

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

“ ____ ” _____ 2026 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Механізація вирощування кормових бобів з модернізацією
секції робочих органів сівалки Vesta 8

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу,

групи AI-23мб-1.2

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Дмитро САЛІВОНОВ

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____ Дмитро АРТЕМЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

канд. техн. наук, ст. викл.

_____ Олександр ЛІВІЦЬКИЙ

Кропивницький

Анотація

Робота присвячена питанням механізації технологічного процесу вирощування кормових бобів шляхом модернізації робочої секції сівалки Vesta 8. З'ясовано, що велике насіння бобів потребує підвищеної кількості вологи та специфічного підходу до формування борозни. Проведений технічний аналіз показав, що стандартні робочі органи просапних сівалок не завжди забезпечують надійний контакт насіння з ґрунтом. Для вирішення цієї проблеми розроблено вдосконалену конструкцію комбінованого борозного і заднього прикочуючого котка. Запропоноване інженерне рішення дозволяє повністю відмовитися від використання традиційних загортачів на висівній секції. Виконано теоретичне обґрунтування та інженерні розрахунки модернізованих елементів посівної секції, адаптованої до умов посіву. Вдосконалена конструкція робочих органів просапної сівалки дозволяє підвищити ефективність сівби та сприяє збільшенню врожайності кормових бобів.

Abstract

This study focuses on the mechanization of the technological process of faba bean cultivation through the modernization of the working section of the Vesta 8 planter. It has been established that large bean seeds require an increased amount of moisture and a specific approach to furrow formation. The conducted technical analysis revealed that the standard working tools of row-crop planters do not always ensure reliable seed-to-soil contact. To address this issue, an improved design of a combined furrow and rear press wheel has been developed. The proposed engineering solution allows for the complete elimination of traditional covering devices on the seeding unit. The theoretical justification and engineering calculations of the modernized elements of the seeding unit, adapted to the sowing conditions, have been carried out. The improved design of the working tools of the row-crop planter enhances sowing efficiency and contributes to an increase in faba bean yield.

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Аналіз сучасної технології вирощування кормових бобів з визначенням шляхів її удосконалення.....	7
3. Операційна технологія процесу посіву кормових бобів.....	15
4. Інженерна частина.....	26
5. Охорона праці.....	48
Висновки.....	51
Список використаної літератури.....	53
Додатки	

					<i>МВКБ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Вступ

В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України забезпечення тваринництва збалансованими високобілковими кормами є одним із пріоритетних завдань. Кормові боби відіграють ключову роль у вирішенні цієї проблеми завдяки високому вмісту протеїну в насінні та зеленій масі. Крім того, як зернобобова культура, вони є цінним елементом сівозміни, що фіксує атмосферний азот і покращує структуру ґрунту. Проте реалізація біологічного потенціалу врожайності кормових бобів неможлива без застосування інтенсивних технологій вирощування та високого рівня механізації виробничих процесів, серед яких найвідповідальнішим етапом є сівба.

Специфіка насіння кормових бобів, його великий розмір, крихкість оболонки та підвищена потреба у вологі для проростання (до 120% від власної маси) висуває жорсткі агротехнічні вимоги до посівних машин. Традиційні зернові сівалки часто травмують насіннєвий матеріал і не забезпечують необхідної площі живлення. Застосування пневматичних сівалок точного висіву, таких як Vesta 8 (УПС-8), дозволяє суттєво покращити якість сівби. Однак базові комплектації висівних секцій універсальних просапних сівалок не завжди здатні повною мірою задовольнити вимоги до сівби саме великосортних бобових культур, що зумовлює необхідність їх цільової модернізації.

Тому в даній роботі проводиться обґрунтування та розробка модернізованої конструкції робочих органів посівної секції сівалки Vesta 8 для оптимізації процесу укладання та загортання насіння кормових бобів, що дозволить підвищити загальну якість посіву та врожайність культури.

					МВКБ 00.000 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка			Лім.	Арк.	Акрушіє		
Розроб.		Саліонов										
Перевір.		Артеменко								6	55	
								ЦНТУ гр. АІ-23мб-1.2				
Н. Контр.		Артеменко										
Затверд.		Васильковський										

2. Технологічна частина

2.1 Технологія вирощування кормових бобів

Опис культури. Кормові боби - це однорічна ярова рослина родини бобових. В Україні вони цінуються як одна з найважливіших високобілкових кормових культур. Вміст сирого протеїну в їхньому насінні сягає 25 - 35%, що робить їх чудовим компонентом для комбікормів. Рослина має потужну стрижневу кореневу систему, яка здатна проникати в ґрунт на глибину до 1,5 метра. Завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, боби фіксують значну кількість атмосферного азоту (до 100 кг/га), збагачуючи ним ґрунт. Це робить їх ідеальним попередником для озимої пшениці та інших зернових. Прямостояче, чотиригранне і порожнисте всередині стебло виростає від 70 до 150 см у висоту та відрізняється високою стійкістю до вилягання [1-6].

Вимоги до температури. Кормові боби є типовою холодостійкою культурою, яка не висуває високих вимог до тепла, особливо на початкових етапах росту. Насіння починає проростати вже за температури 3 - 4°C, що дозволяє проводити сівбу в найперші весняні терміни, щойно можна вийти в поле. Молоді сходи легко витримують короточасні весняні заморозки до -4°C...-5°C без суттєвих пошкоджень. Найкраще розвиток, цвітіння та формування бобів відбуваються за помірних температур у межах 15 - 20°C. Високі температури (понад 25°C), особливо у поєднанні з повітряною посухою під час цвітіння, призводять до масового опадання квіток і зав'язі, що різко знижує врожайність [1-6].

Вимоги до світла. Культура належить до рослин довгого світлового дня і дуже чутлива до рівня освітленості. Боби потребують інтенсивного сонячного світла впродовж усього періоду вегетації. За умов довгого дня та достатнього освітлення рослини швидше проходять фенологічні фази, раніше зацвітають і формують більший урожай. Загущення посівів або сильне забур'янення критично погіршують освітленість нижнього та середнього ярусів рослини. Це призводить до витягування стебел, затримки розвитку та втрати продуктивності [1-6].

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Вимоги до ґрунту. Серед усіх зернобобових культур кормові боби є найвибагливішими до родючості ґрунту та його забезпечення вологою. В умовах Лісостепу та центральних областей України для них критично важливо правильно підібрати поле. Найвищі врожаї боби дають на вологоємних, структурних і багатих на органіку землях глибоких чорноземах, темно-сірих лісових ґрунтах та важких суглинках. Рослина віддає перевагу ґрунтам з нейтральною або слабокислою реакцією (рН 6,0 - 7,0). Якщо ґрунт кислий (рН нижче 5,5), життєдіяльність бульбочкових бактерій пригнічується, тому такі ділянки обов'язково потребують вапнування. Культуру не варто сіяти на бідних легких піщаних, заболочених, кислих або сильно засолених ґрунтах [1-6].

Попередники. Кормові боби вимагають чистих від бур'янів полів і самі є чудовим попередником для багатьох культур. Найкращі попередники це озимі та ярі зернові (пшениця, жито, ячмінь), просапні культури (кукурудза на силос або зерно, картопля, коренеплоди). Після них поле зазвичай залишається чистим від специфічних бур'янів. Недопустимі попередники - будь-які інші зернобобові культури (горох, соя, нут, люпин), а також багаторічні бобові трави (конюшина, люцерна). Їх не можна розміщувати поруч або сіяти один після одного через спільні хвороби (кореневі гнилі, фузаріоз) та шкідників (бульбочкові довгоносики). Також варто уникати посіву після соняшнику через ризик ураження білою гниллю та засмічення поля падалицею. Повертати боби на те саме поле рекомендується не раніше ніж через 4 - 5 років [1-6].

Обробіток ґрунту. Оскільки боби мають стрижневу кореневу систему, що проникає глибоко в землю, основна мета обробітку це створення глибокого пухкого шару та накопичення максимальної кількості вологи.

Основний (осінній) обробіток починається з лущення стерні відразу після збирання попередника на глибину 6 - 8 см (для провокації росту бур'янів та збереження вологи). Через 2 - 3 тижні проводять глибоку зяблеву оранку на глибину 25 - 27 см. Глибока оранка є обов'язковою, оскільки вона сприяє

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

кращому розвитку кореневої системи та активній роботі азотфіксуючих бактерій.

Передпосівний (весняний) обробіток проводиться навесні, щойно ґрунт досягає фізичної стиглості, проводять закриття вологи (шлейфування або боронування важкими зубовими бородами). Перед самим посівом виконують культивуацію на глибину загортання насіння (6 - 8 см). Дуже важливо не пересушити ґрунт численними весняними обробітками [1-6].

Вимоги до посіву і посів кормових бобів. Кормові боби висівають у найраніші терміни навесні. Насіння для набухання та проростання потребує води в кількості 100 - 120% від власної маси. Запізнення з посівом навіть на кілька днів призводить до потрапляння насіння в сухий ґрунт, що різко знижує польову схожість. На важких суглинках насіння сіють на глибину 5 - 6 см, на легких ґрунтах до 7 - 8 см.

Норма висіву залежить від сорту та призначення, але в середньому становить 400 - 500 тис. схожих насінин на гектар. Спосіб сівби може бути суцільним рядковим (міжряддя 15 см) або широкорядним (міжряддя 45, 60 або 70 см). Широкорядний посів є кращим для насіннєвих посівів, на забур'яненних полях, а також в умовах недостатнього зволоження [1-6].

Для широкорядного посіву кормових бобів традиційні зернові сівалки поступаються спеціалізованим агрегатам. Використання просапних пневматичних сівалок точного висіву типу Vesta 8 (УПС-8) дає низку критичних переваг:

економія насіннєвого матеріалу, точне розкладання насіння в рядку без двійників та пропусків оптимізує площу живлення кожної рослини;

широке міжряддя дозволяє проводити міжрядні культивуації. Це знищує бур'яни без гербіцидного стресу для культури та руйнує ґрунтову кірку, покращуючи аерацію, що життєво необхідно для дихання бульбочкових бактерій;

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відсутність травмування, оскільки насіння бобів велике то механічні котушкові апарати часто пошкоджують його оболонку, тоді як пневматичні системи висівають його максимально дбайливо.

Найбільш привабливим та технологічно обґрунтованим рішенням для таких завдань є вітчизняна сівалка Vesta 8 (УПС-8). Ця машина демонструє високі показники якості сівби, які відповідають жорстким агротехнічним вимогам:

стабільна глибина та копіювання рельєфу, секції сівалки оснащені паралелограмною підвіскою, що гарантує суворе дотримання заданої глибини висіву (4 - 6 см) навіть на нерівних полях;

механіка системи закриття борозни - особливої уваги заслуговують прикочуючі колеса. Вони ефективно ущільнюють ґрунт безпосередньо в зоні залягання насінини (підтягуючи вологу знизу). Така конструкція системи закриття борозни ефективно запобігає утворенню ґрунтової кірки та гарантує рівномірність і дружність сходів, один із головних індикаторів якості посівної кампанії;

конструкція висівних секцій та маркерної системи забезпечує зручний доступ до механізмів, що відповідає високим вимогам безпеки праці під час налаштування та щозмінного обслуговування агрегату в польових умовах;

можливість одночасного внесення стартових гранульованих добрив трохи збоку і нижче насінини дає бобам потужний поштовх на початкових етапах росту, поки їхня власна коренева система ще не почала фіксувати азот.

Внесення добрив. Кормові боби формують високий урожай білкової маси, тому виносять із ґрунту значну кількість поживних речовин. Проте завдяки симбіозу з бактеріями схема їх живлення має свої особливості.

Основну потребу в азоті (до 70 - 80%) рослини забезпечують самостійно шляхом азотфіксації. Для цього обов'язковим заходом є інокуляція насіння перед посівом штамами бактерій *Rhizobium leguminosarum*. У холодну весну, поки бульбочки ще не сформувалися, доцільно внести стартову дозу азоту

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(N20 - N30) під передпосівну культивуацію, щоб уникнути азотного голодування сходів.

Фосфор (P) і Калій (K), ці елементи критично важливі для розвитку кореневої системи та підвищення посухостійкості. Основну норму (P40 - 60, K40 - 60) вносять восени під глибоку оранку.

Для активного цвітіння та роботи бульбочкових бактерій боби потребують молібдену та бору. Найефективніше застосовувати їх у вигляді позакорневих підживлень (по листу) у фазі бутонізації [1-6].

Боротьба з бур'янами. Боби ростуть повільно на початкових етапах, тому сильно пригнічуються бур'янами. Система захисту має бути комплексною. До появи сходів (на 3 - 4 день після сівби) проводять сліпе боронування легкими боронами для знищення ниткоподібних проростків бур'янів. Після появи сходів (у фазі 2 - 3 справжніх листків) боронування повторюють. За умови широкорядного посіву головним інструментом стають міжрядні культивації.

Хімічний захист - базується на застосуванні ґрунтових гербіцидів (наприклад, на основі прометрину чи ацетохлору) відразу після посіву. За потреби по вегетації використовують страхові гербіциди проти злакових (грамініциди) та дводольних бур'янів (наприклад, препарати на основі бентазону). Під час роботи з пестицидами необхідно суворо дотримуватися вимог охорони праці. Роботи слід проводити із застосуванням засобів індивідуального захисту, герметичних систем змішування та за оптимальної швидкості вітру (не більше 4 - 5 м/с), щоб уникнути знесення робочого розчину та отруєння оператора [1-6].

Боротьба з шкідниками і хворобами. Захист від шкідливих організмів дозволяє зберегти до 30 - 40% врожаю. Основні шкідники. Бульбочкові довгоносики, пошкоджують сходи (об'їдають краї листя) та коріння. Чорна бобова попелиця - масово заселяє верхівки рослин під час цвітіння, висмоктуючи соки. Бобова зернівка - пошкоджує безпосередньо насіння.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль - протруювання насіння інсектицидами перед посівом. У період вегетації, при перевищенні порогу шкодочинності, проводять обприскування системними та контактними інсектицидами (піретроїди, неоніотиноїди).

Основні хвороби: шоколадна плямистість, аскохітоз, іржа, фузаріозні кореневі гнилі. Контроль - якісне протруювання насіння фунгіцидними препаратами. По вегетації (особливо у вологі роки) застосовують фунгіциди на основі триазолів, стробілуринів або їх комбінацій [1-6].

Збирання врожаю. Збирання кормових бобів дуже відповідальний етап, оскільки їхнє насіння легко розколюється, а боби нижнього ярусу можуть розтріскуватися. Оптимальний час для прямого комбайнування настає, коли листя опадає, стебла підсихають, стулки більшості бобів чорніють, а вологість насіння знижується до 16 - 18%. Якщо посіви дозрівають нерівномірно або сильно забур'янені, за 7 - 10 днів до збирання обов'язково проводять десикацію (підсушування рослин на пні хімічними препаратами, наприклад, дикватом).

Для забезпечення високих показників якості збирання критично важливо правильно налаштувати механічні вузли комбайна. Щоб мінімізувати макро та мікротравмування великого насіння бобів (допустимий рівень пошкоджень не більше 1 - 2%), оберти молотильного барабана суттєво знижують (до 400 - 500 об/хв), а зазори підбарабання максимально збільшують. Точне копіювання рельєфу жаткою дозволяє зрізати стебла на висоті 10 - 12 см, уникаючи втрат нижніх найпродуктивніших бобів [1-6].

2.2 Технологічна карта вирощування кормових бобів [7-11]:

1. Луцнення стерні попередника. Проводиться на глибину 6 - 8 см одразу в день збирання попередника для подрібнення пожнивних залишків, збереження вологи та провокації проростання бур'янів. Основний агрегат: Трактор John Deere 6120B (120 к.с.) + дискова борона Lemken Rubin 9/300 (або Horsch Joker 3 CT).

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Основне внесення мінеральних добрив (осінь). Рівномірне розкидання фосфорно-калійних добрив (Р40 - 60, К40 - 60) перед глибокою оранкою. Основний агрегат: Трактор New Holland Т5.110 (110 к.с.) + навісний розкидач мінеральних добрив Amazone ZA-M 1001. Допоміжна техніка: телескопічний навантажувач JCB 531-70 (для розвантаження біг-бегів) + бортовий автомобіль MAN TGM для підвезення добрив на край поля.

3. Основний обробіток ґрунту (глибока зяблева оранка). Оранка на глибину 25 - 27 см із повним оборотом пласта. Це критично для стрижневої кореневої системи бобів та накопичення зимової вологи. Основний агрегат: Трактор John Deere 6120В (120 к.с.) + оборотний плуг Lemken EurOpal 5 3+1 (працює в 4-корпусному виконанні). Допоміжна техніка - мобільний паливозаправник для дозаправки трактора в полі (за умови великих площ).

4. Ранньовесняне закриття вологи. Проводиться при настанні фізичної стиглості ґрунту по діагоналі до напрямку оранки для руйнування ґрунтової кірки та вирівнювання фону. Основний агрегат: Трактор Case IH Farmall 110 JX (110 к.с.) + зчіпка гідравлічна із важкими зубовими боролами (типу McFarland або вітчизняна ЗПГ-15).

5. Передпосівна культивация. Суворе дотримання глибини обробітку (6 - 8 см) на глибину загортання насіння. Створення ідеально рівного посівного ложа без витягування вологого шару на поверхню. Основний агрегат: Трактор John Deere 6120В (120 к.с.) + передпосівний компактор Farmet Kompaktomat K 300 (або Lemken Korund 8).

6. Сівба кормових бобів з одночасним внесенням стартових добрив. Широкорядний посів (міжряддя 70 см), глибина 4 - 6 см, норма висіву 400 - 500 тис. шт/га. Особлива увага до налаштування вакууму та скидачів модернізованої висівної секції для уникнення двійників. Основний агрегат: Трактор Massey Ferguson 5711 (110 к.с.) + пневматична сівалка точного висіву Vesta 8. Допоміжна техніка: автомобіль-завантажувач насіння зі шнековим транспортером ЗС-30 для швидкого та безпечного завантаження великого

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єму насіння. Телескопічний навантажувач Manitou MT 732 для завантаження стартових добрив у тукові банки сівалки з біг-бегів.

7. Внесення ґрунтових гербіцидів. Проводиться протягом 2 - 3 днів після сівби до появи сходів культури. Вимагає дотримання швидкісного режиму та норм виливу робочої рідини (200 - 300 л/га). Основний агрегат: Трактор New Holland T5.110 (110 к.с.) + причіпний штанговий обприскувач Berthoud Tracker 3200 (або Amazone UX 3200). Допоміжна техніка: автоцистерна для підвезення чистої води та змішувальний вузол для приготування маточного розчину.

8. Досходове та післясходове боронування (опціонально, за потреби). Знищення бур'янів у фазі білої ниточки. Швидкість агрегату суворо лімітована (до 5-6 км/год), щоб не пошкодити паростки бобів. Основний агрегат: Трактор Case IH Farmall 110 JX (110 к.с.) + штригельна (пружинна) борона Einböck Aerostar.

9. Міжрядні культивації (перша і друга). Перша проводиться у фазі 3-4 справжніх листків на глибину 5-6 см, друга перед змиканням рядків на глибину 6-8 см. Забезпечує аерацію кореневої системи, що є життєво необхідним для дихання азотфіксуючих бактерій. Основний агрегат: Трактор New Holland T5.110 (110 к.с.) + просапний культиватор Gaspardo HL (або КРНВ-5.6). Встановлюються захисні щитки, щоб не присипати молоді рослини.

10. Страховий захист (інсектициди, фунгіциди та мікродобрива). Обробка посівів у фазі бутонізації проти попелиці, хвороб та внесення бору з молібденом. Основний агрегат: Трактор New Holland T5.110 (110 к.с.) + причіпний обприскувач Berthoud Tracker 3200. Допоміжна техніка: автоцистерна з водою та розчинний вузол.

11. Десикація (передзбиральне підсушування). За 7-10 днів до збирання, коли 70-80% бобів почорніли. Дозволяє вирівняти вологість маси та полегшити обмолот. Основний агрегат: самохідний обприскувач Horsch Leeb PT або причіпний комплекс трактор New Holland T5.110 + Berthoud Tracker 3200 з високо піднятими штангами.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Збирання врожаю. Пряме комбайнування за вологості насіння 16-18%. Знижені оберти барабана (400 - 500 об/хв), збільшені зазори підбарабання для уникнення травмування. Основний агрегат: зернозбиральний комбайн Claas Lexion 600-ї серії (або John Deere серії W/T) + стандартна зернова жатка Claas Cerio 620 з гнучким ріжучим апаратом (Flex) для низького зрізу (10-12 см). Допоміжна техніка: трактор John Deere 6120B + бункер-перевантажувач ПБН-20 для вивантаження зерна на ходу. Зерновози (вантажні автомобілі MAN/Scania з напівпричепами) для транспортування бобів на тік або елеватор.

3. Операційна технологія посіву кормових бобів

3.1 Операційна технологія процесу посіву при вирощуванні кормових бобів

Умови роботи наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Умови роботи

Показник	Значення показника
Сільськогосподарська операція	Посів кормових бобів
Марка трактора	Massey Ferguson 5711
Сівалка	Vesta 8
Довжина гонів, L м	900
Фон поля	Під посів
Кут підйому, %	2

Агротехнічні вимоги до посіву кормових бобів орієнтований на використання пневматичних сівалок точного висіву [4-8]:

1. Строки сівби та температурний режим ґрунту. Сівбу розпочинають у найперші терміни весняних польових робіт, коли ґрунт на глибині загортання насіння (6 - 8 см) прогрівається до +3...+4 °С і досягає фізичної стиглості.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Кормові боби потребують надзвичайно багато вологи для набухання. Запізнення з посівом навіть на 3 - 5 днів призводить до пересихання верхнього шару ґрунту, що критично знижує польову схожість.

2. Вимоги до посівного матеріалу та його підготовки. Насіння повинно відповідати першому або другому класу посівного стандарту, чистота не менше 98%, лабораторна схожість не нижче 90%, вологість у межах 14 - 15%. Для забезпечення точної роботи пневматичних висівних апаратів насіння має бути ретельно відкаліброване за розміром і масою. Обов'язковою вимогою є інокуляція насіння штамми азотфіксуючих бактерій (у день сівби, уникаючи прямих сонячних променів) та завчасне протруювання фунгіцидно-інсектицидними препаратами.

3. Норма висіву, густина стояння та схема посіву. Для насінневих посівів та в умовах недостатнього зволоження застосовують широкорядний спосіб із міжряддям 70 см, що ідеально відповідає кінематиці просапної сівалки Vesta 8. Оптимальна норма висіву становить 400 - 500 тис. схожих насінин на гектар. При міжрядді 70 см і нормі 500 тис. шт./га, висівний апарат повинен розкласти приблизно 35 насінин на 1 погонний метр рядка. Інтервал між насінинами має становити близько 2,8 - 3,0 см. Допустиме відхилення інтервалу розкладки не повинно перевищувати $\pm 10\%$.

4. Глибина загортання насіння та формування насінневого ложа. Оптимальна глибина залежить від механічного складу ґрунту. На важких суглинках 4 - 6 см, на середніх і легких 7 - 8 см. Відхилення від заданої глибини загортання не повинно перевищувати ± 1 см. Це вимагає ідеального копіювання рельєфу паралелограмною підвіскою висівної секції. Сошник має формувати ущільнене дно борозни для забезпечення капілярного підняття вологи до насінини. Насіння повинно бути вдавлене у вологе ложе, виключаючи наявність повітряних кишень.

5. Механічні показники якості роботи висівного апарата. Оскільки насіння кормових бобів велике і крихке, до механіки сівалки висуваються жорсткі обмеження. Робочі органи (сошники, скидачі, висівні диски,

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ущільнювачі) не повинні пошкоджувати насіннєву оболонку або дробити насіння. Допустимий відсоток мікро та макротравмування не більше 1%. Кількість двійників (дві насінини в одному гнізді) та пропусків не повинна перевищувати 2 - 3%. Відхилення ширини стикових міжрядь під час роботи маркерної системи (або систем автоводіння) не повинно перевищувати ± 5 см.

6. Вимоги до внесення стартових добрив. При одночасному внесенні мінеральних добрив туковий сошник повинен укладати гранули на відстані 2 - 3 см збоку від рядка і на 2 - 3 см глибше рівня залягання насіння. Прямий контакт концентрованих мінеральних добрив із насінням бобів або інокулянтom є абсолютно неприпустимим, оскільки це спричиняє хімічний опік проростків та загибель бульбочкових бактерій.

7. Стан поверхні поля після сівби (робота систем прикочування). Система закриття борозни (прикочуючі колеса) повинна забезпечити щільний контакт ґрунту з насінням (щільність ґрунту в зоні рядка має становити 1,1–1,2 г/см³). Над насінною має залишатися розпушений шар ґрунту (мульча) товщиною 2 - 3 см для запобігання випаровуванню вологи та утворенню ґрунтової кірки. Після проходу сівалки поверхня поля повинна залишатися максимально вирівняною. Наявність глибоких відкритих борозен або високих гребенів над рядками не допускається.

Комплектування і підготовка агрегату до роботи [11-13]:

Правильне комплектування машинно-тракторного агрегату та його ретельне налаштування безпосередньо впливають на механічні показники якості сівби. Для висіву кормових бобів широкорядним способом (міжряддя 70 см) розглядаємо комплектування пневматичної сівалки точного висіву Vesta 8 із трактором Massey Ferguson 5711.

Етап підготовки поділяється на кілька ключових кроків, які виконуються на спеціальному майданчику та безпосередньо в полі.

1. Комплектування та підготовка трактора. Перед агрегуванням із сівалкою трактор має бути адаптований до роботи в просапних міжряддях.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Колію передніх і задніх коліс трактора встановлюють кратною ширині міжряддя (70 см). Зазвичай це 1400 мм або 2100 мм. Це гарантує, що колеса трактора проходять чітко посередині міжрядь, не ущільнюючи зону майбутнього рядка і не руйнуючи насінневе ложе. Для зменшення питомого тиску на ґрунт і запобігання надмірному ущільненню тиск у задніх шинах знижують до мінімально допустимого за інструкцією експлуатації (близько 1,0 - 1,2 бар), а в передніх - відповідно до навантаження від навішування. Нижні тяги заднього навісного пристрою трактора блокують від поперечного розгойдування за допомогою телескопічних стяжок. Це забезпечить прямолінійність ходу сівалки та стабільність стикових міжрядь.

2. Агрегаткування сівалки Vesta 8 та налаштування приводів. Сівалка приєднується до триточкової навіски трактора. Центральну тягу регулюють так, щоб рама сівалки в робочому положенні була строго паралельна поверхні поля. Від цього залежить правильна геометрія роботи сошників. Карданний вал від валу відбору потужності (ВВП) трактора підключається до вентилятора сівалки. Оскільки насіння бобів важке, вентилятор має створювати стабільне розрідження. Робочі оберти ВВП встановлюються на рівні 540 об/хв. Підключаються розривні муфти гідросистеми для керування маркерами та переведення агрегату з транспортного положення в робоче.

3. Налаштування висівних секцій та робочих органів (модернізованих вузлів). Для великого насіння кормових бобів встановлюють спеціальні диски зі збільшеним діаметром отворів (зазвичай 5 - 6 мм) та відповідною їх кількістю для забезпечення кроку висіву близько 3 см. Щоб уникнути мікротравмування крихкої оболонки бобів та виключити утворення двійників, механічні вилки (скидачі) налаштовують на точну дистанцію від отворів диска. У робочому положенні скидач має залишати строго одну насінину на отворі. За допомогою регульовального гвинта на паралелограмній підвісці встановлюється глибина ходу сошників (4 - 6 см). Опорно-приводні колеса секції мають чітко копіювати рельєф, утримуючи задану глибину.

					<i>МВКБ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Прикочуючі котки (V-подібні, циліндричні або зубчасті) вимагають точного регулювання сили притискання. Натяг пружини встановлюють таким чином, щоб колеса агресивно руйнували бічні стінки борозни та надійно вдавлювали ґрунт навколо насінини (забезпечуючи контакт із вологою), але при цьому не створювали переущільнення над самим рядком.

Туковисівна система - встановлюється норма висіву стартових добрив шляхом зміни передавального відношення на редукторі тукових апаратів. Тукові анкерні сошники регулюють так, щоб добрива лягали на 2 - 3 см збоку і нижче насінневого ложа.

4. Польова перевірка (контрольний прохід). Остаточне налаштування проводиться безпосередньо на полі. Агрегат робить контрольний прохід на робочій швидкості (6 - 8 км/год) на відстань 50 - 100 метрів. Розкопують рядок по довжині для перевірки фактичної глибини загортання насіння. Вимірюють відстань між розкладеними насінинами для контролю роботи скидачів і вакуумної системи. Візуально та тактильно оцінюють якість роботи системи закриття борозни, перевіряють відсутність порожнеч навколо насінини та стан верхнього розпушеного шару. За потреби силу притискання коліс коригують.

3.2 Підготовка поля до роботи [11-13]:

Підготовка поля безпосередньо перед початком сівби - це організаційно-технологічний етап, який передує виїзду посівного агрегату. Правильна розбивка поля гарантує дотримання прямолінійності рядків (що критично для подальших міжрядних культивацій), мінімізує просіви та перекриття, а також оптимізує робочий час механізатора.

Нижче наведено детальний порядок підготовки поля для роботи агрегату у складі трактора Massey Ferguson 5711 та 8-рядної пневматичної сівалки Vesta 8 з шириною захвату 5,6 м.

Огляд та очищення території. Поле обстежують на наявність великого каміння, залишків деревини або великих скупчень пожнивних залишків, які можуть забити сошники, пошкодити прикочуючі котки або спричинити

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

поломку маркерів. Глибокі вимоїни, ями, стовпи ліній електропередач або оглядові колодязі позначають добре помітними маркерами (висотою не менше 1,5 - 2 м), щоб механізатор міг завчасно скоригувати траєкторію.

Вибір напрямку сівби. Напрямок сівби має бути перпендикулярним або розташовуватися під кутом до напрямку останнього обробітку (передпосівної культивуації). Це сприяє кращому вирівнюванню фону та зменшує вібрацію висівних секцій. На полях зі схилом понад 3 - 4° сівбу планують виключно впоперек схилу. Це запобігає змиванню насіння кормових бобів та ґрунту під час сильних весняних дощів. За рівного рельєфу напрямок руху обирають вздовж найдовшої сторони поля, щоб зменшити кількість розворотів і підвищити продуктивність агрегату.

Розрахунок та відбиття поворотних смуг. На краях поля (перпендикулярно до напрямку сівби) залишають місце для безпечного розвороту трактора з піднятою сівалкою. Ширина смуги має бути кратною робочій ширині захвату сівалки Vesta 8 (5,6 м) і відповідати радіусу розвороту трактора. Для навісної сівалки оптимальною є ширина у 3 робочі захвати (5,6 м $\times$ 3 = 16,8 м) або 4 захвати (22,4 м).

Внутрішню межу поворотної смуги відзначають проходом трактора (колією) або неглибокою маркерною борозною. Це слугує орієнтиром для механізатора, коли саме потрібно піднімати та опускати висівні секції, щоб уникнути просівів. Поворотні смуги засіваються в останню чергу, після завершення сівби на основному масиві поля. Проходи здійснюють уздовж країв поля.

Провішування лінії першого проходу. Рівність першого проходу є еталонною для всього поля, оскільки всі наступні проходи орієнтуватимуться на нього. Традиційний метод (без GPS), лінію першого проходу провішують за допомогою віх на відстані від краю поля, що дорівнює половині ширини захвату сівалки (2,8 м) плюс виліт правого (або лівого) маркера. Водій трактора має вести машину так, щоб капот (або спеціальна мітка на передній частині трактора) візуально збігалася з лінією віх.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Сучасний метод (GPS -навігація), якщо трактор обладнаний системою автоводіння, початкову лінію (А-В) задають на терміналі дисплея, проїхавши від одного краю поля до іншого, після чого система автоматично розраховує всі паралельні лінії з урахуванням ширини міжряддя (70 см).

Вибір способу руху агрегату. Для посівних агрегатів із навісними сівалками, як Vesta 8, найефективнішим є човниковий спосіб руху. Трактор доходить до поворотної смуги, піднімає сівалку, розвертається у формі петлі або закритої вісімки, опускає сівалку на лінії маркера попереднього проходу і рухається в зворотному напрямку паралельно засіяній площі.

Організація майданчиків для завантаження насіння та добрив. На поворотних смугах або прилеглих ґрунтових дорогах заздалегідь визначають рівні майданчики для безпечного розміщення автомобіля-завантажувача (ЗС-30) та транспорту з добривами. З огляду на об'єм бункерів сівалки Vesta 8, норму висіву кормових бобів (кг/га) та норму добрив, розраховують довжину гону, на яку вистачить одного завантаження. Точки під'їзду транспорту планують так, щоб сівалка не здійснювала холостих пробігів із порожніми бункерами.

3.3 Організація роботи агрегату в загінці

Організація безпосередньої роботи посівного агрегату в загінці (на розміченому масиві поля) є вирішальним етапом, який визначає продуктивність зміни та якість майбутніх сходів. Враховуючи специфіку кормових бобів (висока норма висіву у вагових одиницях) та особливості 8-рядної навісної сівалки Vesta 8, робочий процес вимагає чіткого злагодження.

Нижче наведено структурований порядок роботи посівного агрегату в загінці [11-13]:

1. Вибір способу руху агрегату. Для агрегату у складі трактора Massey Ferguson 5711 класу 110 - 120 к.с. та навісної сівалки Vesta 8 (робоча ширина захвату 5,6м) найдоцільнішим є човниковий спосіб руху з петльовими

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розворотами. Агрегат рухається від одного краю поля до іншого, розвертається на поворотній смузі та заходить у наступний суміжний прохід.

Переваги - мінімальна кількість холостих переїздів, відсутність розвальних і звальних борозен, збереження ідеальної паралельності рядків для подальших міжрядних обробітків.

2. Виконання робочого ходу (посіву). Механізатор переводить сівалку з транспортного в робоче положення (опускає навіску) за 1,5 - 2 метри до лінії початку поворотного маркера (контрольної лінії). Це необхідно для того, щоб вакуумна система встигла стабілізувати розрідження, насіння присмокталося до отворів диска, а сошники вийшли на задану глибину (4 - 6 см). Робоча швидкість під час висіву великого насіння бобів модернізованою секцією має становити 6 - 8 км/год. Перевищення швидкості призведе до погіршення копіювання рельєфу, відриву важкого насіння від диска та порушення кроку висіву. Механізатор веде агрегат, суворо орієнтуючись на слід маркера (направляючи праве або ліве переднє колесо трактора по маркерній борозні) або використовуючи систему автоводіння (GPS/RTK). Допустиме відхилення стикового міжряддя не більше ± 5 см.

3. Розвороти на поворотних смугах. Підйом сівалки в транспортне положення здійснюється без зупинки агрегату, рівно в момент перетину лінії поворотної смуги. Якщо зупинитися і підняти сівалку, насіння з дисків осиплеться в одну купу. Оскільки Vesta 8 - навісна сівалка, вона не вимагає великого радіусу розвороту. Трактор виконує грушоподібний розворот (із застосуванням гальма внутрішнього колеса за потреби) для виходу на наступний гон. Під час розвороту вал відбору потужності не вимикають, щоб вентилятор підтримував вакуум і насіння залишалося на висівних дисках готовим до початку нового ряду.

4. Організація дозавантаження насінням та добривами. Кормові боби мають велику масу 1000 насінин. При нормі висіву 500 тис. шт/га витрата насіння може складати 250 - 300 кг/га. Пластикові бункери сівалки Vesta 8 спорожнюватимуться значно швидше, ніж при сівбі кукурудзи чи соняшнику.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Зупинки для дозавантаження плануються виключно на поворотних смугах по краях загінки. Зупинка посеред поля залишає огріхи в посіві. Агроном або бригадир заздалегідь розраховує, на скільки проходів вистачить повних бункерів (насіння + туки). Якщо бункерів не вистачає на повний прохід туди-назад, дозавантаження проводять завчасно на тому краю поля, де чергує завантажувач (ЗС-30).

5. Контроль за роботою під час руху. В кабіні трактора механізатор безперервно контролює процес. Електронна система контролю висіву: (наприклад, системи «Факт» або «Record», якими часто дообладнують Vesta 8). На моніторі відображається факт падіння насінини в кожному з 8 рядків. У разі забивання сошника чи припинення подачі насіння лунає звуковий сигнал.

Стрілка вакуумметра має знаходитись у стабільному зеленому діапазоні (для важких бобів розрідження налаштовують дещо вищим, ніж для соняшнику).

Візуальний контроль - через дзеркала заднього виду механізатор стежить за роботою маркерів та обертанням опорно-приводних коліс сівалки (вони не повинні забиватись).

6. Завершальний етап - обсів поворотних смуг. Після того як основний масив загінки засіяно човниковим способом, агрегат переходить до засівання поворотних смуг. Обсів здійснюється по периметру поля в 3 - 4 проходи (залежно від залишеної ширини смуги). Це дозволяє закрити всі пропуски і забезпечити суцільний посів на полі без огріхів, що додатково пригнічує розвиток бур'янів на краях масиву.

3.4 Показники та методи контролю якості сівби [8-13].

Контроль якості здійснюється у три етапи: вхідний (насіння), поточний (під час роботи) та приймальний (після закінчення сівби).

Основні параметри контролю:

Глибина загортання насіння, перевіряється кожні 2 - 3 години роботи агрегату. Метод - розкопування рядка по ширині захвату сівалки (усі 8 секцій)

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на довжині 1 м. Допустиме відхилення від заданої (наприклад, 7 см) - не більше ± 1 см.

Рівномірність розкладки (крок висіву), оцінюється відстань між сусідніми насінинами в рядку. Для кормових бобів при нормі 500 тис. шт/га крок становить $\sim 2,8 - 3,0$ см. Допустима кількість пропусків та двійників до 3%.

Травмування насіння, визначається візуально при розкопуванні рядків. Відсоток пошкоджених насінин (тріщини оболонки, розкол) не повинен перевищувати 1%.

Ширина міжрядь та стикових міжрядь, відхилення основних міжрядь (70 см) до ± 2 см, стикових (між проходами агрегату) до ± 5 см.

Детальний розрахунок параметрів операційної технології процесу посіву при вирощуванні кормових бобів наведений в Додатку А, а на основі отриманих значень оформлюється операційна технологічна карта на посів кормових бобів, яка наведена на рис. 3.1.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Операційна карта вирощування кормових бобів

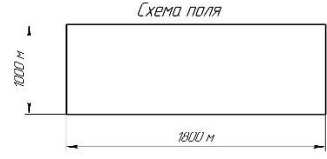
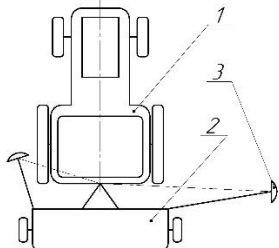
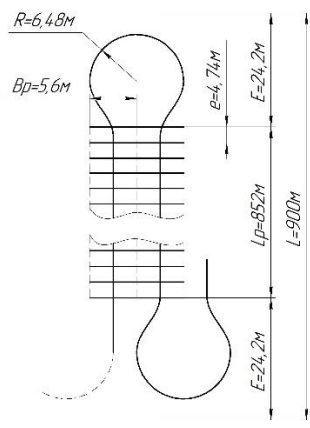
Назва груп показників	Параметри, вимоги, нормативи	Схеми
Умови роботи	Площа – 100 га, довжина гонів – 900 м, ширина гонів – 706 м, величина підйому – 0,02, питомий опір з поправкою на швидкість – 1,5 кН/м, глибина посіву – 6 см.	Схема поля 
Агротехнічні вимоги	Коливання ширини міжрядь повинно бути не більше: у основних ± 1 см, суміжних проходів ± 5 см, відхилення від заданої глибини посіву ± 2 см. Не допускаються незароблене насіння на поверхні поля. Число пропусків не повинно перевищувати 2% від числа висіяних насінин.	
Склад агрегату і підготовка його до роботи	Трактор Massey Ferguson 5711, сівалка Vesta 8, робоча ширина захвату 5,6 м, мінімальний радіус повороту – 6,48 м, кінематична довжина агрегату – 7,9 м. Підготовка агрегату: 1. провести щозмінне ТО трактора і сівалки; 2. відрегулювати на задану норму висіву; 3. встановити маркери	 1 – трактор 2 – сівалка 3 – маркер
Підготовка поля	Перед початком сівби поле оглянути, перешкоди усунути, ширина поворотної смуги 24,2 м.	
Спосіб руху	Спосіб руху гонівий човникобий, спосіб повороту петльовий грушоподібний	
Швидкість руху	Робоча передача V, враховуючи буксування, робоча швидкість 7 км/год	$L = 900$ м $L_p = 852$ м $E = 24,2$ м $Вр = 5,6$ м $e = 4,74$ м $R = 6,48$ м
Показники організаційного процесу	Тривалість циклу 15,7 хв, технічна продуктивність за цикл 0,92 га/ц; змінна продуктивність агрегату 212 га/зм, кількість циклів за зміну 23 ц/зм	
Контроль за якістю роботи сівалки	Відхилення від заданої глибини повинно бути не більше ± 5 мм. Норма висіву становить 35 насінин на 1 м рядка, інтервал між насінинами 3 см або 450 тис. шт на га.	При оцінці якості посіву врахувати такі показники: ширину основних і стикових міжрядь – відкопати насіння без його переміщення і заміряти відстань між суміжними рядками; глибину посіву – відкрити насіння і заміряти глибину їх загортання, точність висіву насіння – легкими руками поперек рядка відкрити 1 м рядка і заміряти відстань між насінинами; прямолінійність рядків – на довжині 50 м відкрити базову лінію і через 0,5 м заміряти відхилення.

Рис. 3.1 Операційно - технологічна карта на посів кормових бобів

4. Інженерна частина

4.1 Обґрунтування напряму модернізації просапної сівалки під посів кормових бобів

Якість посіву великосортних зернобобових культур, до яких належать кормові боби, критично залежить від геометрії насінного ложа, точності укладання насінини та ефективності закриття борозни. Для виконання цих завдань на сучасних просапних сівалках застосовується широкий спектр робочих органів.

1. Конструкції сошників які забезпечують формування насінного ложа.

Сошник виконує базову функцію - розрізає ґрунт і формує борозну заданої глибини (для бобів це 4 - 6 см). Вибір типу сошника визначає як тяговий опір сівалки, так і агротехнічну якість насінневого ложа.

Анкерні (кілеподібні) сошники, формують борозну шляхом розсування ґрунту гострим кутом (наральником) і створюють ідеально рівне, ущільнене «V-подібне» дно борозни, що сприяє відмінному капілярному підтягуванню вологи. Але такі сошники мають високий тяговий опір. На полях із рослинними залишками схильні до забивання та нагортання ґрунту. Для сучасних просапних сівалок, що працюють на високих швидкостях, і непідготовленому ґрунті використовуються рідко.

Однодискові сошники це - один сферичний або плоский диск, встановлений під кутом до напрямку руху, підрізає та відгортає ґрунт. Такі сошники добре прорізають рослинні залишки, мінімально порушують структуру ґрунту (оптимально для технологій No-Till). Але часто формують асиметричну борозну. Насіння великих розмірів може скочуватися з твердої стінки, що порушує глибину загортання.

Дводискові сошники - два плоских диски, зведені в одній точці під гострим кутом, утворюють клин, який розрізає і розсуває ґрунт. Такі сошники універсальні, здатні працювати по мульчі, низький тяговий опір і стабільна глибина ходу на підготовлених ґрунтах. Проблематика для кормових бобів -

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при зношенні дисків або на вологих важких ґрунтах вони можуть формувати «W-подібне» дно борозни (із гребенем посередині) та надмірно ущільнювати бічні стінки. Насіння бобів може зависати в такій борозні, не досягаючи вологого дна, що різко знижує польову схожість.

2. Системи фіксації насіння на дні борозни.

Після падіння з висівного апарата велике насіння кормових бобів має високу кінетичну енергію, через що схильне до відскакувань і перекочувань у борозні. Це руйнує заданий крок висіву. Тому необхідно використовувати додаткові елементи для покращання розміщення насіння в борозні.

Класичні напрямні (трубки) просто спрямовують насіння вниз, але не гасять його швидкість. Насіння фіксується лише наступним осипанням стінок борозни.

Ущільнювачі насіння (типу Keeton Seed Firmer) - гнучкі пластикові язички або невеликі вузькі ролики, які йдуть безпосередньо за сошником на дні борозни. Вони примусово вдавлюють насінину у вологе дно «V-подібної» борозни до того, як борозна закрийється. Для кормових бобів, яким потрібно до 120% вологи для старту, це критично важливий елемент, який варто розглядати при модернізації.

3. Системи загортання та прикочування.

Останній етап закриття борозни та руйнування ущільнених бічних стінок це прикочування шару ґрунтом над насінням. Завдання системи, забезпечити контакт насіння з ґрунтом, ліквідувати повітряні кишені та залишити верхній шар розпушеним.

Суцільні (широкі) прикочуючі колеса одне або два широкі гумові колеса, які котяться безпосередньо над борозною. Недоліками є те, що вони утворюють надмірне ущільнення безпосередньо над насіниною. На важких ґрунтах після дощу це призводить до утворення міцної ґрунтової кірки, яку паросткам бобів важко пробити.

V-подібні гумові прикочуючі колеса - два вузькі колеса встановлені під кутом одне до одного. Переваги - вони здавлюють борозну з боків, підтягуючи

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

ґрунт до насінини, залишаючи при цьому зону безпосередньо над паростком відносно пухкою. Проблема - у вологих умовах гладкі гумові ободи можуть не впоратися з руйнуванням ущільнених сошником стінок борозни, залишаючи насінину в затиснутому, позбавленому кисню середовищі.

Зубчасті, пальцеві або голчасті диски (спеціалізовані системи). Замість гладкої гуми використовуються сталеві або чавунні диски із зубцями різної форми. Агресивно руйнують ущільнені стінки борозни, ефективно кришать грудки, перемішують ґрунт із поживними залишками і закривають борозну без найменшого ризику утворення кірки. Це один із найперспективніших напрямків для модернізації секції під посів бобових на важких ґрунтах.

Аналіз існуючих конструкцій свідчить, що базова комплектація висівної секції сівалки Vesta 8 (наральниковий сошник + циліндричний коток з шиною атмосферного тиску) є гарним універсальним рішенням, проте має резерви для покращення при висіві кормових бобів. Основні напрямки конструктивного вдосконалення мають бути зосереджені на: забезпеченні примусового контакту великого насіння з вологим дном борозни (впровадження локальних ущільнювачів); заміні або модернізації стандартних прикочуючих коліс на робочі органи, здатні ефективно утворювати умови для росту рослин кормових бобів без створення поверхневої кірки.

4.2 Опис об'єкту розробки і пропозиції по модернізації.

Проведемо розгляд об'єкту розробки вітчизняну сівалку виробництва Elvorti - Vesta 8 (рис. 4.1).

Сівалка пневматична універсальна Vesta 8 - це навісна машина точного висіву, призначена для пунктирного посіву насіння просапних культур з одночасним (роздільним від насіння) внесенням гранульованих мінеральних добрив [14].

Основні вузли машини:

Несуча рама - зварна конструкція у вигляді бруса квадратного перерізу (ресиверна рама), яка одночасно виконує роль повітропроводу

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(розріджувальної камери) вакуумної системи. Це зменшує металоємність і кількість зовнішніх шлангів.



Рис. 4.1 Elvorti - Vesta 8

Опорно-приводні колеса - два колеса з пневматичними шинами, які несуть на собі масу агрегату та через ланцюгову передачу приводять у дію вали висівних апаратів.

Коробка передач (редуктор) - блок зірочок, що дозволяє швидко змінювати передавальне відношення для налаштування кроку висіву насіння та норми внесення добрив.

Вентилятор - відцентровий екстаустер, що працює від ВВП трактора (540 об/хв) через карданний вал і створює стабільне розрідження в пневмосистемі для присмоктування насіння до дисків.

Висівні секції - 8 автономних робочих модулів, шарнірно закріплених на основній рамі.

Система контролю - гідрофіковані маркери та (опціонально) електронна система контролю висіву.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Технічна характеристика сівалки Vesta 8, згідно [14]:

Найменування показника	Значення
Тип машини	Навісна
Ширина захвату	5,6 м
Кількість висівних секцій (рядків)	8 шт.
Ширина міжрядь	70 см (можливе регулювання 45, 60, 70, 90 см)
Робоча швидкість	3,6 – 9,0 км/год
Глибина загортання насіння	4 – 12 см
Ємність бункерів для насіння (загальна)	200 дм ³ (8 х 25 дм ³)
Ємність бункерів для добрив (загальна)	192 дм ³ (4 х 48 дм ³)
Габаритні розміри (Д х Ш х В) у робочому положенні	1700 х 6250 х 1430 мм
Маса (суха)	близько 1278 кг
Агрегатування (клас трактора)	1.4 (від 80 к.с.)

Посівна секція (рис. 4.2) - це основний елемент сівалки. Вона має паралелограмну підвіску, що гарантує незалежне копіювання мікрорельєфу поля кожним рядком окремо. Секція кріпиться до рами через систему шарнірних тяг, в середині підвіски розташована натискна пружина, яка регулює тиск сошника на ґрунт.

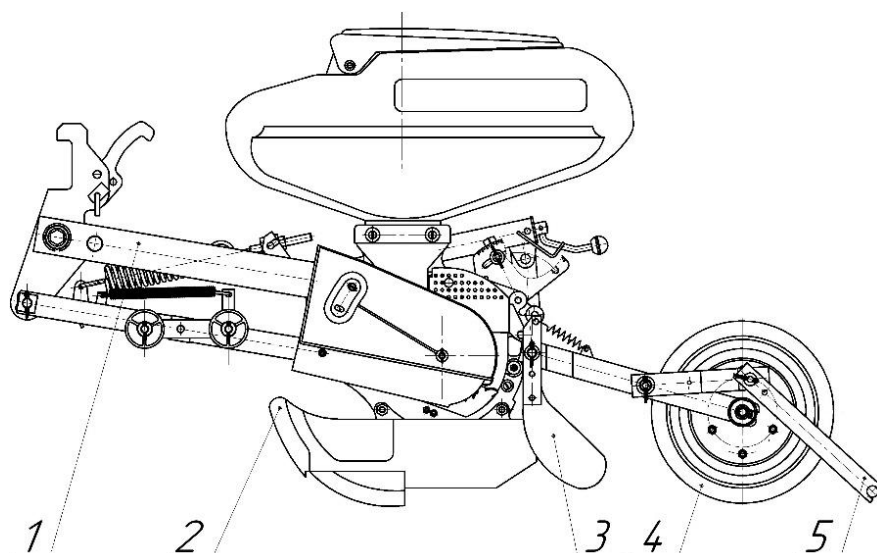


Рис. 4.2 Секція Vesta 8:

1 – паралелограмна підвіска, 2 – наральниковий сошник, 3 – загортачі, 4 – прикочуючий коток, 5 – трубчастий шлейф

На рамі секції змонтовано пластиковий бункер для насіння та пневматичний висівний апарат вертикального типу. Насіння присмоктується до отворів обертового диска за рахунок вакууму, зайві насінини знімаються механічним скидачем (вилкою), після чого в нижній точці вакуум переривається, і насінина під дією сили тяжіння падає у сформовану сошником борозну.

Для можливості пошуку напрямів модернізації секції робочих органів, необхідно розглянути конструкції робочих органів які відповідають за розміщення і загортання насіння.

Конструкція наральникового сошника (кілеподібного типу) (рис. 4.3) – цей тип сошника відрізняється від дискового своєю пасивною, але геометрично точною дією. Основою є литий або зварний корпус, до нижньої частини якого кріпиться змінний клиноподібний наральник із тупим кутом входження в ґрунт. Наральник виготовляється із зносостійкого чавуну або сталі.

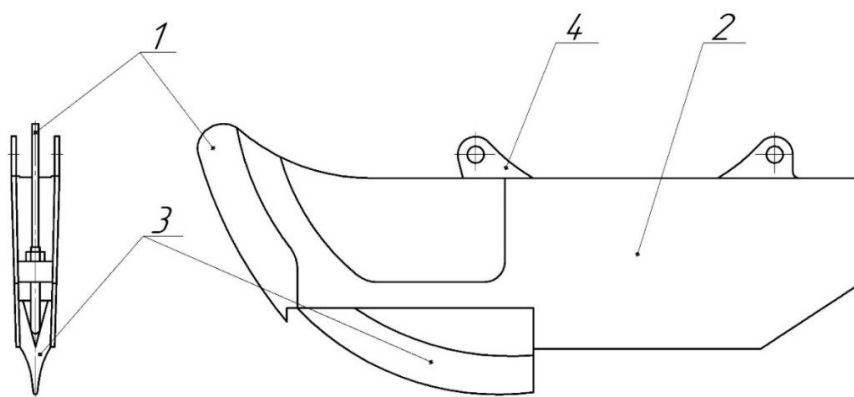


Рис. 4.3 Сошник Vesta 8:

1 – полоз; 2 – щоки сошника; 3 – ущільнююча п'ята; 4 – кронштейн

Наральник розрізає ґрунт і розсуває його в боки, формуючи вузьку V-подібну борозну. Завдяки клиноподібній формі він злегка ущільнює дно і бічні стінки борозни. Це ідеально для підтягування капілярної вологи знизу. До задньої частини корпусу прикріплені дві паралельні металеві пластини (щоки). Вони не дають ґрунту осипатися назад у борозну до того моменту, поки насінина не впаде на дно. Основним недоліком роботи такого сошника є форма

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

п'яти яка утворює клинове ущільнене насіннєве ложе. При висіві насіння кормових бобів яке має великий розмір воно потрапляючи на таке ущільнене ложе може розміщуватись нерівномірно по глибині борозни, що може призвести до різної схожості рослин. Такий негативний процес у посушливу весняну погоду, коли насіння кормових бобів потребує максимум вологи, може зменшити врожайність до 15%. Тому необхідно провести роботу по покращенню розміщення насіння по глибині загортання в борозні.

Загортачі (система закриття борозни), яка знаходиться одразу за сошником, позаду щік сошника. Вони мають вигляд криволінійних металевих крил, які підпружинені та встановлені під кутом до напрямку руху. Як тільки насінина лягає на дно V-подібної борозни, загортачі зрізають частину пухкого, прогрітого сонцем ґрунту з верхніх країв борозни і зсувають його до центру, засипаючи насіння.

Прикочуючий коток замикає кінематичний ланцюг робочої секції і виконує одразу дві функції: опорну (утримує задану глибину сошника) та технологічну (ущільнює ґрунт). Зазвичай використовується широке атмосферне колесо з шиною атмосферного тиску (або спеціальним бандажем, що самоочищається). Колесо має механізм регулювання висоти (кулісу або гвинтову тягу), за допомогою якого і встановлюється глибина ходу наральника. Коток котиться безпосередньо по загорнутій борозні. Він притискає пухкий ґрунт, нагорнутий загортачами, забезпечуючи тісний контакт частинок ґрунту з насіниною. Широка форма котка дозволяє рівномірно розподілити тиск, запобігаючи надмірному переущільненню безпосередньо над проростком. Основним недоліком серійного прикочуючого котка при посіві насіння кормових бобів є силова дія котка на зону безпосереднього залягання насіння прямо над ним, коли оптимальнішим було б забезпечити над самим насінням шар неущільненого ґрунту для більш стрімкого проростання насіння кормових бобів.

Тому враховуючи визначені вище недоліки модернізації підлягає система розміщення насіння, куди пропонується встановити додатковий

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

елемент борозний коток і система загортання, а саме задній прикочуючий коток який слід спроектувати з врахуванням характеру росту насіння кормових бобів.

Оскільки борозний коток встановлюється одразу за сошником в середині міжщікового простору то у запропонованій посівній секції передбачається відмова від традиційних загортачів. Водночас аналіз роботи стандартних борозних котків показує наявність суттєвого недоліку, їх геометричні параметри не повністю узгоджуються з профілем сформованої борозни під посів кормових бобів. В процесі взаємодії з ґрунтом це призводить до часткового руйнування бічних стінок і вирівнювання їх до рівня дна. Як наслідок, порушується ефект ущільнення стінок і дна борозни, який відіграє важливу роль в забезпеченні швидкого та рівномірного проростання насіння.

З метою усунення зазначених недоліків і створення більш сприятливих умов для точного розміщення насіння кормових бобів у борозні, розроблено вдосконалену конструкцію борозного котка (рис. 4.4). Запропонований робочий орган має комбіновану будову та включає дві функціонально різні частини.

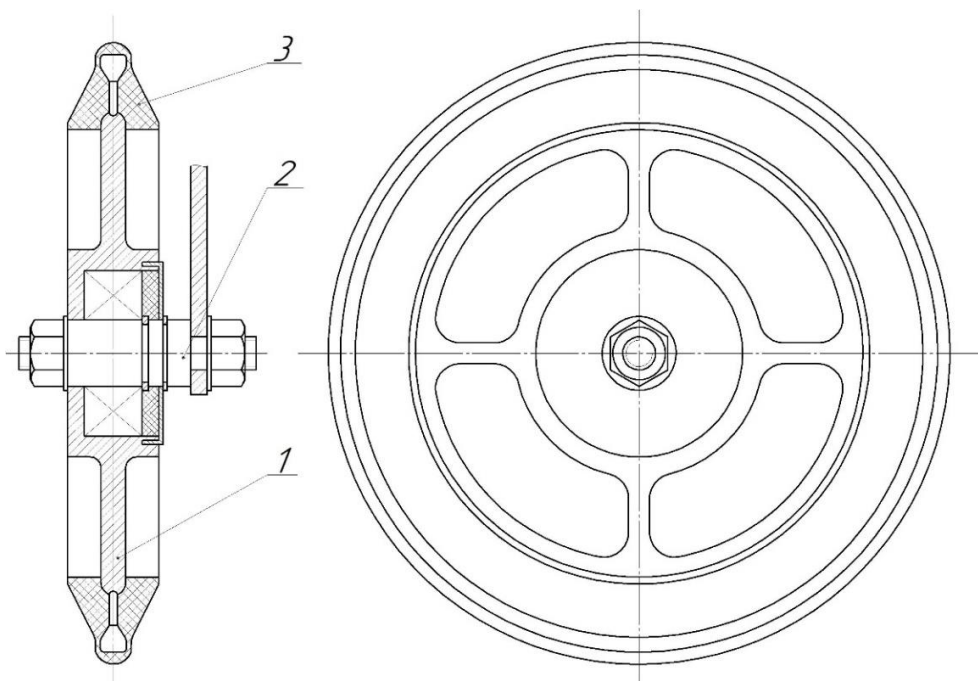


Рис. 4.4 Запропонований борозний коток:

1 – кронштейн; 2 – вісь корпус; 3 – гумовий обод

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МВКБ 00.000 ПЗ

Арк.

33

Нижня частина борозного котка виконує функцію укладача насіння. Вона спроектована таким чином, щоб максимально відповідати геометрії борозни, завдяки чому забезпечується коректна взаємодія з насіннєвим ложем. В процесі роботи ця частина обережно тисне на насіння, сприяючи його притисканню до дна борозни, вирівнюванню за глибиною та частковому загортанню. Конструктивно вона має криволінійну форму з прямими краями, в середині нижньої частини знаходиться порожнина атмосферного тиску, а стінки прямолінійних ділянок тонші за товщину криволінійної поверхні. Така конструкція нижньої частини дає можливість м'яко діяти на насінину кормових бобів втискуючи її між клиновими стінками борозни, а за рахунок порожнини атмосферного тиску нижня частина борозного котка здійснює демпфування, що сприяє уникненню налипання насіння на його поверхню і його травмуванню.

Верхня та бічні ділянки котка виконані більш жорсткими та працюють у режимі ущільнення, повторюючи профіль борозни і частково адаптуючись до нерівностей ґрунту. Крім того, ширина борозного котка обрана у верхній частині дещо більшою за ширину борозни, що дозволяє ефективно зрушувати і частково ущільнювати ґрунт в зоні розміщення насіння, не викликаючи інтенсивного руйнування стінок борозни.

Запропонована конструкція борозного котка має такі переваги:

- забезпечується стабільне та рівномірне розташування насіння за глибиною завдяки його притисканню до дна борозни;
- зменшується налипання ґрунту та насіння на робочу поверхню за рахунок раціонально сформованого профілю;
- покращуються умови проростання, оскільки ущільнений ґрунт навколо насінини сприяє ефективному підведенню капілярної вологи;
- конструкція робочої поверхні забезпечує самоочищення котка, що запобігає накопиченню ґрунтових часток і рослинних решток у процесі роботи.

					<i>МВКБ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

В процесі виконання технологічної операції заводський задній прикочуючий коток секції забезпечує ущільнення ґрунту безпосередньо в зоні розміщення висіяного насіння. Водночас під час посіву кормових бобів його значна ширина є істотним недоліком, адже для досягнення потрібного рівня ущільнення доводиться підвищувати тиск. Як наслідок, це може призводити до утворення глибоких колій, а також сприяти формуванню щільної ґрунтової кірки на поверхні. Такі явища негативно позначаються на інтенсивності появи сходів, тому використання серійного котка секції є малоефективним під час висіву кормових бобів. Для усунення зазначених недоліків було розроблено вдосконалену конструкцію котка, яка зменшує негативний вплив на структуру ґрунту та забезпечує більш сприятливі умови для проростання насіння кормових бобів.

Аналіз існуючих котків просапних сівалок показав, що найперспективнішим шляхом удосконалення робочої поверхні прикочуючих котків є розроблення нової конструкції шини атмосферного тиску. Така шина має забезпечувати вплив на ґрунт в вертикальному напрямку на різних глибинах, одночасно здійснюючи ущільнення з обох сторін посівної борозни. Завдяки цьому насіння обтискається з боків, тоді як верхній шар ґрунту над ним залишається пухким і неущільненим, що створює умови для вільного проростання та безперешкодного виходу сходів кормових бобів на поверхню.

З метою поєднання переваг робочих органів із вертикально орієнтованим тиском і позитивних властивостей шин атмосферного тиску було запропоновано вдосконалену конструкцію прикочуючого котка для просапної сівалки (рис. 4.5). Ключовим елементом цієї конструкції є шина атмосферного тиску комбінованого типу. Її профіль має складну криволінійну конфігурацію і поділяється на три функціональні зони. У центральній частині передбачено радіальне заглиблення, яке знижує тиск на ґрунт в центрі борозни та запобігає його надмірному ущільненню над насінням. Далі ця зона плавно переходить у бічні клиноподібні поверхні, які в фронтальній площині мають змінну товщину (внизу профіль товщий, вгорі тонший), що забезпечує

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у ущільнення ґрунту з обох боків від місця знаходження насіння, формуючи сприятливе середовище для його проростання. Завершальною частиною профілю є прямолінійні ділянки, призначені для обмеження вертикального тиску та стабілізації прямолінійного руху котка. Крім того, завдяки змінній товщині стінок з обох боків у вертикальній і горизонтальній площинах шина здатна до демпфування, що підвищує її еластичні властивості. Передача навантаження на шину здійснюється через металеві ободи, між якими вона закріплюється.

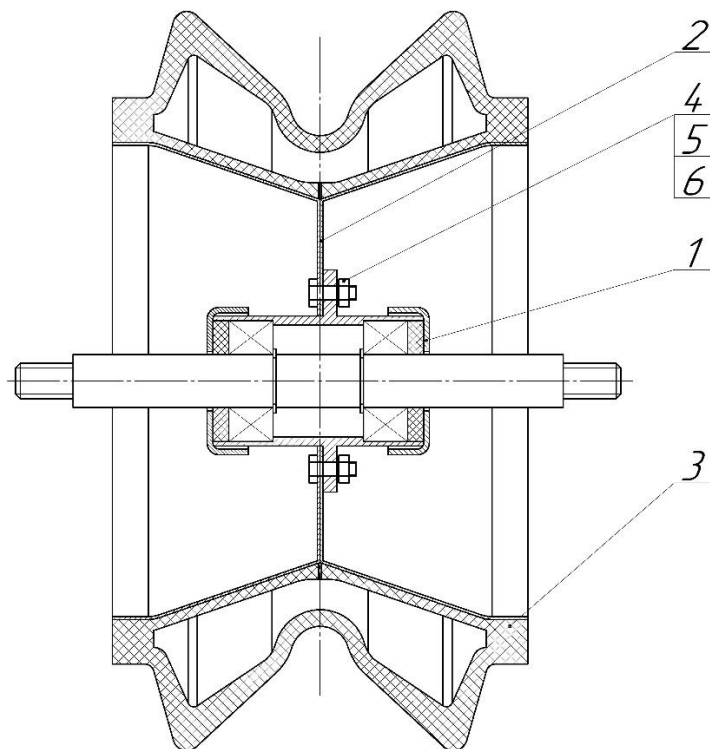


Рис. 4.5 Запропонований коток:

1 – підшипниковий вузол; 2 – диски; 3 – шина; 4,5,6 – елементи кріплення

Робота вдосконаленого котка відбувається таким чином: під час руху він обертається навколо осі в підшипниковому вузлі 1. Шина атмосферного тиску 3, занурюючись в ґрунт, за допомогою клиноподібних елементів профілю спрямовує його до центральної частини борозни. Надлишок ґрунту переміщується в радіальне заглиблення по центру шини, що сприяє зменшенню щільності шару ґрунту над насінням. При досягненні максимальної глибини занурення опора шини здійснюється на прямолінійні

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ділянки з обох боків профілю, що забезпечує рівномірність руху котка та обмежує тиск у вертикальному напрямку, запобігаючи переущільненню борозни.

Підвищення ефективності роботи запропонованого прикочуючого котка досягається завдяки таким особливостям: забезпечується локальне ущільнення ґрунту в зоні розміщення насіння, що сприяє підвищенню вологості та покращенню польової схожості; зменшується щільність ґрунту над насінням, що створює оптимальні умови для швидкого проростання; гарантується стабільний рух котка та обмеження вертикального навантаження завдяки наявності прямолінійних ділянок по обидва боки профілю.

Таким чином, запропоновані робочі органи модернізованої просапної сівалки Vesta 8, дають можливість більш якісно виконувати технологічний процес розміщення і загортання насіння кормових бобів в порівнянні із серійними зразками. Оскільки насіння кормових бобів дуже вимогливе до отримання максимальної кількості вологи у початковий період росту то використання розроблених робочих органів може в повному обсязі задовольнити ці вимоги.

4.3 Обґрунтування параметрів модернізованих робочих органів

Розрахунок основних конструктивно-технологічних параметрів борозного котка

Борозний коток під час роботи рухаючись в борозні занурюється в ґрунт, ущільнюючи його її стінки до стану, необхідного для відновлення капілярного підтягування вологи в зоні знаходження насіння. Для визначення глибини занурення котка h , використаємо теорію об'ємного зминання ґрунту, яку запропонував академік Горячкін В.П. Суть гіпотези полягає в тому, що ґрунт розглядається як пружно-в'язке середовище, опір якого деформації пропорційний глибині занурення робочого органу (аналог гіпотези Вінклера) [15-18].

Закон деформації ґрунту описується рівнянням:

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p = q_v \cdot y,$$

де p - тиск у довільній точці контакту;

q_v - коефіцієнт об'ємного зминання;

y - поточна глибина занурення.

Рівняння рівноваги котка - вертикальне навантаження G_k врівноважується реакцією ґрунту по всій площі контакту:

$$G_k = \int_0^l p \cdot b d(x),$$

де b - ширина котка;

l - довжина дуги контакту;

$d(x)$ - елементарний відрізок шляху.

Геометрія контакту для котка діаметром D при невеликих зануреннях рівняння кола можна апроксимувати параболою

$$y = \frac{x^2}{D}.$$

Тоді максимальна довжина контакту на глибині h дорівнює:

$$l \approx \sqrt{D \cdot h}.$$

Підставляємо ці значення в інтеграл:

$$G_k = \int_0^l q_v \cdot \frac{x^2}{D} \cdot b d(x) = q_v \cdot \frac{b}{D} \cdot \left[\frac{x^3}{3} \right]_0^{\sqrt{Dh}},$$

$$G_k = \frac{q_v \cdot b}{3D} (\sqrt{Dh})^3 = \frac{1}{3} q_v \cdot b \cdot \sqrt{D} \cdot h^{\frac{3}{2}}.$$

З цього рівняння виражаємо шукану глибину занурення h :

$$h^{\frac{3}{2}} = \frac{3 \cdot G_k}{q_v \cdot b \cdot \sqrt{D}} \Rightarrow h = \left(\frac{3 \cdot G_k}{q_v \cdot b \cdot \sqrt{D}} \right)^{\frac{2}{3}}.$$

Необхідні для подальших розрахунків величини значень, що входять в отриману залежність беремо із наступних міркувань. Усі величини, базуються на технічних характеристиках машини, розробленому кресленні та ґрунтово-кліматичних умовах Кіровоградської області (де переважають середньо- та важко суглинисті чорноземи) [18-21].

$b = 0,022\text{м}$ - загальна ширина борозного котка, беремо із креслення борозного котка;

$D = 0,15\text{м}$ - зовнішній діаметр котка, беремо із креслення;

$G_k = 100\text{Н}$ (~ 10 кгс) - вертикальне навантаження на коток. Згідно з посібником по експлуатації сівалки, зусилля притискання секції до ґрунту регулюється натягом пружини паралелограмної підвіски. Для добре підготовленого пухкого ґрунту зі щільністю $0,9$ г/см³ встановлюється мінімальне зусилля (близько $10 - 15$ кг), щоб уникнути переущільнення над насінням;

$q_v = 2,5 \cdot 10^6$ Н/м³ - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту, беремо із довідкових таблиць фізико-механічних властивостей ґрунтів. Для суглинистого чорнозему в стані фізичної стиглості (вологість 20%, пухка структура із щільністю $0,9$ г/см³) цей показник коливається в межах $2,0 - 3,0$ мПа/м [19 - 21];

$d_n = 0,012\text{м}$ - середній еквівалентний діаметр насінини кормових бобів, насіння є крупним і для посівних фракцій його розмір становить від 10 до 15мм ;

$\Delta y = 0,004\text{м}$ - величина радіальної деформації гумового обода. Згідно з кресленням, ширина демпферної порожнини атмосферного тиску становить 6 мм. Щоб гума працювала як амортизатор і не стискала до упору (що перетворило б її на жорсткий елемент), розрахункова пружна деформація приймається на рівні $2/3$ від ширини порожнини, тобто 4 мм;

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$c_r = 4000 \text{ Н/м}$ - радіальний коефіцієнт жорсткості пустотілого гумового профілю. Орієнтовне інженерне значення для сільськогосподарських бандажів, виготовлених із гуми середньої м'якості (твердість за Шором А близько 55-60 одиниць) з урахуванням наявності внутрішньої порожнини;

$f = 0,12$ - коефіцієнт опору коченню, значення 0,10 до 0,15 є стандартним для перекошування гумового колеса по розпушеному суглинистому ґрунту.

Глибина занурення котка та тиск на ґрунт:

$$h = \left(\frac{3 \cdot 100}{0,022 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{0,15}} \right)^{\frac{2}{3}} = (0,1408)^{\frac{2}{3}} \approx 0,0058 \text{ м}$$

Отже, борозний коток може занурюватись у пухкий ґрунт приблизно на 5,8 мм.

Довжина плями контакту:

$$l = \sqrt{0,15 \cdot 0,0058} = \sqrt{0,00087} \approx 0,029 \text{ м}$$

Площа контакту (проекція):

$$S_k = b \cdot l,$$

$$S_k = 0,022 \cdot 0,045 = 0,00099 \text{ м}^2$$

Середній тиск котка на ґрунт:

$$q = \frac{G_k}{S_k},$$

$$q = \frac{100}{0,00099} \approx 0,1 \text{ МПа}$$

Оптимальна щільність ґрунту для бобових досягається при тиску котків від 0,1 до 0,3 МПа. Розрахункове значення точно вписується в ці агрономічні.

Розраховуємо тиск на насінину. Зусилля, з яким деформована гума тисне на насінину кормових бобів:

$$F_n = c_r \cdot \Delta y,$$

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_n = 4000 \cdot 0,004 = 16H$$

Площа контакту гуми з насіниною діаметром 12 мм:

$$S_n = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4},$$

$$S_n = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,000113m^2$$

Тиск на насінину:

$$P_n = \frac{F_n}{S_n},$$

$$P_n = \frac{16}{0,000113} \approx 0,14MPa$$

Межа міцності насіння кормових бобів на стиск становить понад 1,5 МПа. Отже, запропонована конструкція з порожниною гарантує нульовий відсоток травмування насіння.

Визначаємо тяговий опір котка.

Опір перекочуванню:

$$R_k = G_k \cdot f,$$

$$R_k = 100 \cdot 0,12 = 12H$$

Опір деформації (зминання) ґрунту за Горячіним визначається, як робота на створення колії [17,18]:

$$R_d = \frac{b \cdot q_v \cdot h^2}{2},$$

$$R_d = \frac{0,022 \cdot 2,5 \cdot 10^6 \cdot 0,0058^2}{2} = 0,92H$$

Загальний тяговий опір одного модернізованого котка:

$$R_x = R_k + R_d,$$

$$R_x = 12 + 0,92 = 12,92H$$

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Для 8-рядної сівалки Vesta 8 загальний опір усіх котків складе близько 103 Н, що є мізерним навантаженням для трактора тягового класу 1.4 і вище.

Визначення щільності ґрунту в зоні розміщення насіння від дії модернізованого заднього прикочуючого котка

Обчислення показників ущільнення ґрунтового середовища належить до класу задач механіки суцільних середовищ. Розв'язання цієї проблеми залежить від широкого спектра змінних, таких як:

фізико-механічних характеристик ґрунту, його первинної щільності, ступеня зволоженості, типу за гранулометричним складом (піщаний, суглинковий, чорноземний), а також параметрів пористості та коефіцієнта об'ємного стискування;

конструктивних особливостей прикочувального котка, величини вертикального зусилля (сили притискування до поверхні поля), точної геометрії профілю шини (ширини обода, радіусів кривизни), рівня внутрішнього тиску повітря, а також показників пружності і матеріалу із якого він виготовлений;

динамічних факторів, безпосередньо швидкості пересування посівного агрегату.

Зважаючи на те, що точні цифрові значення більшості перелічених параметрів здебільшого невідомі та вимагають проведення окремих вимірювань, для початку доцільно реалізувати спрощену (наближену) модель розрахунку.

Базові допущення та вихідні параметри:

початкова щільність ґрунту (ρ), для площ, які пройшли передпосівну підготовку під висів кормових бобів, приймаємо нормативне усереднене значення $\rho_0 = 0,9 \text{ г/см}^3$;

вертикальне зусилля (F), беремо за основу стандартне експлуатаційне навантаження на прикочувальний вузол сівалки. Спираючись на агротехнічні вимоги із джерел [15-20], питомий тиск орієнтовно дорівнює 40 Н на 1 см

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

ширини смуги ущільнення. Враховуючи, що фактична ширина контактної зони робочої поверхні котка становить 16,8 см.

Виходячи з цих даних, сумарне розрахункове навантаження складе:

$$F = q_n \cdot B,$$

$$F = 40 \cdot 16,8 = 672 H$$

Оскільки максимальна ширина борозни після проходу сошника складає $b_c = 3,7 \text{ см}$, то це значення можна прийняти за ширину центральної зони прикочуючого котка яка відповідає за утворення зони розпушеного ґрунту над насінною.

Тоді ширина зон ущільнення з двох боків борозни:

$$b_l = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ см}$$

Для розрахунку можна використати спрощену модель ущільнення ґрунту, яка характеризується лінійною залежністю між тиском (P) і зміною щільності ($\Delta\rho$):

$$\Delta\rho = k \cdot P,$$

де k - коефіцієнт стиснення ґрунту, $k = 0,00015 \frac{\text{г/см}^3}{\text{кПа}}$.

Згідно з конструктивною схемою робочої поверхні котка, довжина його контакту із ґрунтом становить $L = 11,2 \text{ см}$.

Проводимо розрахунок щільності ґрунту в зонах ущільнення з обох боків від рядка.

Враховуючи специфіку будови робочого профілю котка, основна частина вертикального зусилля F зосереджується на його бічних клиновидних площинах, головним завданням яких є ущільнення ґрунту безпосередньо навколо висіяного насіння. Величина площі контакту на ділянках ущільнення визначатиметься так:

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$S_l = b_l \cdot L,$$

$$S_l = 9 \cdot 11,2 = 101 \text{ см}^2 = 0,00101 \text{ м}^2$$

В зонах ущільнення тиск на ґрунт:

$$P_l = \frac{F}{S_l},$$

$$P_l = \frac{672}{0,0171} = 666000 \text{ Па} = 666 \text{ кПа}$$

Збільшення щільності:

$$\Delta \rho_l = k \cdot P_l,$$

$$\Delta \rho_l = 0,00015 \cdot 666 = 0,11 \text{ г/см}^3$$

в зонах ущільнення кінцева щільність ґрунту:

$$\rho_k = \rho_0 + \Delta \rho_l,$$

$$\rho_k = 0,9 + 0,11 = 1,1 \text{ г/см}^3$$

Розрахунок щільності над насінною.

Відповідно до конструктивної схеми котка, наявність радіальної впадини в його центральній частині забезпечує зниження тиску на ґрунт. За ідеальних умов навантаження в цій зоні наближається до нульового значення, оскільки надлишковий ґрунт не ущільнюється, а переміщується в впадину.

Тому:

$$\rho_{кц} = \rho_0 + \Delta \rho_{ц},$$

$$\rho_{кц} = 0,9 + 0 = 0,9 \text{ г/см}^3$$

Згідно з результатами виконаного теоретичного аналізу встановлено, що після проходження вдосконаленого котка на глибині загортання насіння 4 - 6 см формується диференційований розподіл щільності ґрунту. В зонах,

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

розташованих з обох боків насінини (область ущільнення), щільність підвищується до оптимального рівня $\rho_k = 1,1 \text{ г/см}^3$, що сприяє відновленню капілярних зв'язків в ґрунті та забезпечує надходження вологи до насіння. Водночас у центральній частині, безпосередньо над насіниною, щільність залишається зниженою $\rho_{кц} = 0,9 \text{ г/см}^3$, що дозволяє зберегти пухку структуру. Це суттєво полегшує процес проростання, зменшуючи механічний опір для проростка та покращуючи аерацію.

Таким чином, навіть орієнтовні розрахунки кількісно підтверджують доцільність запропонованої конструкції, коток формує ущільнене насіннєве ложе з боків і знизу, водночас залишаючи над насінням розпушений шар ґрунту, що сприяє розвитку рослин кормових бобів.

Обґрунтування діаметра модернізованого прикочуючого котка просапної сівалки.

Для обґрунтування раціонального значення діаметра прикочуючого котка, який забезпечує ефективне подрібнення або вдавлювання ґрунтових грудок в поверхню поля та зменшення утворення передкоткового валка, доцільно застосовувати підхід, що враховує фізико-механічні характеристики ґрунту, а також геометричні параметри ґрунтових агрегатів. Згідно рекомендацій в роботах [15-18], для цього найбільш доцільно використовувати таке рівняння:

$$D_k = d_n \cdot f_0 \cdot \left[\frac{(2 + S_m^2) - 2\sqrt{1 + S_m^2}}{S_m^2} \right],$$

де D_k – діаметр котка, мм;

f_0 – коефіцієнт защемлення ґрунту, чорнозем 1,3;

d_n – максимальний діаметр ґрунтових агрегатів, що знаходяться в зоні прикочування, мм;

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S_m – сума коефіцієнтів тертя взаємодіючих поверхонь – котка і ґрунту.

Слід зауважити, що зі збільшенням діаметра котка відбувається зменшення вертикальної складової сили прикочування. У зв'язку з цим під час проєктування необхідно знаходити раціональний баланс між здатністю робочого органу руйнувати ґрунтові агрегати та забезпеченням рівномірного ущільнення ґрунту в зоні залягання насіння.

На рис. 4.6 наведено розрахункову залежність, яка дозволяє визначити діаметр робочої поверхні котка залежно від агрегатного складу ґрунту в процесі роботи. Аналіз графіка показує, що зі зростанням середнього розміру грудок в прикочуваному шарі необхідний діаметр котка також збільшується. Це забезпечує ефективне втискування або руйнування ґрунтових агрегатів без утворення передкоткового пагорбу.

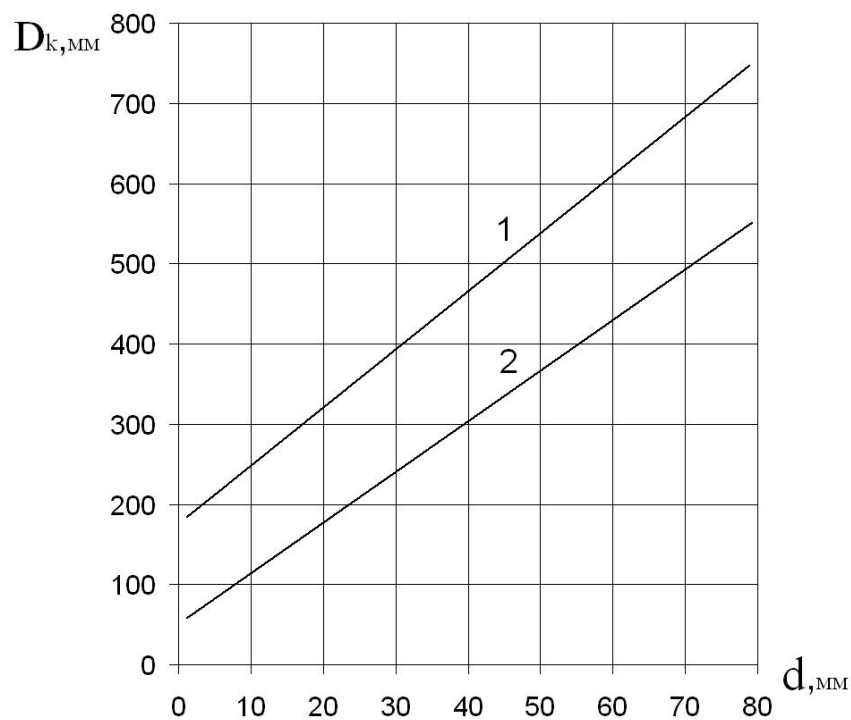


Рис. 4.6 Залежність для визначення діаметра прикочуючого котка від розмірів ґрунтових агрегатів під час посіву:

1 – піщані ґрунти; 2 – чорнозем

Отримана залежність підтверджує доцільність застосування в конструкції котка шини комбінованого профілю, яка завдяки змінній геометрії

здатна пристосовуватися до різного агрегатного складу ґрунту. Таким чином, обґрунтований підбір діаметра котка дає змогу не лише покращити якість ущільнення ґрунту в зоні розміщення насіння, а і сформувати оптимальні умови для його проростання, забезпечити достатній рівень зволоження, уникнути надмірного ущільнення верхнього шару та зберегти його структурність.

Використання подібних підходів при проектуванні робочих поверхонь прикочуючих котків підвищує адаптивність сівалки до різноманітних ґрунтово-кліматичних умов і сприяє більш рівномірному та швидкому проростанню насіння, особливо культур, чутливих до умов загортання, зокрема кормових бобів. Як правило, за умови якісної та своєчасної передпосівної підготовки поля, зокрема після боронування, середній розмір ґрунтових агрегатів у верхньому шарі становить 5 - 20 мм. В такій ситуації для досягнення ефективного прикочування без надлишкового ущільнення та мінімізації утворення передкоткового валка діаметр котка доцільно приймати в межах 300 - 350 мм.

Ширина робочої поверхні котка визначається його функціональним призначенням і конструктивними параметрами. З метою забезпечення достатньої площі контакту з ґрунтом і рівномірного розподілу тиску цей показник може змінюватися в межах 50 - 200 мм залежно від типу шини, конфігурації профілю та заданих характеристик ущільнення.

					<i>МВКБ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

5. Охорона праці

5.1 Аналіз і усунення небезпечних факторів які можуть виникати під час посіву кормових бобів [22-28]:

Інтенсифікація польових робіт та використання сучасної сільськогосподарської техніки вимагають суворого дотримання нормативів з охорони праці. Процес широкорядної сівби кормових бобів модернізованим посівним агрегатом на базі сівалки Vesta 8 супроводжується впливом низки потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Їх своєчасний аналіз та впровадження превентивних заходів є запорукою збереження здоров'я працівників та безаварійної роботи техніки.

Усі небезпечні фактори під час сівби можна класифікувати на чотири основні групи: механічні, хімічні, санітарно-гігієнічні (ергономічні) та організаційні.

1. Джерелом механічних небезпек є рухомі частини посівного агрегату: карданна передача приводу вентилятора, ланцюгові передачі, кромки сошників, маркерна система та конструкції котків.

Небезпека травмування карданним валом - оскільки вакуумний вентилятор сівалки Vesta 8 працює від валу відбору потужності (ВВП) трактора, відкриті частини карданної передачі можуть захопити одяг працівника.

Усунення - експлуатація агрегату дозволяється виключно за наявності цілісних захисних пластикових кожухів на карданному валі. Забороняється перебувати між трактором і сівалкою під час роботи ВВП.

Падіння агрегату під час обслуговування - регулювання глибини ходу сошників, очищення модернізованих борозних котків або заміна висівних дисків під піднятою сівалкою створює ризик падіння машини через падіння тиску в гідросистемі трактора.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Усунення – всі роботи з висівними секціями проводяться лише після встановлення рами сівалки на надійні механічні металеві підставки (козли) та заглушеного двигуна трактора.

Удар маркерною системою - раптове опускання маркерів під час переїздів або розворотів.

Усунення - перед початком руху, а також перед переведенням маркерів із транспортного положення в робоче (і навпаки), механізатор зобов'язаний переконатися у відсутності людей в радіусі дії агрегату та подати звуковий сигнал. В транспортному положенні маркери повинні фіксуватися жорсткими механічними стопорами.

2. Хімічні небезпеки (токсикологічний фактор). Специфіка сівби кормових бобів полягає у великій нормі висіву (до 300 кг/га), що зумовлює необхідність частого завантаження бункерів насінням, попередньо обробленим фунгіцидно-інсектицидними протруйниками та інокулянтами, а також паралельного внесення мінеральних добрив.

Отруєння пестицидами та пилом - вдихання токсичного пилу під час завантаження насіння та добрив, потрапляння препаратів на відкриті ділянки шкіри або слизові оболонки.

Усунення - максимальна механізація процесів завантаження, використання автомобілів-завантажувачів (наприклад, ЗС-30) зі шнековими транспортерами, що виключає ручне перенесення мішків.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) - допоміжний працівник (сівач) та тракторист під час завантаження зобов'язані працювати в респіраторах (класу не нижче FFP2), захисних окулярах закритого типу та нитрилових рукавицях.

Категорично забороняється розрівнювати насіння чи добрива в бункерах руками під час роботи висівного апарата. Для цього використовують спеціальні дерев'яні лопатки.

3. Ергономічні та санітарно-гігієнічні фактори. Тривала робота в кабіні трактора супроводжується підвищеним рівнем шуму, вібрації, загазованістю робочої зони та статичним напруженням механізатора.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Робота дизельного двигуна та ексгаустера сівалки генерує значний шум, а рух по нерівному рельєфу поля - вібрацію.

Усунення - використання тракторів із сучасними герметичними та шумоізованими кабінами. Обов'язкове індивідуальне налаштування пневматичної або пружинної підвіски сидіння під масу тіла конкретного механізатора для гасіння низькочастотних коливань.

Мікроклімат і втрома, перепади температур під час ранньовесняних польових робіт, запиленість повітря.

Усунення - робота з увімкненою системою клімат-контролю та вугільними фільтрами кабіної вентиляції. Суворе дотримання режиму праці та відпочинку: кожні 2 - 3 години роботи необхідно робити технологічні перерви на 10 - 15 хвилин для відпочинку, візуального огляду висівних секцій та очищення робочих органів від ґрунту.

4. Організаційні фактори. Відсутність належної підготовки поля та порушення маршрутів руху можуть призвести до аварійних ситуацій. Наїзд на перешкоди та перекидання, приховане каміння, глибокі вимоїни, круті схили.

Усунення - до початку посівних робіт поле має бути обстежене агрономом. Усі небезпечні зони (ями, стовпи ліній електропередач, велике каміння) повинні бути позначені добре видимими помітками.

Розвороти агрегату дозволяються виключно на заздалегідь відбитих поворотних смугах із піднятими в транспортне положення секціями сівалки. Швидкість руху на поворотних смугах не повинна перевищувати 4 - 5 км/год.

Комплексне дотримання цих вимог гарантує не лише збереження здоров'я персоналу, а і стабільне та якісне виконання технологічного процесу модернізованим агрегатом.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Висновки

1. Кормові боби є надзвичайно цінною високобілковою культурою та важливим елементом сівозміни (фіксують атмосферний азот). Проте реалізація їхнього біологічного потенціалу вимагає суворого дотримання технології вирощування: ранніх строків сівби у фізично стиглий ґрунт, глибокого загортання (4 - 6 см) та забезпечення насіння великою кількістю вологи (до 120% від власної маси) для успішного проростання.

2. Специфіка насіннєвого матеріалу (великі розміри та висока крихкість оболонки) робить традиційні зернові сівалки малоефективними при посіві кормових бобів. Базова комплектація пневматичних просапних сівалок точного висіву, таких як Vesta 8, забезпечує необхідну ширину міжрядь (70 см) та точність дозування, однак її стандартні системи загортання та прикочування не завжди здатні створити ідеальний контакт великого насіння з вологим дном борозни без ризику утворення ґрунтової кірки.

3. Для вирішення проблеми неякісного укладання насіння кормових бобів запропоновано нову конструкцію комбінованого борозного котка, яка дозволяє відмовитися від класичних загортачів. Коток оснащений нижньою демпферною частиною (гумовим профілем з атмосферою порожниною) для м'якого втискування насінини в дно борозни, а також жорсткими розширеними бічними ділянками для зсуву та ущільнення ґрунту з боків.

4. Проведені інженерні розрахунки на основі теорії об'ємного зминання ґрунту довели працездатність запропонованої конструкції. Встановлено, що коток створює оптимальний тиск на стінки борозни (близько 0,1 МПа), достатній для підтягування капілярної вологи. При цьому тиск гумового демпфера безпосередньо на насінину становить близько 0,14 МПа, що гарантує абсолютну відсутність її макро чи мікротравмування.

5. Розроблена технологічна карта та план організації робіт в загінці доводять високу ефективність використання модернізованої сівалки Vesta 8 у комплексі з тракторами тягового класу 1.4 - 2.0. Розрахункова змінна продуктивність агрегату становить близько 28 - 30 га за 10-годинну зміну, що

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

дозволяє провести посівну кампанію в оптимальні стислі агротехнічні строки з мінімальними витратами праці та пального.

6. Успішне впровадження розроблених робочих органів вимагає суворого контролю за небезпечними виробничими факторами. Оскільки сівба кормових бобів передбачає роботу з великими об'ємами протруєного насіння та мінеральними добривами, критично важливою є максимальна механізація процесів завантаження та застосування засобів індивідуального захисту, а також неухильне дотримання правил безпеки під час обслуговування модернізованих висівних секцій та рухомих механізмів агрегату.

					<i>МВКБ 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Онищук Д.М., Лихочвор В.В., Проць В.В. Кормові боби. Львів: НВФ «Українські технології», 2002. 44 с.
2. Мазур В.А., Ткачук О.П., Дідур І.М., Панцирева Г.В. Особливості технології вирощування малопоширених зернобобових культур: монографія. Вінниця: ТВОРИ, 2021. 172 с. <http://repository.vsau.org/getfile.php/29427.pdf>
3. Воробйов Б.С. Кормові боби / За ред. Бабича А.О. Зернобобові культури. – К.: Урожай, 1984. – 157 с.
4. Бабич А.О. Зернобобові культури. К.: Урожай, 1984. 160 с.
5. Кияк. Г. Зернобобові культури. Львів: Каменярь, 1970. 80 с.
6. Зернобобові культури в інтенсивному землеробстві /А.М. Розвадовський, А.О. Бабич, В.Ф. Петриченко та ін.; За ред. А.М. Розвадовського. - К.: Урожай, 1990. - 176 с.
7. Національний стандарт України ДСТУ 4793:2007. Боби кормові. Технологія вирощування. Загальні вимоги. Київ, Держспоживстандарт України. 2009.
8. Лихочвор В.В., Бомба М.І., Дубковецький С.В. Довідник з вирощування зернових та зернобобових культур. Львів: Українські технології, 1991. 408 с.
9. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур / В.В. Лихочвор, В.Ф. Петриченко, П.В. Іващук, О.В. Корнійчук; заред. В.В. Лихочвора, В.Ф. Петриченко. - 3-є вид., вип. та доп. - Львів: НВФ «Українські технології», 2010. - 1088 с.
10. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування с/г культур. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 808 с.
11. Лихочвор В.В., Петриченко В.Ф. Рослинництво. Сучасні інтенсивні технології. Львів: НВФ «Українські технології», 2006. 729 с.
12. Ластівка М.М. Експлуатація машин і обладнання. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти аграрних технікумів і коледжів денної і

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

заочної форми навчання зі спеціальності 208 Агроінженерія. Ладизинський коледж, ВНАУ, 2019. – 374 с.

13. Навчальний посібник. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві./ А.С. Лімонт, І.І. Мельник, А.С. Малиновський, В.В. Марченко, В.Л. Гуз, І.М. Грищенко. - К.: Кондор, 2004. - 284 с.

14. Product Catalog. Technology in harmony with the nature. Elvorti - Chervona zirka. Ukraine, 2016. 20p. URL: https://www.elvorti.com/content/pdf/2016/KATALOG_2016_EN_SITE.pdf

15. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – С. 141 – 142. <https://studfiles.net/preview/5063474/page:25/>

16. Кушнар'ов А.С. Механіко – технологічні основи обробітку ґрунту / А.С. Кушнар'ов, В.І. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.

17. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 1, частина 2. Машини для сівби та садіння. – Харків: Око, 2002. – 452 с.

18. Сисолін П.В. та інш. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; за ред. М.І. Черновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.

19. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник / Л.М. Шутенко, О.Г. Рудь, О.В. Кічаєва та ін.; за ред. Л.М. Шутенка; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. - 563 с.

20. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / Г.А. Хайліс, А.Ю. Горбів, З.О. Гошко та ін., – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 1998. – 268 с.

21. Механіко – технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк, В.М. Швайко та ін.; За ред. С.С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.

					МВКБ 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

22. Гандзюк М.П. Основи охорони праці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. За редакцією М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2003. – 408с.

23. ДСТУ 7239:2011. Засоби індивідуального захисту.
http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2011/09/dstu_7239_2011.pdf

24. ДСТУ 2867-94. Державний стандарт України. Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження.
https://ksv.do.am/GOST/DSTY_ALL/DSTY3/dsty_2867-94.pdf

25. СП 4282-87. Санітарні правила по устрою тракторів та сільськогосподарських машин. https://dnaop.com/html/57502/doc-%D0%A1%D0%9F_4282-87

26. ДСТУ 2189-93. Система стандартів безпеки праці. Машини сільськогосподарські навісні та причіпні. Загальні вимоги безпеки. Київ, 1994. – 25 с.

27. ГОСТ 25942-90. Трактори і сільськогосподарські машини. Пристрої швидковідєднуючі. Вимоги до конструкції.
http://www.leonorm.lviv.ua/p/DG/CND2015_2.HTM

28. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник / В.Ц. Жидецький – Львів: Афіша, 2002.– 320 с.

Додатки

Розрахунок параметрів операційної технології процесу посіву при вирощуванні кормових бобів

Розрахунки проводимо згідно рекомендацій [10-13]. Розрахуємо номінальне тягове зусилля на гаку на відповідних передачах:

$$V_m^{IV} = 6,55 \text{ км/год} \qquad V_m^V = 8,05 \text{ км/год}$$

$$P_{н.зак}^{IV} = 13,5 \text{ кН} \qquad P_{н.зак}^V = 11 \text{ кН}$$

Максимальна ширину захвату агрегату:

$$B_{\max} = \frac{P_{зак}}{K_o^V + R_i},$$

Питомий опір K_o^V (кН/м):

$$K_o^V = K_o \left[1 + \Pi (V_p - V_o) \right],$$

де при $V_o = 5$ км/год, ($K_o = 1,5$ кН/м);

Π - коефіцієнт приросту, ($\Pi = 1,5\%$);

V_o - швидкість, ($V_o = 5$ км/год);

V_p - робоча швидкість, км/год.

$$V_p = V_m \cdot \left(1 - \frac{\delta}{100} \right),$$

де V_m - швидкість теоретична, км/год

δ – коефіцієнт буксування ($\delta = 6 \dots 20\%$).

$$V_p^{IV} = 6,55 \cdot \left(1 - \frac{15}{100} \right) = 5,57 \text{ км/год}$$

$$V_p^V = 8,05 \cdot \left(1 - \frac{15}{100} \right) = 6,84 \text{ км/год}$$

$$K_o^{IV} = 1,5 \cdot [1 + 0,015(5,57 - 5)] = 1,51 \text{ кН/м}$$

$$K_o^V = 1,5 \cdot [1 + 0,015(6,84 - 5)] = 1,54 \text{ кН / м}$$

При русі агрегату на підйом виникає додатковий опір (кН/м):

$$R_i = \frac{G_m}{B_k} \cdot i,$$

де $G_m = 15,2$ кН – маса машини;

$B_k = 5,6$ м – конструктивна ширина;

$$R_i = \frac{15,2}{5,6} \cdot 0,05 = 0,14 \text{ Нм}$$

Максимальна ширина захвату:

$$B_{\max}^{IV} = \frac{13,5}{1,51 + 0,14} = 8,9 \text{ м}$$

$$B_{\max}^V = \frac{11}{1,54 + 0,14} = 6,54 \text{ м}$$

Кількість сівалок в агрегаті:

$$n_c = \frac{B_{\max}}{B_k},$$

$$n_c^{IV} = \frac{8,9}{5,4} = 1,65 \text{ - буде 2 сівалки}$$

$$n_c^V = \frac{6,54}{5,4} = 1,21 \text{ - буде 1 сівалка}$$

Тяговий опір агрегату:

$$R_{a2p} = K_o^V B_p n_c + R_{зч}$$

$$R_{a2p}^{IV} = 1,51 \cdot 5,6 \cdot 2 + 1,3 = 17,61 \text{ кН}$$

$$R_{a2p}^V = 1,54 \cdot 5,6 \cdot 1 + 1,3 = 9,62 \text{ кН}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора:

$$\eta_{T3} = \frac{R_{a2p}}{P_{2ak}},$$

$$\eta_{T3}^{IV} = \frac{17,61}{13,5} = 1,3,$$

$$\eta_{T3}^V = \frac{9,62}{11} = 0,87.$$

Змінна продуктивність, га/зм:

$$W_{3M} = 0,1 \cdot B_p V_p T_p,$$

де B_p – робоча ширина захвату, м:

$$B_p = B_{\kappa} \beta,$$

де β – коефіцієнт використання ширини агрегату ($\beta = 1,0$)

$$B_p = 5,6 \cdot 1 = 5,6 \text{ м}$$

T_p – робочий час зміни, год:

$$T_p = T_{3M} \tau,$$

де T_{3M} – час зміни, год ($T_{3M} = 7$ год);

$\tau = 0,82$ - коефіцієнт використання часу зміни.

$$T_p = 7 \times 0,82 = 5,74 \text{ год}$$

Змінна продуктивність:

$$W_{3M}^{IV} = 0,1 \cdot 5,6 \cdot 5,57 \cdot 5,74 = 17,3 \text{ га / зм}$$

$$W_{3M}^V = 0,1 \cdot 5,6 \cdot 6,84 \cdot 5,74 = 21,2 \text{ га / зм}$$

Розрахунок витрат палива (кг/га):

$$Q_{ga} = \frac{Q_{3M}}{W_{3M}},$$

де Q_{3M} – витрати палива за зміну, кг;

W_{3M} – продуктивність агрегату за зміну, га/зм.

$$Q_{3M} = Q_p T_p + Q_x t_x + Q_3 t_3,$$

де Q_p, Q_x, Q_3 – годинні витрати палива за час робочих та холостих ходів і на зупинках з працюючим двигуном, кг/год;

$$t_x = t_3 = \frac{7 - 5,74}{2} = 0,63 \text{ год}$$

При $\eta_{T3}^{IV} = 0,7$; $Q_p = 16,7 \text{ кг/год}$; $Q_x = 11,4 \text{ кг/год}$; $Q_3 = 2 \text{ кг/год}$,

а при $\eta_{T3}^V = 0,87$; $Q_p = 15 \text{ кг/год}$; $Q_x = 9 \text{ кг/год}$; $Q_3 = 2 \text{ кг/год}$.

Витрата палива на 1 га:

$$Q_{\text{га}}^{IV} = \frac{16,7 \cdot 5,74 + 11,4 \cdot 0,63 + 2 \cdot 0,63}{17,7} = 5,9 \text{ кг/га}$$

$$Q_{\text{га}}^V = \frac{15,5 \cdot 5,74 + 9,0 \cdot 0,63 + 2 \cdot 0,63}{20,9} = 4,6 \text{ кг/га}$$

Організація роботи агрегату в загінці

Приймаємо спосіб руху – човниковий, напрямок руху агрегату – вздовж сторони гону $L=900\text{м}$ [11-13].

Кінематична довжина агрегату:

$$L_k = l_m + l_{зч} + l_{\text{м}},$$

де $l_m + l_{зч} + l_{\text{м}}$ – кінематичні довжини трактора, зчіпки та сільськогосподарської машини, м.

$$l_m = 4,2\text{м}, l_{зч} = 1,3\text{м}, l_{\text{м}} = 2,2\text{м}.$$

$$L_k = 4,2 + 1,3 + 2,2 = 7,9\text{м}.$$

При петльовому способі повороту ширина поворотної смуги агрегату:

$$E_p = 3R_{\min} + e,$$

де $R_{\min}$ – мінімальний радіус повороту, м.

$$R_{\min} = 1,2B_p = 1,2 \cdot 5,6 = 6,72 \text{ м},$$

e – довжина виїзду, м.

$$e = (0,50 \dots 0,70) \cdot L_k = 0,6 \cdot 7,9 = 4,74 \text{ м},$$

$$E_p = 3 \cdot 6,72 + 4,74 = 24,2 \text{ м}$$

Кратна ширині захвату:

$$E_p = K \cdot B_p,$$

де K – число кратності.

$$K = \frac{E_p}{B_p} = \frac{24,2}{5,6} = 4,48$$

$$E_p = 4,48 \cdot 5,6 = 24,2 \text{ м} \quad E_p = 4,48 \cdot 5,4 = 24,2 \text{ м}$$

Ширина загінки:

$$C = \frac{10^4 (2 \dots 3) W_{3\text{м}}}{L},$$

де $W_{3\text{м}}$ – змінна продуктивність агрегату, га/зм;

L – довжина загінки, м.

$$C = \frac{10^4 \cdot 3 \cdot 17,3}{900} = 577 \text{ м}$$

$$C = \frac{10^4 \cdot 3 \cdot 21,2}{900} = 706 \text{ м}$$

Кількість загінок:

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot F}{LC}$$

де F – площа посіву, га.

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 100}{900 \cdot 577} = 1,92$$

$$n_3 = \frac{10^4 \cdot 100}{900 \cdot 706} = 1,57$$

На 4 передачі приймаємо за гінку 900м і 450м.

На 5 передачі приймаємо 1 загінку 900м і 1 загінку 250м.

Операційна карта

На основі проведених розрахунків виконання операції оформлюється операційна технологічна карта на посів насіння кормових бобів та виконуються додаткові розрахунки показників організації виконання операцій [10-13].

Тривалість одного циклу, хв:

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot L_p}{10^2 \cdot V_p} + 2t_n,$$

де L_p – робоча довжина загінки, м;

$t_n = 1,5$ хв – час повороту в кінці загінки.

$$L_p = L - 2 \cdot E_p$$

де $L = 900$ м – довжина загінки;

$E_p = 24,2$ м – ширина поворотної смуги.

Визначаємо робочу довжину загінки:

$$L_p = 900 - 2 \cdot 24,2 = 852 \text{ м}$$

$$T_{\text{ц}} = \frac{12 \cdot 852}{10^2 \cdot 8,05} + 2 \cdot 1,5 = 15,7 \text{ хв} = 0,26 \text{ год}$$

Технічна продуктивність за цикл:

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot B_p V_p T_{\text{ц}} \tau,$$

$$W_{\text{ц}} = 0,1 \cdot 5,6 \cdot 8,05 \cdot 0,26 \cdot 0,82 = 0,92 \text{ га / ц}.$$

Циклів за зміну:

$$n_{\text{ц}} = \frac{W_{\text{з.м}}}{W_{\text{ц}}},$$

$$n_{\text{ц}} = \frac{17,3}{0,92} = 18,8 \text{ ц / зм},$$

$$n_{\text{ц}} = \frac{21,2}{0,92} = 23 \text{ ц / зм}.$$

Витрати палива за зміну:

$$Q_{\text{з.м}} = Q_{\text{за}} \cdot W_{\text{з.м}},$$

$$Q_{\text{з.м}} = 5,9 \cdot 18,8 = 110,9 \text{ кг / зм}$$

$$Q_{\text{з.м}} = 4,6 \cdot 23 = 105,8 \text{ кг / зм}$$

На основі умов роботи, агротехнічних вимог на посів та проведення розрахунків, заповнюється операційна технологічна карта.

