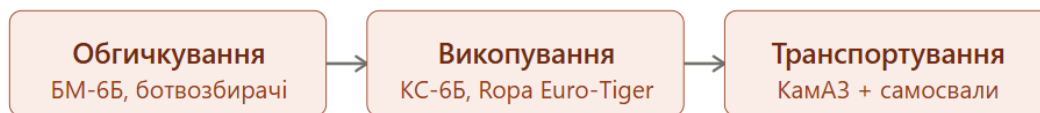


Рис. 2.1. Типовий технологічний ланцюг механізованого вирощування цукрових буряків [3-6]

Загальна трудомісткість виробництва в розрахунку на один гектар за умови переходу від ручної праці до повної механізації знижується у 12...15 разів, а прямі витрати пального складають 90...120 кг умовного пального на

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

гектар залежно від типу системи землеробства та технічного оснащення господарства [3].

Сучасне буряківництво спирається на три взаємопов'язані чинники: агробіологічні особливості культури, ґрунтово-кліматичні умови зони та систему машин, яку застосовує підприємство [3-6]. Принципово важливим є те, що механізація не зводиться до простої заміни ручної праці – вона формує принципово іншу технологічну культуру, за якої кожен агрегат виконує функцію в суворо визначені фенологічні строки з нормованою якістю. Відхилення навіть в один-два дні від оптимального агрофону сівби, наприклад, здатне знизити збір цукру на 0,3...0,5 т/га [4, 5], тому технічна готовність парку машин та оперативна логістика стають рівнозначними агротехнічним заходам.

2.2. Системи землеробства та їхній вплив на вибір технічних засобів

Вирощування цукрового буряка практикується в рамках двох основних систем землеробства – інтенсивної (традиційної) та ресурсозберігаючої (No-till / Strip-till / Mini-till), кожна з яких диктує власний перелік і конструктивні параметри машин [3, 5].

Традиційна (оранкова) система. За класичною технологією базу основного обробітку ґрунту становить глибока оранка на 28...32 см плугами з передплужниками (ПЛН-5-35, ПТК-9-35, «Лемкен DIAMANT» тощо) [3, 6, 7]. Перед оранкою обов'язковим є лушення стерні на 8...10 см дисковими (ЛДГ-10, ЛДГ-15 тощо) або лемішними (ППЛ-10-25) лушильниками, що механічно пошкоджує кореневища бур'янів і провокує проростання насіння падалиці. Разом із лушенням або безпосередньо під оранку вносять основну дозу фосфорних і калійних добрив агрегатами типу МВД-0.5А або МВУ-0,5, МРД-4 [5].

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Особливістю цієї системи є обов'язковий вирівнювальний обробіток планувальними скреперами або шлейфами після оранки, що надзвичайно важливо для рівномірного загортання насіння і точного функціонування механізму глибини ходу сівалки. Нерівність поля в межах ± 2 см призводить до коливань глибини загортання насіння від 2 до 6 см, а отже – до нерівномірних і розтягнутих сходів.

Ресурсозберігаюча система. Strip-till (смуговий обробіток) набуває дедалі ширшого поширення в лісостеповій і степовій зонах України з огляду на ризики вітрової та водної ерозії. За цією технологією обробляється лише смуга шириною 25...30 см під рядок висіву, тоді як між рядкові проміжки залишаються з рослинними рештками [3, 5]. Для виконання операції використовують спеціалізовані агрегати типу Kuhn Striger 300, вітчизняні HARVEST Strip-Till, STRIP-TILL HERCULES або на базі культиваторів КРН-4.2 з доопрацьованими стрілочастими лапами та ребордними коліщатами для точного контролю глибини [3-7].

Принципова перевага системи – збереження ґрунтової вологи в між рядних смугах і суттєве зниження кількості проходів техніки (з 10...12 до 4...5 на рік), що на важких суглинистих ґрунтах Кіровоградщини, Черкащини чи Вінниччини зменшує підплужне ущільнення і дозволяє скоротити тягові витрати до 35...40%.

Весняний передпосівний обробіток і підготовка ґрунту.

Ранньовесняне закриття вологи є першочерговою операцією, оскільки кожен день зволікання в березні-квітні призводить до незворотніх втрат продуктивної вологи у шарі 0...10 см [4, 5]. Агрегати БЗСС-1,0 у зчепленні з колісними тракторами МТЗ-82 або Fendt 313 виконують боронування при фізичній стиглості ґрунту (кут схилу зрізаного пласта 40...45°) під кутом 45° до напрямку оранки, що забезпечує рівномірний гребінчастий мікрорельєф без розкидання пласта.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Передпосівна культивування на глибину 4...6 см виконується агрегатами КПС-4, КШУ-12 або пружинними культиваторами Horsch Terrano з котком ущільнювачем. Вимоги до якості передпосівного ложа для буряка суттєво жорсткіші, ніж для зернових: розмір грудок не повинен перевищувати 1...3 см у шарі 0...5 см, а поверхня має бути вирівняна з відхиленням не більше ± 1 см на базі 4 м [3]. Досягнення такого мікрорельєфу на важких суглинках Центральноукраїнської рівнини є технічно складним завданням і потребує, як правило, двох послідовних проходів – спочатку важкого дискатора (н-д, KRATOS BDAD 3.2 або ін.), а потім комбінованого ротаційно-боронувального агрегату (Podillya 300-32, FORWARD 4,5 тощо).

Механізація сівби.

Сівба цукрового буряка є, без перебільшення, найвідповідальнішою механізованою операцією, оскільки культура висівається дражованим однонасінным насінням з нормою висіву 1,0...1,2 одиниці на погонний метр і міжряддям 45 см. Кінцева мета – отримати 95...100 тис. рослин на гектар за рівномірного розподілу в рядку з відстанню між рослинами 18...20 см [4-6]. Відхилення від норми більш ніж на 15% у будь-який бік є технологічно неприпустимим.

Точний висів забезпечують механічні та пневматичні (пневмомеханічні) сівалки двох класів:

- спеціалізовані механічні ССТ-12Б, СТВ-12, Kverneland Monopill які агрегуються з тракторами класу 1,4–2,0 і дозволяють виконувати сівбу зі швидкістю 4...6 км/год. Точність укладання насіння у цих машин залежить від технічного стану сівальних дисків і вакуумного насоса, тому при зносі дисків понад 0,3 мм необхідна їх обов'язкова заміна;

- сівалки з пневмомеханічним висівним апаратом (Monosem MECA V4/4E, Gaspardo Magica, VEGA 8 PRO, BECHA-12 (УПС-12) та ін.) [3, 9]. Ці сівалки комплектуються індивідуальними приводами сівальних секцій, системами GPS-контролю норми висіву і датчиками пропусків. Уніфікований

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

диск на 22 або 24 отвори при вакуумі 35...45 мбар забезпечує точність висіву до 98...99% з рівномірністю розподілу насіння в рядку, що характеризується коефіцієнтом варіації не вище 8%. Швидкість сівби без погіршення якості сягає 8...10 км/год.

Важливою технологічною вимогою є одночасне внесення стартових доз азотних і фосфорних добрив ($N_{15-20}P_{30-45}$) у прикореневу зону сівалками, обладнаними тукопроводами [4, 5]. Це скорочує кількість проходів агрегатів і знижує ущільнення ґрунту під час польових робіт.

Механізований догляд за посівами.

До появи сходів та у фазі семядолей виконують ротаційне або штригельне боронування легкими боронами (Lemken Thulit, БП-9 Весна, Volta 6000) для руйнування ґрунтової кірки і знищення ниткоподібних проростків однорічних бур'янів [3, 5]. Критично важливою умовою є швидкість агрегату 6...8 км/год і кут нахилу зубів борони 45° , що забезпечує загибель 60...70% бур'янів при пошкодженні не більше 3...5% рослин буряка.

Культивацію міжрядь виконують просапними культиваторами УСМК-5,4Б, КМ-5,4, Raz-Рак або спеціалізованими культиваторами для буряків типу PLANO VT RÖTTINGER [7-9]. Робочі органи – стрілчасті та долотоподібні лапи, які встановлюються з захисною зоною 8...10 см від рядка. Перша культивація (фаза 2...4 справжніх листків) виконується на глибину 4...5 см, друга і третя (з розривом 2–3 тижні) – на 6...8 см із підгортанням рядків для знищення бур'янів у захисній зоні. Паралельно вносяться рядкові дози добрив культиваторами-рослинопідживлювачами або підживлювальними агрегатами АПШ-4.

Хімічний захист рослин.

Захист від хвороб, шкідників і бур'янів виконується штанговими обприскувачами ОПШ-15, ОП-2000 або прицепними агрегатами Amazone UF-1801, Horsch Leeb PT-300 з шириною захвату 18...36 м [8-10].

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Застосування систем GPS-картування і змінних норм внесення (precision application) на основі врожайних карт дозволяє скоротити витрати пестицидів на 20...30%, що є не лише економічно, а й екологічно обґрунтованим.

Механізація збирання.

Збиральний комплекс є найбільш матеріаломістким компонентом системи машин і формує до 40...50% всіх прямих витрат на вирощування культури. Збирання складається з двох або трьох послідовних операцій залежно від застосовуваної технології [8].

Роздільний спосіб передбачає: зрізання гички збирачами типу БМ-6Б, (гичка укладається в міжряддя або завантажується в транспортний засіб), а після – викопування коренеплодів коренезбиральними машинами КС-6Б, РКС-6. Переваги – менші втрати при збиранні, можливість відокремленої заготівлі гички для корму.

Самохідні комбайни типу Ropa Euro-Tiger V8-4, Franz Kleine SF-10-2, Grimme Maxtron 620 виконують усі операції за один прохід – зрізання гички з доочисткою головок, викопування, очищення і завантаження в транспорт [7-9]. Продуктивність таких машин сягає 80...120 т/год при 24-годинному режимі роботи, що є критичним фактором в умовах обмеженого часу кампанії (жовтень–листопад). До складу збирального ланки входять 2...3 транспортні автопоїзди (вантажопідйомність 28...40 т) та перевалочний майданчик із бурячними пунктами типу КП-5, що дозволяє скоротити простої на полі.

Якість збирання оцінюють за нормативами: втрати коренеплодів не більше 1,5%, забруднення землею й рослинними рештками до 10%, пошкоджені коренеплоди не більше 3%.

2.3. Точне землеробство як новий рівень механізації.

Сучасний вектор розвитку механізації буряківництва пов'язаний із впровадженням технологій точного землеробства. Системи паралельного

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

водіння на основі GNSS (RTK з точністю ± 2 см) дозволяють забезпечити розкид рядків сівби в межах $\pm 2 \dots 3$ см, що є обов'язковою умовою подальшої ефективної роботи просапних культиваторів із мінімальними захисними зонами (6...7 см замість стандартних 10 см). Результат – збільшення частки знищених бур'янів у рядку з 40 до 70...80% без пошкодження культурних рослин [3, 5].

Застосування сенсорних систем Trimble GFX-750, John Deere StarFire, Leica moJoRTK або рішень на базі TopCon AGI-4 у комплексі з електронними кресленнями полів і агрохімічними картуваннями формує базу для диференційованого обробітку, де кожна ділянка поля отримує точно вивірений агроприйом відповідно до своїх реальних параметрів, а не усередненої норми по полю [3, 9, 12, 14].

Висновки по розділу

Механізація вирощування цукрових буряків є системоутворюючим фактором інтенсивної технології, що охоплює весь виробничий цикл від обробітку ґрунту до транспортування врожаю. Вибір технічних засобів визначається не лише агробіологічними вимогами культури, а й системою землеробства, що застосовується в господарстві, ґрунтово-кліматичними умовами та економічними параметрами виробництва. Ключовими тенденціями є перехід від оранкового до мінімального й смугового обробітку ґрунту, використання пневматичних точних сівалок, самохідних комбайнів для збирання та інтеграція систем точного землеробства, що разом формують нову якість механізованого виробництва з мінімальними втратами врожаю та ресурсів.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОСІВУ

3.1. Характеристика умов роботи

Як вже відзначалось, посів цукрових буряків є однією з найвідповідальніших операцій в технології вирощування цієї культури. Якість виконання посіву безпосередньо впливає на рівномірність появи сходів, густоту стояння рослин та, врешті-решт, на величину і якість врожаю. Для досягнення оптимальних агротехнічних показників необхідно ретельно підібрати машинно-тракторний агрегат (МТА) та розрахувати режими його роботи.

Розрахунки виконуємо для операції посіву цукрових буряків на полі площею 120 га. Агрофон – підготовлений під посів ґрунт (попередньо виконано оранку, культивуацію та боронування). Довжина гонів становить 1240 м, максимальний кут підйому поля – до 3% (що відповідає приблизно 1°43'), тип ґрунту – чорнозем звичайний.

3.2. Технічна характеристика агрегату

В якості робочого знаряддя буде використовуватись сівалка точного висіву УПС-8 (уніфікована просапна секційна, 8-рядна), призначена для пунктирного висіву насіння цукрових буряків, кукурудзи, соняшнику та інших просапних культур (табл. 3.1) [7, 10, 13, 15]. Вона забезпечує рівномірне розміщення насінин на задану відстань у рядку при мінімальному пошкодженні.

В якості тягового агрегату застосовується трактор Lovol 904, який є колісним трактором тягового класу 1,4 виробництва китайської компанії Lovol Heavy Industry (табл. 3.2). Він відноситься до універсально-просапних тракторів і широко застосовується в сільськогосподарському виробництві для виконання посівних, ґрунтообробних та інших операцій.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.1. Технічна характеристика сівалки УПС-8

Показник	Значення
Кількість сіяльних секцій, шт.	8
Ширина міжряддя (цукровий буряк), м	0,45
Конструктивна ширина захвату (відповідно до міжряддя), м	3,6
Тип висівного апарата	дисковий пневматичний
Глибина загортання насіння, мм	25...60
Маса сівалки конструкційна, кг	1350
Місткість насінневого бункера, л (на секцію)	7,5
Агрегатується з тракторами класу, кН	9...14
Спосіб агрегування	напівнавісний, задня навіска
Робоча швидкість, км/год	5...9
Продуктивність, га/год (при $v_{ц.б.}=7$ км/год)	2,0...2,5

Таблиця 3.2. Технічна характеристика трактора Lovol 904

Показник	Значення
Тяговий клас	1,4
Номінальна потужність двигуна, кВт (к.с.)	66,2 (90)
Номінальна частота обертання двигуна, хв ⁻¹	2200
Маса конструкційна, кг	3500
Колісна формула	4К4
Кількість передач вперед/назад	12/4
Діапазон швидкостей руху, км/год	1,6...30,5
Максимальна тягова сила на гаку, кН	14,0
Питома витрата палива, г/(кВт·год)	238
Місткість паливного бака, л	80
Тип гідросистеми зчіпного пристрою	роздільно-агрегатна
База трактора, м	2,05
Колія передніх/задніх коліс, мм	1200 – 1850 / 1200 – 1850

3.3. Розрахунок тягового опору сівалки

Для сівалки тяговий опір залежить від конструктивних особливостей машини, фізичних властивостей ґрунту та швидкості руху агрегату [10].

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Питомий тяговий опір характеризує зусилля, необхідне для переміщення робочих органів у ґрунті на одиницю конструктивної ширини захвату [8, 10], для чорнозему звичайного в умовах підготовленого під посів агрофону застосовують наступну формулу:

$$k_{чз} = k_{\delta} + \Delta k \cdot (v_{ц.б.} - v_{\delta}),$$

де k_{δ} – базове значення питомого тягового опору при швидкості $v_{\delta} = 5$ км/год, кН/м;

Δk – приріст питомого опору на кожен 1 км/год збільшення швидкості, кН/м;

$v_{ц.б.}$ – розрахункова робоча швидкість агрегату, км/год;

v_{δ} – базова швидкість, при якій визначено k_{δ} , км/год.

Для чорнозему звичайного при роботі сівалки типу УПС на підготовленому полі: $k_{\delta} = 0,8$ кН/м; $\Delta k = 0,03$ кН/м на кожен 1 км/год. [8, 10, 18].

При розрахунковій робочій швидкості $v_{ц.б.} = 7$ км/год:

$$k_{чз} = 0,8 + 0,03 \cdot (7 - 5) = 0,86 \text{ кН/м.}$$

Загальний тяговий опір МТА складається з тягового опору ґрунтообробних та посівних органів машини, а також враховує кут ухилу поля і для сівалки він розраховується за формулою [10, 18]:

$$R_{ц.б.} = k_{чз} \cdot B_{к.ц.б.} + G_{н.сiv} \cdot \sin(\alpha_n) + f_k \cdot G_{н.сiv} \cdot \cos(\alpha_n)$$

де $B_{к.ц.б.}$ – конструктивна ширина захвату сівалки, м ($B_{к.ц.б.} = 3,6$ м);

$G_{н.сiv}$ – повна вага сівалки (з насінням), кН;

α_n – кут підйому поля (при ухилі 3% кут $\alpha_n \approx 1,72^\circ$, $\sin(\alpha_n) \approx 0,030$);

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

f_k – коефіцієнт перекочування коліс сівалки по підготовленому ґрунту ($f_k = 0,12$).

Спочатку визначимо вагу сівалки з насінням. Маса конструкційна сівалки – 1350 кг, маса насіння у $z_6 = 8$ бункерах (при заповненні $\psi = 60\%$) і щільності насіння буряків $\gamma_{ц.б.} = 0,75$ г/см³:

$$m_{н.б.} = z_6 \cdot V_{б.сiv} \cdot \psi \cdot \gamma_{ц.б.},$$

де $V_{б.сiv}$ – місткість насіннєвого бункера, л;

$$m_{н.б.} = 8 \cdot 7,5 \cdot 0,6 \cdot 0,75 \approx 27 \text{ кг.}$$

Отже, загальна розрахункова маса сівалки з насінням:

$$m_{н.сiv} = 1350 + 27 \approx 1377 \text{ кг;}$$

тобто

$$G_{н.сiv} = 1377 \cdot 9,81 / 1000 \approx 13,5 \text{ кН.}$$

Тоді

$$R_{ц.б.} = 0,86 \cdot 3,6 + 13,5 \cdot 0,030 + 0,12 \cdot 13,5 \cdot \cos(1,72^\circ) = 5,12 \text{ кН.}$$

3.4. Перевірка відповідності трактора за тяговим зусиллям

Трактор Lovol 904 розвиває максимальне тягове зусилля на гаку 14,0 кН (табл. 3.2). Для забезпечення нормальної роботи двигуна та ходової системи трактор повинен працювати в режимі завантаження двигуна на рівні 80...90% від номінальної потужності. Тягове зусилля трактора на

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розрахунковій передачі визначається з урахуванням сили тертя та ваги трактора [10, 14]:

$$P_{m.z} = P_{m.n} - G_{m.L} \cdot f_{1m},$$

де $P_{m.n}$ – номінальна тягова сила трактора, кН ($P_{m.n} = 14,0$ кН);

$G_{m.L}$ – вага трактора Lovol 904, кН (маса 3500 кг, $G_{m.L} = 34,3$ кН);

f_{1m} – коефіцієнт перекошування коліс трактора по підготовленому ґрунту ($f_{1m} = 0,10$).

Тягове зусилля трактора при русі по горизонту з урахуванням втрат на кочення:

$$P_{m.z} = 14,0 - 34,3 \cdot 0,10 = 10,57 \text{ кН.}$$

При русі на підйом (кут $1,72^\circ$, $\sin \alpha_n = 0,030$) ефективне тягове зусилля зменшується:

$$P_{m.an} = P_{m.z} - G_{m.L} \cdot \sin(\alpha),$$

$$P_{m.an} = 10,57 - 34,3 \cdot 0,030 = 9,54 \text{ кН.}$$

Перевірка умови тягового балансу. Умова тягового балансу передбачає, що тягове зусилля трактора на робочій передачі має бути більшим або рівним тяговому опору агрегату [10]:

$$P_{m.an} \geq R_{ц.б.},$$

$$9,54 \text{ кН} \geq 5,12 \text{ кН} - \text{умова виконується.}$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Коефіцієнт, що характеризує ступінь, з яким використовується тягове зусилля трактора:

$$\eta_{m.z} = R_{ц.б.} / P_{m.ан} = 5,12 / 9,54 = 0,537.$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля $\eta_{m.z} = 0,54$ знаходиться в діапазоні 0,5...0,75 для агрегатів з посівними машинами, отже, агрегатування трактора Lovol 904 із сівалкою УПС-8 є технічно обґрунтованим.

3.5. Вибір робочої передачі та швидкості руху

Вибір робочої передачі базується на двох обмеженнях: агротехнічній вимозі до швидкості (для сівалки УПС-8 – від 5 до 9 км/год) та тяговому балансі [8, 10]. Оптимальна робоча швидкість для посіву цукрових буряків, що забезпечує рівномірне загортання насіння та мінімальні пошкодження, становить 7 км/год.

Перевіримо відповідність для передачі, що забезпечує швидкість близько 7 км/год. Трактор Lovol 904 має 12 передач вперед. Для швидкості ~7 км/год відповідає, як правило, 5-6 передача (залежно від режиму роботи двигуна). Приймаємо $v_{р.ц.б.} = 7,0$ км/год.

Потужність $N_{m.o.}$, необхідна для подолання тягового опору агрегату, визначається за формулою:

$$N_{m.o.} = R_{ц.б.} \cdot v_{ц.б.} / (3,6 \cdot \eta_{nm}),$$

де η_{nm} – ККД передачі від двигуна до коліс трактора ($\eta_{nm} = 0,88$);

3,6 – коефіцієнт переведення одиниць (км/год → м/с).

$$N_{m.o.} = 5,12 \cdot 7,0 / (3,6 \cdot 0,88) = 11,31 \text{ кВт.}$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Додатково враховується потужність, що витрачається на привід вентилятора пневматичної системи та висівних апаратів сівалки: $N_{пнев.ва} \approx 1,5$ кВт.

Загальна потужність, що споживається агрегатом:

$$N_{заг.сiв} = N_{т.о.} + N_{пнев.ва} = 11,31 + 1,5 = 12,81 \text{ кВт.}$$

Ступінь завантаження двигуна трактора:

$$\delta_{Nm.L} = N_{заг.сiв} / N_{н.L} \cdot 100\%,$$

де $\delta_{Nm.L}$ – ступінь завантаження двигуна, %;

$N_{н.L}$ – номінальна потужність двигуна Lovol 904, кВт ($N_{н.L} = 66,2$ кВт);

$$\delta_{Nm.L} = 12,81 / 66,2 \cdot 100\% = 19,4\%.$$

Завантаження двигуна становить 19,4%, що свідчить про значний резерв потужності трактора. Трактор Lovol 904 є надлишково потужним для роботи з однією сівалкою УПС-8. Проте це є допустимим з практичної точки зору, оскільки забезпечує надійну роботу агрегату та резерв для подолання місцевих нерівностей рельєфу.

3.6. Розрахунок продуктивності агрегату

Теоретична (конструктивна) продуктивність визначається без урахування втрат часу на повороти, технічне обслуговування та інші зупинки:

$$W_{т.ц.б.} = B_{к.ц.б.} \cdot v_{ц.б.} \cdot 0,1,$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_{т.ц.б.} = 3,6 \cdot 7,0 \cdot 0,1 = 2,52 \text{ га/год.}$$

Робоча ширина захвату відрізняється від конструктивної з урахуванням перекриттів між суміжними проходами. Для сівалок точного висіву перекриття дорівнює нулю, оскільки маркери точно відмічають слід колеса:

$$B_{р.ц.б.} = B_{к.ц.б.} \cdot \beta_{сiv},$$

де $\beta_{сiv}$ – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату (для сівалок $\beta_{сiv} = 1,00$);

$$B_{р.ц.б.} = 3,6 \cdot 1,00 = 3,6 \text{ м.}$$

Змінна продуктивність $W_{зм.ц.б.}$ визначається з урахуванням усіх втрат часу протягом зміни і вона розраховується через коефіцієнт використання часу зміни τ [8, 10]:

$$W_{зм.ц.б.} = W_{т.ц.б.} \cdot \tau \cdot T_{зм.сiv},$$

де $T_{зм.сiv}$ – тривалість робочої зміни при сівбі, год ($T_{зм.сiv} = 7$ год).

Для визначення коефіцієнта τ розраховуємо час циклу (прохід + поворот). Час на один прохід:

$$t_{р.ц.б.} = L_{ц.б.} / v_{ц.б.},$$

де $L_{ц.б.}$ – довжина гону, м ($L_{ц.б.} = 1240$ м);

$$v_{ц.б.} = 7000/60 = 116,7 \text{ м/хв};$$

$$t_{р.ц.б.} = 1240 / 7000 \cdot 60 = 10,63 \text{ хв.}$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата		

Час на петлевий поворот при ширині захвату 3,6 м:

$$t_{нов} = 2 \cdot (\pi \cdot R_{нов} / v_{нов} + t_{уст}),$$

де $R_{нов}$ – радіус повороту агрегату з сівалкою УПС-8, м ($R_{нов} \approx 8$ м);

$v_{нов}$ – швидкість на повороті, м/хв ($v_{нов} = 3$ км/год ≈ 50 м/хв);

$t_{уст}$ – час на зупинку та запуск, хв (0,5 хв);

$$t_{нов} = 2 \cdot (3,14 \cdot 8 / 50 + 0,5) = 2,01 \text{ хв.}$$

Кількість проходів за зміну (орієнтовно):

$$n_{пр} = 60 \cdot T_{зм.сів} / (t_{р.ц.б.} + t_{нов}),$$

$$n_{пр} = 60 \cdot 7 / (10,63 + 2,01) \approx 33 \text{ проходи.}$$

Коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = n_{пр} \cdot t_{р.ц.б.} / (60 \cdot T_{зм.сів}),$$

$$\tau = 33 \cdot 10,63 / 420 = 0,835.$$

Уточнений коефіцієнт з урахуванням технологічних зупинок (заправка насінням – кожні 5...6 га, $t_3 = 10$ хв; технічне обслуговування – 10 хв/зм):

$$\tau_{уточ} = (420 - 10 \cdot 3 - 10) / 420 = 0,905.$$

Приймаємо $\tau = 0,835 \cdot 0,905 / 1 \approx 0,76$ з урахуванням усіх чинників.

Тоді величина змінної продуктивності складе:

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_{зм.ц.б.} = 2,52 \cdot 0,76 \cdot 7 = 13,4 \text{ га/зм.}$$

Годинна продуктивність:

$$W_{г.ц.б.} = W_{м.ц.б.} \cdot \tau = 2,52 \cdot 0,76 = 1,91 \text{ га/год.}$$

3.7. Розрахунок витрати палива

Витрата палива за годину роботи визначається виходячи з питомої витрати двигуна та фактичного навантаження [10, 18]:

$$G_{г.ц.б.} = g_{ef} \cdot N_{заг.сiv} / 1000,$$

де g_{ef} – питома ефективна витрата палива двигуна, г/(кВт·год) ($g_{ef} = 238 \text{ г/(кВт·год)}$);

$$G_{г.ц.б.} = 238 \cdot 12,81 / 1000 = 3,05 \text{ кг/год.}$$

Питома витрата палива на гектар оброблюваної площі:

$$g_{га.ц.б.} = G_{г.ц.б.} / W_{г.ц.б.},$$

$$g_{га.ц.б.} = 3,05 / 1,91 = 1,60 \text{ кг/га.}$$

Відповідно до нормативних даних [10], витрата пального при сівбі просапних культур сівалками типу УПС становить 1,4...2,0 кг/га, що підтверджує достовірність отриманого результату.

Витрата палива $G_{заг.п}$ на весь обсяг роботи:

$$G_{заг.п} = g_{га.ц.б.} \cdot A_{ц.б.},$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де $A_{ц.б.}$ – площа поля, га ($A_{ц.б.} = 120$ га);

$$G_{заг.п} = 1,60 \cdot 120 = 192 \text{ кг} \approx 227 \text{ л},$$

1 л дизельного палива $\approx 0,845$ кг, тому $192 \text{ кг} / 0,845 \approx 227 \text{ л}$.

3.8. Організація роботи агрегату в полі

Поле площею 120 га має довжину гонів 1240 м. При конструктивній ширині захвату сівалки 3,6 м ширина поля становить:

$$S_{ц.б.} = A_{ц.б.} / L_{ц.б.},$$

$$S_{ц.б.} = 120 \cdot 10000 / 1240 = 967,7 \text{ м} \approx 968 \text{ м}.$$

де $A_{ц.б.}$ – площа поля, га ($120 \text{ га} \cdot 10000 \text{ м}^2/\text{га} = 1\,200\,000 \text{ м}^2$).

Для посіву цукрових буряків при ширині захвату 3,6 м та довжині гонів 1240 м рекомендується човниковий спосіб руху з поворотами на кінцях поля [8]. Цей спосіб є найбільш раціональним при посіві, оскільки:

- мінімізує час на повороти при значній довжині гону;
- забезпечує рівні рядки без огріхів;
- дозволяє точно контролювати ширину стикових міжрядь.

Ширина поворотної смуги залежить від мінімального радіуса повороту агрегату. Мінімальний радіус повороту агрегату в цілому визначається за [8, 10]:

$$R_{\min} = R_{m.L} + 0,5 \cdot B_{к.ц.б.},$$

де $R_{m.L}$ – мінімальний радіус повороту трактора (визначається конструктивно), м ($R_{m.L} \approx 3,5$ м для Lovol 904);

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$R_{\min} = 3,5 + 0,5 \cdot 3,6 = 5,3 \text{ м.}$$

Ширина поворотної смуги $E_{ц.б.}$ при петлевому повороті:

$$E_{ц.б.} = 2 \cdot R_{\min} + B_{к.ц.б.},$$

$$E_{ц.б.} = 2 \cdot 5,3 + 3,6 = 14,2 \text{ м.}$$

Приймаємо ширину поворотної смуги кратною ширині захвату сівалки:

$$E_{ф.ц.б.} = 4 \cdot 3,6 = 14,4 \text{ м (4 проходи).}$$

Загальна кількість проходів агрегату по полю визначається виходячи з ширини поля та ширини захвату:

$$N_{np} = (S_{ц.б.} - 2 \cdot E_{ф.ц.б.}) / B_{к.ц.б.} + 2 \cdot E_{ф.ц.б.} / B_{к.ц.б.}.$$

Ефективна ширина поля без поворотних смуг:

$$S_{еф.ц.б.} = S_{ц.б.} - 2 \cdot E_{ф.ц.б.} = 968 - 2 \cdot 14,4 = 939,2 \text{ м.}$$

Кількість проходів на основній ділянці:

$$N_{np.осн} = S_{еф.ц.б.} / B_{к.ц.б.} = 939,2 / 3,6 = 261 \text{ проход.}$$

Кількість проходів на поворотних смугах (обробляються в кінці):

$$N_{нов.см} = 2 \cdot E_{ф.ц.б.} / B_{к.ц.б.} = 2 \cdot 14,4 / 3,6 = 8 \text{ проходів;}$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

а загальна їх кількість становить:

$$N_{\text{заг.пр}} = N_{\text{пр.осн}} + N_{\text{пов.см}} = 261 + 8 = 269 \text{ проходів.}$$

Кількість робочих змін, необхідних для виконання посіву на всій площі:

$$K_{\text{зм.ц.б.}} = A_{\text{ц.б.}} / W_{\text{зм.ц.б.}} = 120 / 13,4 = 8,96 \approx 9 \text{ змін.}$$

Таким чином, при одному агрегаті й однозмінному режимі роботи посів цукрових буряків на площі 120 га буде виконано за 9 робочих змін (9 днів).

3.9. Зведена таблиця розрахункових показників

Показник	Величина	Од. виміру
Склад агрегату	Lovol 904 + УПС-8	-
Конструктивна ширина захвату	3,6	м
Робоча швидкість	7,0	км/год
Питомий тяговий опір ґрунту	0,86	кН/м
Загальний тяговий опір агрегату	5,12	кН
Тягове зусилля трактора (на підйом)	9,54	кН
Коефіцієнт використання тягового зусилля	0,54	-
Ступінь завантаження двигуна	19,4	%
Теоретична продуктивність	2,52	га/год
Коефіцієнт використання часу зміни	0,76	-
Годинна продуктивність (фактична)	1,91	га/год
Змінна продуктивність	13,4	га/зм
Питома витрата палива	1,60	кг/га
Загальна витрата палива на 120 га	192 ($\approx$ 227 л)	кг (л)
Ширина поворотної смуги	14,4	м
Загальна кількість проходів	269	шт.
Необхідна кількість змін для виконання всього обсягу	9	зм.

Висновки за розділом

За результатами технологічних розрахунків встановлено наступне:

1. Агрегат у складі трактора Lovol 904 та сівалки УПС-8 є технічно придатним для виконання операції посіву цукрових буряків на полі площею 120 га з чорноземом звичайним та ухилом до 3%.

2. Загальний тяговий опір агрегату при розрахунковій швидкості 7 км/год і підйомі 3% становить 5,12 кН, що значно менше за тягове зусилля трактора на гаку (9,54 кН при підйомі). Умова тягового балансу виконується з коефіцієнтом завантаження 0,54.

3. Двигун трактора Lovol 904 завантажений лише на 19,4% від номінальної потужності, що вказує на певний надлишок потужності. Це є характерним для посівних агрегатів і забезпечує стабільну роботу в усіх умовах.

4. Теоретична продуктивність агрегату складає 2,52 га/год, фактична (з урахуванням коефіцієнта використання часу зміни $\tau = 0,76$) – 1,91 га/год. Змінна продуктивність – 13,4 га/зм.

5. Питома витрата пального на операцію посіву становить 1,60 кг/га, що є економічно обґрунтованим показником. На весь обсяг роботи (120 га) потрібно близько 227 л дизельного пального.

6. Для посіву цукрових буряків рекомендується човниковий спосіб руху з петлевими поворотами та шириною поворотних смуг 14,4 м (4 проходи). Увесь обсяг посіву буде виконано за 9 робочих змін при однозмінному режимі.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА

4.1. Обґрунтування модернізації

Пневмомеханічні висівні апарати є основою сучасних сівалок точного висіву. Їхня результативна робота у значній мірі обумовлена ефективністю функціонування дозуючого вузла, що включає отвори висівного диска та систему вакуумного утримання насінин. Аналіз серійних зразків апаратів пневматичного типу виявив характерну нестабільність режиму вилучення насінин із забірної камери, зумовлену недосконалістю геометрії присмоктуючих отворів та змінністю вакуумної зони прокладки.

Ми вважаємо, що для стабільного виведення насіння із забірної камери дозуючі отвори дисків повинні мати таку конфігурацію, яка б максимізувала час перебування насінини на траєкторії їхнього руху. Цієї умови можна дотриматися, надавши отворам видовженої прямокутно-серповидної форми. Для запобігання заклинюванню насіння ширина отвору має становити 0,5... 0,7 від товщини насінини. Довжину ж отвору доцільно обирати максимальною – від краю висівного диска до стінок забірної камери, виходячи з конструктивних параметрів вузла (рис. 4.1).

4.2. Розрахунок геометрії дозуючого отвору

4.2.1. Обґрунтування ширини отвору

Ширина дозуючого отвору є визначальним параметром, що обумовлює як надійність присмоктування насінини, так і унеможливлення її застрягання в отворі [12, 13, 15-17]. Запропонована концепція передбачає формування отворів прямокутної серповидної форми, ширина яких перебуває у жорсткому зв'язку з товщиною насіння.

Умова усунення застрягання насінини в дозуючому отворі записується у вигляді нерівності:

$$0,5 \cdot d_n \leq b_{от} \leq 0,7 \cdot d_n,$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де b_{om} – ширина дозуючого отвору, мм;

d_n – розрахунковий діаметр (товщина) дражованої насінини, мм ($d_n = 4,0$ мм).

Підставляємо числові значення:

$$0,5 \cdot 4,0 = 2,0 \text{ мм} \leq b_{om} \leq 0,7 \cdot 4,0 = 2,8 \text{ мм}.$$

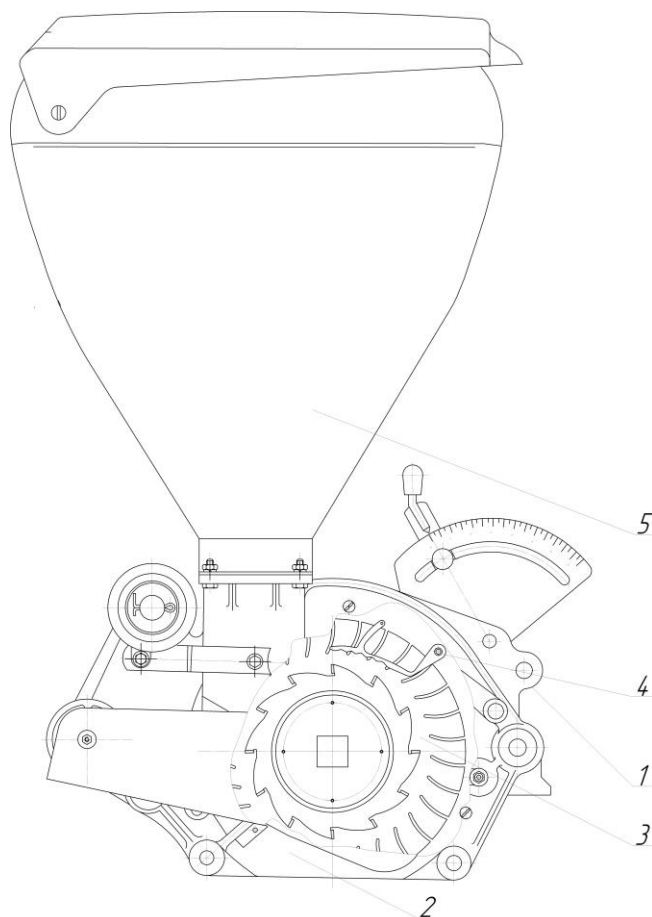


Рис. 4.1. Запропоноване конструктивне виконання висівного диска:

1 – корпус; 2 – забірна камера; 3 – висівний диск у зібраному вигляді;

4 – скидач; 5 – бункер насіннєвий

При зменшенні b_{om} нижче 2,0 мм зростає ризик защемлення насінини і її пошкодження, при $b_{om} > 2,8$ мм можливе потрапляння двох насінин одночасно, що призведе до пересіву. З практичних міркувань – забезпечення оптимального перекриття отвору насіниною та технологічності

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

виготовлення, приймаємо розрахункове значення ширини отвору $b_{om} = 2,5$ мм.

4.2.2. Визначення фактичної площі перекриття отвору насіниною

Геометрія взаємодії насінини з серповидним отвором розглядається як задача перекриття кола (проекція насінини) і прямокутника (отвір). За умови центрованого розташування насінини відносно центра отвору по ширині, фактична площа перекриття визначається через площу кола, що вписується у ширину отвору.

Оскільки ширина отвору $b_{om} = 2,5$ мм менша за діаметр насінини $d_n = 4,0$ мм, насінина спирається на краї отвору. Контактна площа перекриття являє собою сегмент кола. Площа такого сегмента визначається за геометричною формулою:

$$S_{nep} = r_n^2 \cdot \arccos((r_n - \delta) / r_n) - (r_n - \delta) \cdot \sqrt{(2 \cdot r_n \cdot \delta - \delta^2)},$$

де S_{nep} – фактична площа перекриття дозуючого отвору насіниною, м²;

r_n – радіус перерізу насінини, м ($r_n = d_n / 2 = 2,0$ мм = 0,002 м);

δ – глибина «занурення» насінини в отвір (стрілка сегмента), м.

Глибина занурення насінини в отвір по ширині:

$$\delta = r_n - \sqrt{(r_n^2 - (b_{om} / 2)^2)} = 0,002 - \sqrt{(0,002^2 - 0,00125^2)} = 0,44 \text{ мм.}$$

Підставляємо у формулу площі сегмента:

$$S_{nep} = 0,002^2 \cdot \arccos((0,002 - 0,000439) / 0,002) - (0,002 - 0,000439) \cdot \sqrt{(2 \cdot 0,002 \cdot 0,000439 - 0,000439^2)} = 0,623 \text{ мм}^2$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2.3. Розрахунок сили присмоктування

Сила вакуумного присмоктування, що діє на насінину в зоні дозуючого отвору, є головною рушійною силою процесу вилучення насіннєвого матеріалу із загальної маси у забірній камері. Відповідно до залежності, що враховує неідеальність герметизації отвору:

$$F_{np} = \psi \cdot S_{nep} \cdot P_{\text{в}},$$

де F_{np} – сила вакуумного присмоктування насінини, Н;

ψ – коефіцієнт просочування повітряного струменя у зазорі між насіниною та краями отвору ($\psi = 1,15$);

$P_{\text{в}}$ – робоче розрідження у вакуумній камері, Па ($P_{\text{в}} = 3200$ Па);

$$F_{np} = 1,15 \cdot 0,623 \cdot 10^{-6} \cdot 3200 = 2,29 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 2,29 \text{ мН}.$$

Перевірка сили присмоктування для найгіршого сценарію.

Розглянемо граничний випадок, коли насінина розташована асиметрично відносно отвору (зміщення на 30% від центра). У цьому разі ефективна площа перекриття суттєво зменшується. Прийнято, що при крайовому зміщенні площа перекриття скорочується приблизно у 2,3 рази [14]:

$$S_{nep.min} = S_{nep} / 2,3 = 0,623 \cdot 10^{-6} / 2,3 = 0,271 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$F_{np.min} = \psi \cdot S_{nep.min} \cdot P_{\text{в}} = 1,15 \cdot 0,271 \cdot 10^{-6} \cdot 3200 = 0,997 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

Порівняємо з вагою насінини:

$$G_n = m_n \cdot g = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot 9,81 = 1,570 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 0,157 \text{ мН},$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де m_n – маса насінини, кг ($m_n = 1,6 \cdot 10^{-5}$ кг).

Навіть у найгіршому сценарії розташування, сила присмоктування (0,997 мН) перевищує вагу насінини (0,157 мН) у 6,35 рази. Це гарантує надійне вилучення насінини із забірної камери за рахунок вакуумного присмоктування.

4.2.4. Розрахунок балансу сил при виносі насінини.

На насінину, що присмоктувалася до отвору, діє сукупність сил у двох протилежних напрямках. Приймаючи вісь Y , спрямовану по дотичній до кола переміщення отвору в напрямку руху, та вісь X , спрямовану по нормалі до площини диска, запишемо рівняння балансу для фази транспортування насінини після вилучення з камери забору.

Сили, що сприяють виносу та утриманню насінини на диску:

$$F_{вин} = F_{np} - G_n \cdot \cos(\alpha_m) - F_{вц} \cdot \cos(\alpha_{вц}),$$

де $F_{вин}$ – рівнодіюча сил, що забезпечує утримання насінини на диску, Н;

α_m – кут між вектором ваги і нормаллю до площини диска в точці розгляду (для вертикального диска $\alpha_m = 0 \dots 90^\circ$ залежно від положення отвору);

$F_{вц}$ – відцентрова сила інерції насінини, Н;

$\alpha_{вц}$ – кут між вектором відцентрової сили та нормаллю до площини диска ($\alpha_{вц} \approx 0^\circ$, оскільки відцентрова сила спрямована радіально від центра диска).

Відцентрова сила, що прагне відірвати насінину від поверхні диска, розраховується за класичним виразом [18, 19]:

$$F_{вц} = m_n \cdot \omega^2 \cdot R_{от},$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де ω – кутова швидкість обертання дозуючого диска, рад/с;

R_{om} – радіус розміщення дозуючих отворів на диску, м.

Кутова швидкість обертання диска при $n_d = 0,55 \text{ с}^{-1}$:

$$\omega = 2\pi \cdot n_d = 2 \cdot 3,1416 \cdot 0,55 = 3,456 \text{ рад/с.}$$

Радіус розміщення дозуючих отворів (на відстані 30 мм від краю диска діаметром 350 мм):

$$R_{om} = D_d / 2 - 0,030 = 0,175 - 0,030 = 0,145 \text{ м.}$$

Тоді

$$F_{вц} = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot (3,456)^2 \cdot 0,145 = 2,77 \cdot 10^{-5} \text{ Н} = 0,0277 \text{ мН.}$$

Відцентрова сила є незначною порівняно зі силою присмокування:

$$F_{вц} / F_{np} = 0,0277 / 2,29 = 0,012 = 1,2\%,$$

що підтверджує, що при обраних параметрах обертання диска відцентрова сила не порушує стабільного утримання насінини.

Для кількісної оцінки запасу надійності утримання насінини введено коефіцієнт надійності K_n , який являє собою відношення утримуючої сили до суми відриваючих сил при найнесприятливішому положенні отвору (верхня точка диска, де G_n діє у напрямку від диска):

$$K_n = F_{np} / (G_n + F_{вц}) = 2,29 \cdot 10^{-3} / (1,570 \cdot 10^{-4} + 2,77 \cdot 10^{-5}) = 12,4.$$

Коефіцієнт надійності утримання насінини $K_n = 12,4$ є значно вищим за мінімально допустимий рівень ($K_{n.min} = 1,5 \dots 2,0$ для висівних систем

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

подібного класу [18, 19]), що свідчить про надійне функціонування дозуючого вузла в усьому діапазоні кутових положень диска.

4.3. Розрахунок параметрів прокладки вакуумної камери

4.3.1. Аналітичне обґрунтування ширини отвору в зоні камери забору

Модернізована прокладка вакуумної камери характеризується змінною шириною отвору (рис. 4.2): максимальною l_{np} у нижній частині (зона активного захвату насінини у забірній камері) та мінімальною $h_{np} = 3,0$ мм у зоні дії скидача зайвих насінин.

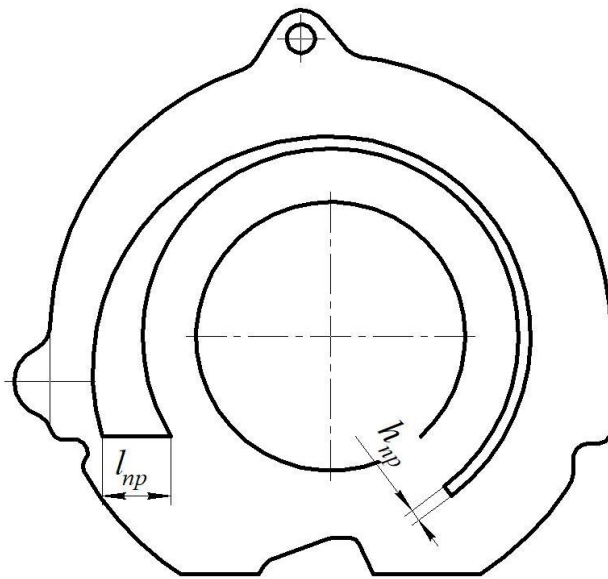


Рис. 4.2. Модернізована прокладка вакуумної камери

Максимальна ширина отвору прокладки у забірній камері обумовлює величину контактної вакуумної площі. Вона повинна перекривати ширину дозуючого серповидного отвору з урахуванням допусків на виготовлення та монтаж:

$$l_{np} = b_{от} + 2 \cdot \Delta_{мон} + \Delta_{вигот},$$

де $\Delta_{мон}$ – допуск на монтажне зміщення прокладки відносно диска, мм ($\Delta_{мон} = 0,3$ мм);

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$\Delta_{вигот}$ – допуск на виготовлення отворів прокладки, мм ($\Delta_{вигот} = 0,2$ мм);

$$l_{np} = 2,5 + 2 \cdot 0,3 + 0,2 = 3,3 \text{ мм.}$$

Отримане значення $l_{np} = 3,3$ мм округлюємо до технологічно зручного значення $l_{np} = 3,5$ мм (прийнято конструктивно).

4.3.2. Розрахунок ширини отвору прокладки в зоні скидача

Ширина отвору прокладки в зоні скидача $h_{np} = 3,0$ мм прийнята як мінімально можлива, що забезпечує ще достатнє вакуумне утримання однієї штатної насінини, проте призводить до природного відокремлення «зайвих» насінин під дією власної ваги та відцентрових сил. Перевіримо достатність сили присмоктування через отвір прокладки шириною $h_{np} = 3,0$ мм.

Ефективна площа перекриття через звужений отвір прокладки (ширина $h_{np} = 3,0$ мм, ширина дозуючого отвору $b_{om} = 2,5$ мм – лімітуюча ланка):

$$S_{ef.h} = S_{nep} \cdot (h_{np} / l_{np}) = 0,623 \cdot 10^{-6} \cdot (3,0 / 3,5) = 0,534 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Сила утримання штатної насінини через звужений отвір прокладки:

$$F_{np.h} = \psi \cdot S_{ef.h} \cdot P_{\epsilon} = 1,15 \cdot 0,534 \cdot 10^{-6} \cdot 3200 = 1,965 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 1,965 \text{ мН.}$$

Сила присмоктування через звужений отвір (1,965 мН) залишається значно вищою за вагу однієї насінини (0,157 мН), що підтверджує надійне утримання штатної насінини у зоні скидача. Водночас зменшення контактної площі послаблює утримання зайвих (другої та третьої) насінин, що стимулює їх природне відокремлення.

Прокладка вакуумної камери виготовляється таким чином, щоб забезпечити плавне зменшення ширини її отвору від l_{np} до h_{np} у напрямку

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обертання дозуючого диска від забірної камери до скидача. Закон зміни ширини отвору прийнятий лінійним:

$$b_{np}(\varphi) = l_{np} - (l_{np} - h_{np}) \cdot (\varphi / \varphi_{\max}),$$

де $b_{np}(\varphi)$ – поточна ширина отвору прокладки при куті φ , мм;

φ – поточний кут повороту диска від початку вакуумної зони, рад;

$\varphi_{\max}$ – кут охоплення вакуумної зони прокладкою (від забірної камери до скидача), рад.

При $\varphi = 0$ (зона захвату): $b_{np} = l_{np} = 3,5$ мм. При $\varphi = \varphi_{\max}$ (зона скидача) – $b_{np} = h_{np} = 3,0$ мм. Різниця ширин: $\Delta b = 0,5$ мм. Відповідно, прокладка забезпечує поступове скорочення вакуумної зони на 0,5 мм по ширині.

4.4. Розрахунок швидкісних параметрів висівного апарата

Лінійна швидкість переміщення дозуючих отворів по колу є ключовим кінематичним параметром, що обумовлює якість вилучення насінин. Надто висока швидкість призводить до «зриву» насінини, а занадто низька – до недостатньої продуктивності апарата:

$$v_{om} = \omega \cdot R_{om} = 3,456 \cdot 0,145 = 0,50 \text{ м/с},$$

де v_{om} – лінійна швидкість переміщення отворів по колу, м/с;

Отримана швидкість відповідає рекомендованому діапазону 0,3...0,8 м/с для апаратів точного висіву насіння цукрових буряків [15, 16].

Теоретичний крок між насінинами у рядку при даній частоті обертання диска та швидкості руху агрегату визначається як:

$$a_m = v_{azp} / (n_d \cdot z),$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

де v_{agr} – поступальна швидкість руху агрегату, м/с;

z – кількість дозуючих отворів на диску ($z = 30$).

При робочій швидкості агрегату $v_{agr} = 7 \text{ км/год} = 1,944 \text{ м/с}$:

$$a_m = 1,944 / (0,55 \cdot 30) = 0,118 \text{ м} \approx 118 \text{ мм.}$$

Агротехнічна вимога до кроку висіву цукрових буряків: $a_{agro} = 180...220$ мм при густоті посіву 100...120 тис. насінин/га і міжряддях 450 мм [4, 5]. Для досягнення агротехнічно обґрунтованого кроку 180 мм необхідна відповідна частота обертання диска:

$$n_{d,rozp} = v_{agr} / (a_{agro} \cdot z) = 1,944 / (0,180 \cdot 30) = 0,36 \text{ с}^{-1} \text{ (або } 21,6 \text{ хв}^{-1}\text{)}.$$

Таким чином, частота обертання диска має регулюватися в діапазоні 0,36...0,55 с^{-1} залежно від бажаного кроку висіву та швидкості руху агрегату.

4.5. Розрахунок потужності, що витрачається на привід вакуумної системи

Потужність, необхідна для підтримання заданого розрідження у вакуумній камері, залежить від об'ємних втрат повітря через зазори між дозуючими отворами та прокладкою, а також через самі дозуючі отвори в момент їх незайнятості насінинами:

$$N_{\text{вак}} = P_v \cdot Q_{\text{пов}} / \eta_{\text{вент}},$$

де $N_{\text{вак}}$ – потужність, що витрачається на привід вакуумного вентилятора, Вт;

$Q_{\text{пов}}$ – об'ємна подача вентилятора (витрата повітря), $\text{м}^3/\text{с}$;

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$\eta_{\text{вент}}$ – ККД відцентрового вентилятора ($\eta_{\text{вент}} = 0,55 \dots 0,65$, приймаємо 0,60).

Витрата повітря крізь відкриті дозуючі отвори, що не зайняті насінинами. При $z = 30$ отворах і площі одного отвору:

$$S_{om} = b_{om} \cdot L_{om},$$

де L_{om} – довжина серповидного отвору, $L_{om} \approx 12$ мм,

кількість незайнятих отворів у зоні вакуумування в будь-який момент $n_{\text{незайн}} \approx 5$:

$$S_{om} = b_{om} \cdot L_{om} = 0,0025 \cdot 0,012 = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2,$$

$$Q_{\text{нов}} = \mu \cdot S_{om} \cdot n_{\text{незайн}} \cdot \sqrt{(2 \cdot P_v / \rho_{\text{нов}})},$$

де μ – коефіцієнт витоку через отвір ($\mu = 0,65$);

$\rho_{\text{нов}}$ – щільність повітря, кг/м³ ($\rho_{\text{нов}} = 1,20$ кг/м³);

$$Q_{\text{нов}} = 0,65 \cdot 3,0 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot \sqrt{(2 \cdot 3200 / 1,20)} = 4,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 4,27 \text{ л/с},$$

$$N_{\text{вак}} = 3200 \cdot 4,27 \cdot 10^{-3} / 0,60 = 22,8 \text{ Вт}.$$

Таким чином, потужність, необхідна для забезпечення роботи вакуумної системи однієї секції висівного апарата, становить близько 22,8 Вт, а для всіх 8 секцій сівалки:

$$N_{\text{заг.вак}} = 22,8 \cdot 8 = 182,4 \text{ Вт} \approx 0,18 \text{ кВт}.$$

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Ця потужність є незначною відносно потужності приводного двигуна трактора.

Висновки за розділом

Аналіз серійних зразків апаратів пневматичного типу виявив характерну нестабільність режиму вилучення насінин із забірної камери, зумовлену недосконалістю геометрії присмоктуючих отворів та змінністю вакуумної зони прокладки. Було запропоновано для стабільного виведення насіння із забірної камери дозуючі отвори дисків виконати такої конфігурації, яка б максимізувала час перебування насінини на траєкторії їхнього руху. Цієї умови можна дотриматися, надавши отворам видовженої прямокутно-серповидної форми.

За результатами інженерних розрахунків модернізованої системи висіву пневмомеханічного типу можемо зробити наступні висновки.

Оптимальна ширина дозуючого серповидного отвору для насіння цукрових буряків дражованої фракції діаметром 4,0 мм складає 2,5 мм, що відповідає умові незастрягання насінини та знаходиться у межах рекомендованого діапазону $(0,5...0,7) d_n$.

Фактична площа перекриття дозуючого отвору насіниною становить $S_{пер} = 0,623 \text{ мм}^2$, що при розрідженні $P_g = 3200 \text{ Па}$ забезпечує силу присмоктування $F_{np} = 2,29 \text{ мН}$. Коефіцієнт надійності утримання $K_n = 12,4$ суттєво перевищує нормативний рівень, підтверджуючи надійність вилучення насінин.

Відцентрова сила, що діє на насінину при обраних параметрах обертання диска, складає лише 1,2% від сили присмоктування і є практично незначною, що виключає ризик самовільного відриву насінини від диска під час транспортування.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Модернізована прокладка вакуумної камери із змінною шириною отвору від 3,5 мм (зона захвату) до 3,0 мм (зона скидача) забезпечує умови для природнього видалення зайвих насінин без застосування примусового скидання, знижуючи навантаження на механічний скидач і підвищуючи рівномірність висіву.

При стандартному кроці висіву 180 мм і швидкості агрегату 7 км/год необхідна частота обертання дозуючого диска складає $0,36 \text{ с}^{-1}$, що відповідає лінійній швидкості отворів 0,712 м/с – у межах агротехнічно допустимого діапазону.

Сумарна потужність, що витрачається на привід вакуумної системи усіх 8 секцій сівалки, становить близько 0,18 кВт, що є незначним навантаженням на двигун агрегату і не обмежує застосовність запропонованого рішення.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Питання охорони праці при роботі з посівною технікою є критичним, оскільки процес поєднує в собі ризики від рухомих механізмів, роботи з хімікатами (протруєним насінням) та експлуатації гідравлічних систем [21].

До роботи допускаються особи, що пройшли інструктаж та ознайомлені з будовою вакуумної системи сівалки. Перед виїздом необхідно впевнитися у справності карданної передачі від вала відбору потужності (ВВП) до вентилятора. Усі захисні кожухи мають бути надійно закріплені. Категорично забороняється експлуатація сівалки з підтіканням мастила в шлангах або з'єднувальних муфтах гідроциліндрів маркерів. Механізатор повинен використовувати захисні окуляри, рукавички та респіратор (особливо при завантаженні насіння), оскільки цукрові буряки зазвичай обробляються фунгіцидними протруйниками.

Засипання насіння в бункери слід проводити з підвітряного боку, щоб уникнути вдихання пилу від протруйника. Використання відер або мішків має бути акуратним, без різких рухів. Будь-які маніпуляції з сошниками (заміна, чищення отворів) або ланцюговими передачами приводу проводяться виключно при вимкненому двигуні трактора та повній зупинці вентилятора. Під час піднімання або опускання сівалки за допомогою гідросистеми, у радіусі 15 метрів не повинно бути сторонніх осіб. Особливу увагу слід приділяти вильоту маркерів. Категорично забороняється перебування обслуговуючого персоналу на рамі сівалки, підніжках або на кришках бункерів під час руху агрегату. У разі забивання висівної секції, очищення проводиться спеціальною щіткою або дерев'яною лопаткою.

Після завершення робіт залишки протруєного насіння видаляються через розвантажувальні люки. Використання стисненого повітря для чищення бункерів дозволяється лише за наявності захисної маски. При тривалій зупинці сівалка повинна бути опущена на землю, а тиск у гідросистемі – скинутий.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

У результаті проведеного дослідження щодо механізації вирощування цукрових буряків та вдосконалення процесу їх висіву було отримано наступні результати.

Встановлено, що цукровий буряк є стратегічною сировиною для продовольчої безпеки України, проте його вирощування потребує жорсткого дотримання параметрів посіву. Специфіка сучасного дражованого насіння висуває підвищені вимоги до пневмомеханічних систем, оскільки нерівномірність розміщення насінин (пропуски та двійники) призводить до прямої втрати врожайності та погіршення якості коренеплодів.

На основі розрахунків параметрів машино-тракторного агрегату у складі трактора Lovol 904 та сівалки УПС-8 для поля площею 120 га встановлено наступне. Агрегат працює з високим запасом тягового зусилля (коефіцієнт завантаження 0,54), що гарантує стабільну швидкість руху 7 км/год. Фактична продуктивність становить 1,91 га/год, що дозволяє завершити посів за 9 змін. Питома витрата пального складає 1,60 кг/га, що підтверджує економічну ефективність обраного комплексу.

Доведено, що основною причиною нерівномірності висіву в серійних пневматичних апаратах є нестабільність зони присмоктування. Запропоновано модернізацію дозуючого диска шляхом впровадження видовжених прямокутно-серповидних отворів. Така геометрія дозволяє збільшити час контакту насінини з вакуумною зоною, мінімізуючи пропуски, запобігти заклинюванню насіння завдяки розрахованій ширині отвору 2,5 мм (що становить 0,62 від середньої товщини насінини).

Інженерні розрахунки підтвердили переваги цього рішення. Оптимальна ширина отвору 2,5 мм повністю виключає застрягання насіння. Сила присмоктування 2,29 мН забезпечує надійне утримання насінини (коефіцієнт утримання $K_n = 12,4$), попри дію відцентрових сил.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Розроблена конструкція вакуумної прокладки зі змінним перетином (від 3,5 мм до 3,0 мм) забезпечує ефект самоочищення від зайвих насінин. Це дозволяє досягти пунктирного розміщення насіння з високим ступенем рівномірності без пошкодження дражованої оболонки механічними скидачами. При цьому сумарні витрати потужності на привід вакуумної системи є мінімальними (0,18 кВт).

Визначено, що механізація посіву пов'язана з ризиками впливу хімічних протруйників та рухомих механізмів. Впроваджена модернізація підвищує технологічну надійність апарату, що зменшує кількість зупинок агрегату для ручного очищення секцій. Дотримання розроблених заходів безпеки (використання ЗІЗ, контроль гідросистеми та ВВП) мінімізує виробничий травматизм під час посівної кампанії.

Запропонований комплекс заходів – від вибору посівного комплексу до модернізації висівного апарату, дозволяє забезпечити високу точність висіву, знизити витрати пального та насіннєвого матеріалу, що є ключовим фактором інтенсифікації вирощування цукрових буряків.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бондар В. С. Цукробуряковий підкомплекс України: напрями стабілізації та індикатори розвитку до 2020 року / В. С. Бондар, А. В. Фурса. Економіка АПК. 2014. № 1. С. 20-29.
2. Стан і проблеми ринку цукру в Україні / Д. С. Боляновська, Є. І. Бурак, Р. О. Мамчин, О. В. Здрок // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2010. – № 669 : Логістика. – С. 167–171.
3. Механізація вирощування сільськогосподарських культур в Україні / А.С. Кобець, О.Д. Деркач, М.І. Ролдугін, В.М. Яцук, П.М. Кухаренко, А.М. Пугач. Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет. – Дніпропетровськ, 2014. – 285 с.
4. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології : підручник. Ч. 1. Рослинництво / С. М. Каленська [та ін.]. К. : Прінтеко, 2023. 611 с.
5. Технології вирощування цукрових буряків. ТОВ «Сингента», 2014. 100 с. URL:
https://www.syngenta.ua/sites/g/files/kgtney1466/files/media/document/2016/12/20/sugar_beet_30-12-2014-fin.pdf.
6. Ключта, О. І. Механізація вирощування цукрових буряків з модернізацією сівалки точного висіву : кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 208 «Агроінженерія» / наук. кер. П. Г. Лузан ; Центральноукрїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - 75 с.
7. Сільськогосподарські і меліоративні машини : навч. посіб. / О. Б. Кошук та ін. Київ : ПТОО НАПН України, 2015. 291 с.
8. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіашко В.М. та ін. К.: Аграрна освіта, 2010. 617 с.
9. Рудь А.В. Механізація, електрифікація та автоматизація сільгоспвиробництва т.2. / А.В. Рудь та ін.. – К. : Агроосвіта, 2012. – 430 с.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

10. Пастухов В. І., Чигрин А. Г., Джолос П. А., Мельник В. І., Ільченко В. Ю., Анікеєв О. І., Циганенко М. О. Довідник з машиновикористання в землеробстві; за ред. В. І. Пастухова. Харків: “Веста”, 2001. 347с.
11. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема у вирощуванні цукрових буряків / Ветохін В., Амосов В., Голдибан В., Боровик О., Біловод І. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2020. Вип. 26 (40). С.30-46. URL: http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2020_2.html.
12. Vasylovskaya, K.V., Vasylovskiy, O.M., Sviren, M.O., Petrenko, D.I., Moroz, M.M. Determining the parameters of the device for inertial removal of excess seed, 2019, INMATEH - Agricultural Engineering, 57(1), pp. 135-140. URL: http://www.inmateh.eu/INMATEH_1_2019/57-14-%20Vasylovskaya.pdf.
13. K.V. Vasylovskaya, O.M. Vasylovskiy, M.O. Sviren, G.A Kulik. Analysis of the works performed by pneumatic and mechanical seeding device without using vacuum // INMATEH - Agricultural Engineering – Romania, Bucharest: INMA. Vol. 56, No.3. 2018, 25-30. URL: <http://oaji.net/articles/2019/1672-1546466127.pdf>.
14. Практичні аспекти реалізації системи ресурсозбереження на різних етапах обробітку ґрунту та сівби в ускладнених ґрунтово-кліматичних умовах Центральної України / Черновол М. І., Свірень М. О., Амосов В. В. Механізація та електрифікація сільського господарства: [Загальнодержавний збірник]. – 2022. – Вип. №15 (114). / [ННЦ“ІМЕСГ”]. – Глеваха, 2022. С. 25–29. DOI: <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-2>.
15. Vasylovskaya K., Vasylovskiy O., Leshchenko S., Sviren M., Moroz M. Identification of parameters of pneumatic and mechanical seeding device under the influence of vacuum // Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2020 25(5). 2020, 1091-1094. URL: <https://www.agrojournal.org/26/05-25.html>.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

16. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting / Vasylovskaya, K.V., Leshchenko, S.M., Vasylovskyi, O.M., Petrenko, D.I. // INMATEH - Agricultural Engineering Vol. 50, No. 3 /2016.
17. Пат. 160697 Україна, МПК А01С 7/04. Пневмомеханічний висівний апарат / Васильковський М. О., Васильковський О. М., Васильковська К. В., Лещенко С. М., Мороз С. М., Нестеренко О. В., Петренко Д. І., Коваленко О. В., Ковальов М. М.; заявник і власник Центральноукраїнський національний технічний університет. – № u202500257 ; заявл. 21.01.2025 ; опубл. 01.10.2025, Бюл. № 40.
18. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
19. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга. 2008. 450 с.
20. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
21. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html.

					МВЦБ 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		