

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

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

«Механізація вирощування сої з удосконаленням
грунторозпушувача»

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

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Мішустін Ростислав Юрійович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Дмитро ПЕТРЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

професор, д-р техн. наук

_____ Юрій КУЛЄШКОВ

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Анотація

**Тема: «Механізація вирощування сої з удосконаленням
грунторозпушувача»**

Обґрунтовано використання чизельного обробітку для вирощування сої в умовах дефіциту вологи. Розроблено агрегат із захватом 3,0 м, що забезпечує суцільне розпушування на глибину 35...60 см. Доведено ефективність тандемних котків: трубчастого ($\varnothing 40 \times 4$ мм) та планчастого ($L50 \times 40 \times 5$ мм). Продуктивність становить 16,34 га/зміну при витраті пального 7,06 л/га. Підтверджено запас міцності конструкції (1,60) та можливість агрегування з тракторами потужністю 80...100 к.с.

Ключові слова: чизельний агрегат, соя, енергоефективність, трубчастий коток, планчастий коток

Abstract

Topic: «Mechanization of soybean cultivation with improved soil cultivator»

The study substantiates the use of chisel tillage for soybean cultivation under moisture deficit. A 3,0 m wide implement was developed for continuous loosening at depths of 35...60 cm. The effectiveness of tandem rollers—tubular ($\varnothing 40 \times 4$ mm) and slatted ($L50 \times 40 \times 5$ mm) – is proven. Performance reaches 16,34 ha/shift with fuel consumption of 7,06 l/ha. The structural safety factor (1,60) is confirmed, allowing effective operation with 80...100 hp tractors.

Keywords: chisel plow, soybean, energy efficiency, tubular roller, slatted roller

ЗМІСТ

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

1. ВСТУП

Сучасний агропромисловий комплекс України переживає трансформаційний період, де соя відіграє роль стратегічної сировини економіки. Будучи однією з найбільш рентабельних культур, вона не лише забезпечує значні валютні надходження від експорту, а й виступає фундаментом для вітчизняного тваринництва та переробної галузі [1-4]. Соя – це більше, ніж просто культура. Це природне добриво, оскільки завдяки симбіозу з азотфіксуючими бактеріями, соя є ідеальним попередником у сівозміні [1, 2]. Попит на соєві боби та шрот на світових ринках стабільно зростає. Також вона є сировиною для виробництва біопалива.

Проте успіх вирощування цієї білкової культури в умовах кліматичних змін та прогресуючої деградації ґрунтів напряду залежить від технологій, що використовуються. В умовах зміни клімату, традиційні технології при вирощуванні сої перестають бути доцільними. Так, оранка в якості основного обробітку ґрунту поступово відходить у минуле, поступаючись місцем безполицевому обробітку [4, 5]. В умовах дефіциту вологи саме цей метод дозволяє зберегти структуру ґрунту та запобігти вітровій і водній ерозії. Ключовим інструментом у цій технології є чизельний ґрунторозпушувач.

Чизелювання забезпечує глибоке розпушування без перевертання родючого шару, що сприяє руйнуванню «плужної підшви», покращенню аерації та вологонакопичення, зниженню енерговитрат на одиницю обробленої площі [8, 9].

Удосконалення конструкції чизельного ґрунторозпушувача дозволить не лише підвищити якість підготовки насіннєвого ложа для сої, а й суттєво оптимізувати операційні витрати господарств, роблячи українську агропродукцію ще більш конкурентоспроможною на глобальному ринку.

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

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ СОЇ

Головна цінність сої полягає в її бобах – це єдина культура, що здатна конкурувати з продуктами тваринного походження за амінокислотним профілем, оскільки вміст білка становить від 35% до 50%, що робить її основним джерелом рослинного протеїну у світі, вміст жиру близько 18...25%, що забезпечує отримання високоякісної рослинної олії, яка використовується як у харчовій промисловості, так і для технічних цілей (біодизель) [1-3].

Соя є культурою, яка здатна «віддавати землі» більше, ніж забирає з ґрунту. Завдяки симбіозу з бульбочковими бактеріями, вона здатна засвоювати молекулярний азот з атмосфери – після збирання сої в ґрунті залишається від 60 до 100 кг/га біологічно чистого азоту [3, 4]. Це дозволяє фермеру суттєво зекономити на внесенні дорогих мінеральних добрив під наступну культуру (наприклад, озиму пшеницю чи кукурудзу).

Попри свою універсальність, соя є досить вимогливою культурою, особливо щодо технології обробітку. Найбільша потреба у воді припадає на фази цвітіння та наливу бобів. Соя потребує стабільних температур для швидкого старту. На ранніх етапах розвитку культура росте повільно, тому чистота поля після проходження ґрунтообробного агрегату є запорукою високого врожаю.

Реалізація повного потенціалу врожайності сої залишається складним агротехнологічним завданням. Культура вимоглива до умов вирощування – від якості насіннєвого матеріалу до точності виконання технологічних операцій. Успішне виробництво неможливе без комплексного розуміння біологічних особливостей рослини та відповідного технічного оснащення господарства.

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

2.1. Агровимоги культури

Вимоги до тепла та фотоперіоду. Соя належить до рослин короткого дня і є теплолюбною культурою помірного клімату. Мінімальна температура проростання насіння становить $+8...+10^{\circ}\text{C}$, тоді як оптимум для вегетативного росту перебуває в діапазоні $+22...+25^{\circ}\text{C}$. Сума активних температур (вище $+10^{\circ}\text{C}$) для різних груп стиглості коливається від 1600 до 2800°C залежно від сорту [1, 3].

Фотоперіодична реакція – одна з визначальних біологічних рис сої. Більшість сортів, виведених для помірного клімату, належать до нейтральних або слабкочутливих до довжини дня, що дозволяє їх вирощування в широкому діапазоні широт. Проте при доборі сортів для конкретного регіону необхідно враховувати групу стиглості (від 000 до IX за міжнародною класифікацією).

Заморозки є критичним фактором – сходи переносять короткочасні заморозки до $-2...-3^{\circ}\text{C}$, однак у фазі цвітіння мінусові температури спричиняють загибель квіток і завязей, що суттєво знижує врожайність [1].

Вимоги до вологи. Соя відносно посухостійка у вегетативний період, проте критично вимоглива до водозабезпечення у фазах цвітіння та наливу зерна. Транспіраційний коефіцієнт культури становить 450-500 одиниць, а сумарне водоспоживання за вегетацію – від 350 до 450 мм [4].

Надмірне зволоження в початковий період пригнічує формування кореневої системи та симбіотичних бульбочок, тому оптимальна передпосівна підготовка ґрунту до оструктурення та дренажу має пріоритетне значення. Зрошення (там, де воно доступне) дозволяє збільшити врожайність на $0,8...1,5$ т/га порівняно з богарними умовами.

Вимоги до ґрунту. Культура надає перевагу структурним ґрунтам з нейтральною або слаболужною реакцією (рН 6,0-7,0). Оптимальна щільність складання орного шару – $1,1...1,3$ г/см³. Важкі глинисті та перезволожені

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

грунти є несприятливими через ризик здирнення поверхні та недостатньої аерації кореневої зони.

Соя чутлива до вмісту мікроелементів, особливо бору та молібдену. Молібден необхідний для функціонування нітрогенази в бульбочкових бактеріях, тому дефіцит цього елементу блокує біологічну фіксацію азоту навіть при наявності активного штаму [2-4].

Симбіотична азотфіксація. Одна з найбільш цінних агрономічних рис сої – здатність до симбіозу з бульбочковими бактеріями, що фіксують атмосферний азот. За сприятливих умов соя здатна накопичити до 100...200 кг N/га за вегетацію, що дозволяє суттєво знизити норму внесення мінерального азоту або відмовитися від нього повністю [3, 4].

Ефективність симбіозу залежить від наявності активного штаму бактерій у ґрунті, кислотності та вологості ґрунту, температури (оптимум +20...+25°C), відсутності пестицидного стресу та хімічного пригнічення [2]. Там, де соя вирощується вперше або після тривалої перерви, обов'язковим є передпосівне інокулювання насіння препаратами ризобій [2, 3].

2.2. Сучасні технології вирощування сої

Класична (традиційна) інтенсивна технологія базується на оранці чи глибокому дисковому розпушуванні з наступним ретельним вирівнюванням поля. Вона передбачає повний обробіток ґрунту, що забезпечує ефективне знищення бур'янів механічними методами та рівномірне загортання пожнивних решток [5, 6].

Серед переваг – висока ефективність у боротьбі з багаторічними бур'янами, добра вирівняність поля для сівби та прибирання. Недоліки – значні витрати паливно-мастильних матеріалів, ризик ерозії, руйнування структури ґрунту за частих проходів техніки.

Мінімальний обробіток (Mini-till / Strip-till). Технологія мінімального обробітку передбачає скорочення кількості механічних операцій до

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

суміщених агрегатів, що виконують кілька операцій за один прохід. Strip-till (смуговий обробіток) дозволяє обробляти лише смугу ґрунту шириною 15...20 см безпосередньо під рядок сівби, зберігаючи міжряддя незайманим.

Переваги strip-till для сої – збереження вологи, зменшення витрат ПММ на 30...40% порівняно з оранкою, можливість раннього локального прогрівання смуги, менше ущільнення ґрунту між рядами [5, 6, 9]. Обмеження – потребує спеціалізованої техніки, менш ефективна на ділянках із сильним засміченням багаторічними бур'янами.

Система No-till передбачає відмову від будь-якого механічного обробітку ґрунту. Посів здійснюється безпосередньо у стерню попередника або у мульчувальний шар пожнивних решток [9]. Цей підхід найефективніший на добре структурованих ґрунтах з достатнім вмістом органічної речовини.

Переваги – мінімальна деградація ґрунту, збереження вологи під мульчею, найнижчі витрати на обробіток. Недоліки для сої – ризик зниження температури посівного ложа навесні через мульчу, складніше управління бур'янами, необхідність підвищення норм гербіцидів або збільшення їх кількості.

Технологія точного землеробства інтегрує GPS-навігацію, дистанційне зондування, ГІС та аналіз великих масивів даних для диференційованого управління посівами. У виробництві сої це проявляється у змінних нормах висіву та внесення добрив залежно від карт родючості ґрунту, моніторингу вегетаційного індексу (NDVI) через дрони або супутники та прецизійному застосуванні засобів захисту рослин [5]. Ця технологія дозволяє мінімізувати ресурсні витрати при збереженні або збільшенні врожайності.

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

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз технологій вирощування за ключовими показниками ефективності та ресурсоемності [5-7, 9]

Показник	Класична	Mini-till / Strip-till	No-till	Точне землеробство
Витрати ПММ, л/га	80-120	45-65	20-35	40-60
Витрати на обробіток ґрунту, USD/га	90-130	50-80	20-40	55-85*
Ефективність боротьби з бур'янами	Висока	Середня	Залежить від гербіцидів	Висока (адаптивна)
Збереження вологи ґрунту	Задовільне	Добре	Відмінне	Добре
Ризик ерозії	Підвищений	Середній	Мінімальний	Низький
Потреба в спеціалізованій техніці	Стандартна	Середня	Висока	Дуже висока
Середня врожайність, т/га (Україна)	2,5-3,2	2,8-3,5	2,4-3,0	3,2-4,0
Капіталовкладення на старт	Середні	Середні-Високі	Середні	Дуже високі

* – без урахування вартості інформаційних систем та дронів, які амортизуються окремо.

Місце сої у сівозміні. Соя є відмінним попередником для більшості зернових і технічних культур завдяки азотфіксуючим властивостям та поліпшенню структури ґрунту. Оптимальні попередники для самої сої (табл. 2.2) – озима пшениця, озимий ячмінь, кукурудза на зерно [1-4].

Категорично не рекомендується розміщувати сою після соняшнику (через спільних патогенів та накопичення склеротій *Sclerotinia*), а також повторно по сої. Мінімальний перерив у вирощуванні сої на одному полі – 3...4 роки. Порушення цієї норми призводить до накопичення збудників корневих гнилей, нематоди та різкого зниження врожайності.

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

Таблиця 2.2 – Аналіз попередників для сої

Попередник	Оцінка	Обґрунтування
Озима пшениця / ячмінь	Відмінний	Рання збиральна кампанія, дозволяє своєчасно обробити поле
Кукурудза на зерно	Добрий	Задовільний фітосанітарний стан, проте є ризик злакових бур'янів
Цукровий буряк	Задовільний	Пізній збір, ущільнення ґрунту важкою технікою
Ріпак озимий	Задовільний	Спільні хвороби з хрестоцвітих не критичні, проте падалиця ріпаку
Соняшник	Незадовільний	Накопичення склероцій <i>Sclerotinia</i> , вилягання рослин
Соя (повторно)	Неприйнятний	Накопичення нематоди, кореневих гнилей, зниження врожаю на 25-40%

Система захисту рослин.

Соя відрізняється повільним початковим ростом і відносно закритим ценозом у зрілому стані, що визначає дворівневу стратегію боротьби з бур'янами: ґрунтовий гербіцид (до або відразу після сівби) плюс страховий гербіцид у фазі 1-3 трійчастих листків сої [1, 10].

Ґрунтові гербіциди (метрибузин, S-метолахлор, прометрин, флумецеурон) блокують проростання більшості однорічних видів. Страхові гербіциди проти злакових (хізалофоп, клетодим) і дводольних бур'янів (бентазон, іма-замокс для стійких сортів IMI/STS) застосовуються за наявності реального засмічення [10]. Особливу увагу слід приділяти стійким екотипам амброзії полиноистої, яка є домінуючим бур'яном у соєвих агроценозах лісостепу та степу України.

Основні патогени сої в Україні – збудники несправжньої борошнистої роси, фузаріозного в'янення, пурпурової плямистості, а також бактеріози [1, 10]. За умов надмірного зволоження небезпечною є біла гниль.

Система захисту включає протруєння насіння фунгіцидами та ризобіями (сумісними між собою), обприскування фунгіцидами у фазі

цвітіння-початку наливу бобів (стробілурини + тріазоли), дотримання сівозміни та підбір стійких сортів.

Серед ентомологічних шкідників найбільшої шкоди завдають соєва міль, акацієва вогнівка, попелиця та трипси [10]. Порогова чисельність для прийняття рішення про обприскування визначається окремо для кожного виду. Поширення карантинного шкідника – соєвої плодожерки, вимагає постійного моніторингу та своєчасного застосування інсектицидів.

Система живлення та добрив. Незважаючи на здатність до азотфіксації, соя потребує збалансованого живлення мінеральними елементами. Для формування 1 т зерна вона споживає: 65...70 кг N, 15...16 кг P_2O_5 та 35...40 кг K_2O [3, 4]. Частина азоту покривається симбіотично, однак стартова доза мінерального азоту (20...25 кг/га у вигляді аміачної селітри) покращує початковий ріст до активізації симбіозу.

Фосфорно-калійні добрива вносять під основний обробіток або локально при сівбі. Локальне внесення (стрічкове, з відступом від насіння) підвищує коефіцієнт використання поживних речовин порівняно із розкидним способом на 15...20%.

Сірка (S) набула особливого значення після перегляду концепції базового живлення. Дефіцит сірки обмежує синтез білка у бобах, що знижує якість врожаю. Норми сульфату амонію або інших сірковмісних добрив – 20...30 кг S/га [10].

2.3. Технічні засоби для реалізації технологій вирощування сої

Грунтообробна техніка. Вибір грунтообробної техніки безпосередньо визначає якість підготовки посівного ложа і є першою ланкою технологічного ланцюга. Для різних технологій застосовують різні машини.

Для класичної технології – плуги з відвалами (ПЛН-5-35, Lemken Diamant, Pöttinger Servo) з глибиною оранки 22...28 см [5-7]. Оборотні плуги дозволяють рухатися в одному напрямку, уникаючи зваляного гребеня.

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

Сучасні рішення включають інтелектуальне керування тиском колеса та автоматичне регулювання глибини.

Дискові лушпильники та боронувальні агрегати (Horsch Joker, Gregoire Besson SPSL, Катерпілар серія) застосовуються для поверхневого обробітку на глибину 6...12 см [5-7, 9]. Ефективні для подрібнення пожнивних решток і прискорення їх розкладання.

Культиватори-плоскорізи та чизелі застосовуються в системах Mini-till [5-9]. Чизельний культиватор (Horsch Tiger, Lemken Karat) обробляє ґрунт на глибину 25...35 см без обертання, зберігаючи структуру і стерню на поверхні. Це важливо для захисту від ерозії на схилах і в посушливих районах.

Strip-till агрегати представлені машинами для смугового обробітку (Mzuri Pro-Til, Orthman 1tRIPr, Case IH Ecolo-Tiger, вітчизняний КЩС-2.8), які формують оброблені смуги шириною 15...20 см, залишаючи міжряддя недоторканим [5-7]. Зазвичай оснащені системами RTK GPS для точного позиціонування смуг.

Посівна техніка. Якість сівби є критичним чинником формування густоти рослин та рівномірності розвитку посіву. Соя висівається з нормою 60...100 кг/га (або 500...700 тис. насінин/га) залежно від сорту та умов [10].

Для сої оптимальні сівалки пневматичні точного висіву з одиничним насіннєпроводом, що мінімізують механічні пошкодження насіння. Провідні виробники: John Deere серія ExactEmerge (з точністю розміщення насіння до $\pm 1,3$ см), Kinze 4905, Horsch Maestro, Vaderstad Tempo [17]. Ці машини оснащені системами контролю норми висіву в режимі реального часу, датчиками забивання та модулями змінної норми.

Сівалки прямого висіву для No-till – для роботи в мульчі необхідні сівалки з дисковими сошниками підвищеної ріжучої здатності (двоступінчасті дискові сошники) [17]. Серед найпоширеніших – Great Plains 3S-3000, Amazone Cirrus Activ, Sly Seedmaster TXS. Ключова вимога –

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

утворення чіткого посівного ложа без забивання мульчею та стабільний контакт насіння з ґрунтом.

Техніка для внесення добрив. Ефективне живлення рослин залежить від точності дозування та рівномірності розподілу добрив. Для основного внесення твердих мінеральних добрив застосовують дискові розкидачі (Amazone ZA-TS, Bogballe Calibra, Sulky DX) з шириною захвату 24...54 м та системами секційного керування [9]. Для рідких добрив і КАС – агрегати зі штангами-обприскувачами або підґрунтового внесення.

Локальне внесення добрив безпосередньо при сівбі реалізується через бункери-дозатори, встановлені на сівалці (наприклад, Horsch Maestro з Twin Row), що дозволяє подавати стартові добрива у 5...6 см від насіння.

Техніка для хімічного захисту рослин. Самохідні обприскувачі є основними машинами для внесення пестицидів. Кліренс 1,5...1,8 м дозволяє проводити обробки у фазі активного вегетативного росту без пошкодження рослин. Представницькі моделі: Amazone Pantera 4502, Hagie STS16, John Deere R4045 [17].

Агродрони (AGRAS T50, XAG P100 Pro) набувають дедалі більшого поширення для позакоренових підживлень та точкового нанесення фунгіцидів і інсектицидів [5]. Дрони ефективні у ситуаціях, де наземна техніка вже не може заїхати в посів (висота рослин понад 70...80 см), а також для обробки складних рельєфів і за підвищеної вологості.

Збиральна техніка. Збирання сої є відповідальною операцією, що визначає втрати насіння та якість зерна. Основні вимоги до комбайна – мінімальні механічні пошкодження зерна (недопустимо більше 2...3% розколотих насінин) та ефективне обмолочування низькорозміщених бобів (перший ярус на висоті 5...10 см від землі) [15].

Для сої рекомендуються комбайни з аксіально-роторними системами обмолоту або гібридними системами. Ключові налаштування: знижена частота обертання ротора (430-550 об/хв), збільшений зазор між ротором і

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

декою [15]. Провідні моделі: John Deere S790, Case IH AF 9250, Claas Lexion 8900.

Для збирання сої обов'язковим є використання жатки з флексибельним (гнучким) різальним апаратом, що дозволяє скопіювати рельєф поля та зрізати стебла на висоті 5...6 см [10, 15]. Без флекс-жатки втрати від незібраного нижнього ярусу бобів сягають 8...15% урожаю. Ширина захвату – 9...15 м для великих господарств.

2.4. Практичні рекомендації для господарств

На основі проведеного аналізу можна сформулювати диференційовані рекомендації залежно від масштабу виробництва та ресурсних можливостей господарства.

Малі господарства (до 200 га під соєю):

- базова технологія – mini-till або класична з мінімальним набором агрегатів;
- пріоритет – якісна сівалка з контролем норми висіву та самохідний або причіпний обприскувач;
- аутсорсинг збирання комбайном на договірній основі з оператором послуг;
- GPS-паралельне водіння як мінімальний рівень цифровізації.

Середні господарства (200-1000 га під соєю):

- Strip-till технологія як компроміс між ефективністю та витратами;
- власний парк: трактор 200...280 к.с., сівалка точного висіву, обприскувач самохідний або великий причіпний;
- впровадження агрохімічного картографування та диференційованого внесення добрив;
- БПЛА для моніторингу та обробки проблемних зон.

Великі господарства (понад 1000 га під соєю):

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

- повна система точного землеробства – RTK, карти змінних норм, FMIS-платформа;
- власний зернозбиральний парк з флекс-жатками та системами картографування врожайності;
- автономні або напівавтономні агрегати для нічної роботи в пікові строки;
- розгляд no-till або strip-till як стратегічного напрямку для захисту ґрунту.

Висновки по розділу

Соя є технологічно вимогливою культурою, успішне вирощування якої ґрунтується на поєднанні глибокого агрономічного розуміння та відповідного технічного забезпечення. Проведений аналіз дозволяє зробити такі висновки.

Вибір технології вирощування (класична, mini-till, strip-till, no-till) має бути адаптований до конкретних ґрунтово-кліматичних умов, фітосанітарного стану поля та наявних ресурсів господарства – кожна система має своє місце і переваги.

Критичними операціями, що найбільше впливають на кінцевий результат, є передпосівна підготовка ґрунту, якість сівби (рівномірність, глибина, схожість), своєчасне управління бур'янами та збирання з мінімальними втратами.

Цифрові технології та точне землеробство переходять із категорії «передових практик» до інструментів конкурентоздатності. Господарства, що впроваджують ці рішення, демонструють стабільно вищу рентабельність виробництва сої.

Збереження ґрунтової родючості є довгостроковою стратегічною задачею. Strip-till і no-till технології, попри вищі вимоги до кваліфікації і техніки, формують ґрунтовий капітал господарства, що є найціннішим активом у довгостроковій перспективі.

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

3. ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОСНОВНОГО ОБРОБІТКУ ГРУНТУ

3.1. Технологічні розрахунки

Розрахунки виконуємо для операції основного обробітку ґрунту чизельним ґрунторозпушувачем із загальною шириною захвату 3,0 м, який оснащено сімома робочими органами (лапами), розподіленими у два технологічні ряди. Таке шахове компонування є конструктивною нормою для чизельної техніки, що дозволяє уникнути взаємного перекривання слідів у межах одного ряду та забезпечити рівномірне розпушування ґрунту по всій ширині захвату.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунків

Показник	Позначення	Значення	Одиниця
Конструктивна ширина захвату чизеля	$B_{кч}$	3,0	м
Загальна кількість лап	$n_{ч}$	7	шт.
Кількість лап у першому ряду	n_1	3	шт.
Кількість лап у другому ряду	n_2	4	шт.
Глибина розпушування	$a_{ч}$	30	см
Маса знаряддя (чизеля)	$M_{чз}$	1800	кг
Оброблювана площа	F_c	200	га
Марка трактора (умовно)	—	Трактор 220 к.с.	—
Номінальне тягове зусилля на гаку	$P_{нч}$	62,0	кН
Тривалість зміни	$T_{зм.грн}$	8,0	год
Агротехнічно допустимий строк роботи	$T_{аг}$	10	діб
Довжина поля (гону)	L_c	1000	м
Ширина поля	C_c	2000	м

Розподіл лап по рядах:

- перший ряд – 3 лапи, відстань між осями у ряду: $d_{ч1} = 3,0 / (3 - 1) = 1,50$ м;

- другий ряд – 4 лапи, відстань між осями у ряду: $d_{ч2} = 3,0 / (4 - 1) = 1,00$ м;

- зміщення другого ряду відносно першого (по горизонталі): 0,50 м;

- відстань між рядами (по напрямку руху): 0,50...0,70 м.

Загальний мінімальний крок між суміжними слідами всіх лап по ширині захвату визначається за формулою:

$$d_{заг.В} = B_{кч} / (n_{ч} - 1),$$

$$d_{заг.В} = 3,0 / (7 - 1) = 0,50 \text{ м.}$$

Отже, усі сім слідів розташовуються з кроком 0,50 м, що при ширині захвату лапи 7 см забезпечує надійне руйнування суцільного масиву ґрунту без необроблених смуг. Шахова розстановка виключає можливість застрягання рослинних решток між лапами, оскільки кожна наступна лапа другого ряду рухається по необробленій зоні між слідами першого ряду.

3.1.1. Визначення робочої ширини захвату агрегату.

Конструктивна ширина захвату є паспортним показником машини. Однак у реальних умовах роботи через неточності водіння, бокове зміщення та особливості рельєфу ефективна ширина захвату дещо відрізняється від конструктивної. Для розрахунку продуктивності використовують робочу ширину захвату:

$$B_{рч} = B_{кч} \cdot \beta,$$

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

де β – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату ($\beta = 0,95 \dots 0,98$). Для чизельного ґрунторозпушувача, що працює на рівних полях із задовільним рельєфом, приймаємо $\beta = 0,97$;

$$B_{pч} = 3,0 \cdot 0,97 = 2,91 \text{ м.}$$

3.1.2. Визначення тягового опору.

Тяговий опір, що розвивається на одній чизельній лапі, визначається за питомим опором ґрунту, який залежить від його типу, вологості, механічного складу та глибини обробітку:

$$R_{1n} = k_{ep} \cdot a_{ч} \cdot d_{л.ч},$$

де k_{ep} – питомий опір ґрунту, для суглинкових ґрунтів середньої щільності при чизелюванні нормативне значення становить $k_{ep} = 4,5 \dots 5,5$ Н/см², приймаємо $k_{ep} = 5,0$ Н/см² [9, 14, 15];

$d_{л.ч}$ – ширина захвату однієї лапи (по нижньому лезу), см;

$$R_{1n} = 5,0 \cdot 30 \cdot 7 = 1050 \text{ Н.}$$

Повний тяговий опір чизельного ґрунторозпушувача складається з двох компонентів: опору ґрунту на всіх лапах та опору кочення ходових коліс і опорних колес знаряддя по поверхні поля:

$$R_{заг.ч} = R_{1n} \cdot n_{ч} + G_{чз} \cdot f,$$

де f – коефіцієнт опору кочення ($f = 0,15$ для ходових коліс по стерні);

$G_{чз}$ – вага ґрунторозпушувача, Н:

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

$$G_{чз} = M_{чз} \cdot g = 1800 \cdot 9,81 = 17658 \text{ Н},$$

$$R_{заг.ч} = 1050 \cdot 7 + 17658 \cdot 0,15 = 10000 \text{ Н} = 10,0 \text{ кН}.$$

3.1.3. Тягова характеристика трактора та перевірка комплектування агрегату.

Ефективне тягове зусилля трактора на гаку (з урахуванням витрат на тертя в трансмісії) визначається так [11]:

$$P_{ef.гак} = P_{нч} \cdot \eta_{тр},$$

де $\eta_{тр}$ – механічний ККД трансмісії ($\eta_{тр} = 0,90 \dots 0,95$);

$$P_{ef.гак} = 62,0 \cdot 0,92 = 57,0 \text{ кН}.$$

Умова нормального комплектування агрегату (тяговий опір знаряддя не перевищує тягове зусилля трактора на гаку):

$$R_{заг.ч} \leq P_{ef.гак} \Rightarrow 10,0 \text{ кН} \leq 57,0 \text{ кН} - \text{умова виконана}.$$

Коефіцієнт завантаження характеризує ступінь використання тягових можливостей трактора. Оптимальні значення коефіцієнта знаходяться в діапазоні $0,85 \dots 0,95$ – при нижчих значеннях трактор недовикористовується, при вищих – можливе пробуксовування [11]:

$$\eta_{н.тр} = R_{заг.ч} / P_{ef.гак} = 10,0 / 57,0 = 0,175.$$

Коефіцієнт завантаження $\eta_{н.тр} = 0,175$ є нижчим за оптимальний діапазон ($0,85 \dots 0,95$). Це свідчить про те, що трактор потужністю 220 к.с.

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

суттєво перевищує потреби даного знаряддя за тяговим зусиллям. В господарській практиці рекомендується:

- застосувати менш потужний трактор (орієнтовно 80...100 к.с.);
- збільшити ширину захвату шляхом використання ширшого чизеля (5...6 м).

При наявному агрегаті роботи виконуються на підвищеній швидкості для збільшення продуктивності.

Перевірка використання потужності двигуна. Фактична потужність, яку витрачає агрегат на тягу при обраній робочій швидкості, визначається як добуток тягового зусилля та швидкості руху [11, 15]:

$$N_{\text{тяг.ч}} = P_{\text{ef.зак}} \cdot V_{\text{р.ч}},$$

де $V_{\text{р.ч}}$ – робоча швидкість роботи. При оптимальній агротехнічній швидкості чизелювання $V_{\text{р.ч}} = 9,0 \text{ км/год} = 2,5 \text{ м/с}$:

$$N_{\text{тяг.ч}} = 57,0 \cdot 2,5 = 142,5 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт використання потужності $\eta_N = 142,5 / 162,0 = 0,88$, що відповідає нормативному діапазону 0,80...0,92 та підтверджує раціональність обраної швидкості руху.

3.1.4. Розрахунок продуктивності агрегату.

Годинна продуктивність агрегату визначає площу поля, яку він здатний обробити за одну годину фактичної роботи (без урахування технологічних перерв і зупинок) [15]:

$$W_{\text{h.ч}} = 0,1 \cdot B_{\text{рч}} \cdot V_{\text{р.ч}},$$

$$W_{\text{h.ч}} = 0,1 \cdot 2,91 \cdot 9,0 = 2,62 \text{ га/год.}$$

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

Змінна продуктивність враховує не лише чистий час руху агрегату, а й усі технологічні та організаційні зупинки протягом зміни: повороти в кінцях гону, технічне обслуговування, регулювання, відпочинок механізатора.

Сукупність цих перерв відображає коефіцієнт використання часу зміни. Коефіцієнт використання часу зміни $\tau_{зм.ч}$ визначається як відношення чистого робочого часу до загальної тривалості зміни і для операцій основного обробітку ґрунту нормативне значення $\tau_{зм.ч} = 0,75 \dots 0,82$, приймаємо $\tau_{зм.ч} = 0,78$. Тоді змінна продуктивність [15]:

$$W_{зм.ч} = 0,1 \cdot W_{h.ч} \cdot T_{зм.грн} \cdot \tau_{зм.ч},$$

$$W_{зм.ч} = 0,1 \cdot 2,91 \cdot 9,0 \cdot 8,0 \cdot 0,78 = 16,34 \text{ га/зм.}$$

З урахуванням двозмінного режиму роботи агрегату добова продуктивність становить:

$$W_{доб.ч} = W_{зм.ч} \cdot n_{зм.ч},$$

де $n_{зм.ч}$ – чисельність змін роботи на добу;

$$W_{доб.ч} = 16,34 \cdot 2 = 32,68 \text{ га/добу.}$$

3.1.5. Розрахунок витрати пального.

Погектарна витрата дає змогу оцінити енергоємність обробітку та порівнювати ефективність різних технологій [15]:

$$Q_{га.ч} = q_{год.ч} / W_{h.ч},$$

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

де $q_{год.ч}$ – годинна витрата пального при чизелюванні. Нормативна годинна витрата дизельного пального для трактора 220 к.с. при коефіцієнті завантаження 0,88 становить $q_{год.ч} = 18,5$ л/год;

$$Q_{га.ч} = 18,5 / 2,62 = 7,06 \text{ л/га.}$$

Загальна потреба в паливі для обробки всієї площі:

$$Q_{заг.ч} = Q_{га.ч} \cdot F_c ,$$

$$Q_{заг.ч} = 7,06 \cdot 200 = 1412 \text{ л.}$$

3.2. Організація роботи агрегату в полі

Оброблюваний масив площею 200 га наближено прямокутної форми розміром 1000×2000 м. Напрямок основного руху агрегату – вздовж поздовжньої осі поля (робочий гін – 1000 м).

Для операції чизелювання оптимальним є човниковий спосіб руху, коли агрегат рухається по суміжних паралельних гонах у протилежних напрямках. Цей спосіб забезпечує мінімальну кількість холостих ходів, просте водіння та зручну організацію заправки та обслуговування.

Ширина поворотної смуги визначається з умови забезпечення мінімального радіуса повороту трактора [7]:

$$E_{ч.а} = 2 \cdot R_{\min.a} + B_{рч} + d_{без},$$

де $R_{\min.a}$ – мініально можливий радіус виконання повороту агрегатом, м (для трактора 220 к.с. $R_{\min.a} \approx 6,0$ м);

$d_{без}$ – додатковий запас безпеки та точності заїзду (1,0...1,5 м);

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

$$E_{ч.а} = 2 \cdot 6,0 + 2,91 + 1,09 = 16,0 \text{ м.}$$

Приймаємо ширину поворотної смуги $E_{ч.ф} = 18 \text{ м}$ (кратно ширині захвату агрегату для зручності обробки поворотних смуг у кінці роботи).

Фактична довжина відрізка, протягом якого агрегат виконує робочу операцію (без урахування поворотних смуг):

$$l_{p.г.} = L_n - 2 \cdot E_{ч.ф},$$

де $l_{p.г.}$ – довжина робочого гону, м;

L_n – загальна довжина поля (поздовжній розмір), м;

$$l_{p.г.} = 1000 - 2 \cdot 18 = 964 \text{ м.}$$

Загальна кількість паралельних робочих гонів, яку необхідно здійснити агрегату для перекриття всієї ширини поля:

$$n_{np} = C_n / B_{рч} ,$$

де C_n – ширина поля (поперечний розмір), м;

$$n_{np} = 2000 / 2,91 = 687,3 \rightarrow \text{приймаємо} = 688 \text{ проходів.}$$

Кількість поворотів $n_{пов} = n_{np} - 1 = 687$ поворотів.

Коефіцієнт робочих ходів відображає частку продуктивного переміщення агрегату у загальному шляху руху. Він враховує довжину холостих ходів при разворотах та є якісним показником раціональності організації руху на полі:

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

$$\varphi_{px} = l_{p.z.} / (l_{p.z.} + l_x),$$

де φ_{px} – коефіцієнт робочих ходів (раціональний діапазон $\varphi_{px} \geq 0,85 \dots 0,90$);

l_x – довжина холостого ходу за один поворот, м. При петльовому повороті:

$$l_x = \pi \cdot R_{\min.a} + 2 \cdot E_{\phi},$$

$$l_x = 3,14 \cdot 6,0 + 2 \cdot 18,0 = 54,84 \text{ м};$$

$$\varphi_{px} = 964 / (964 + 54,84) = 0,946.$$

Отримане значення $\varphi_{px} = 0,946$ є відмінним показником і свідчить про раціональну форму поля та належну організацію руху.

3.3. Визначення строків виконання робіт та потреби в агрегатах

Кількість змін для обробки всієї площі;

$$z_{zm} = F_c / W_{zm.ч},$$

де z_{zm} – необхідна кількість змін роботи агрегату;

$W_{zm.ч}$ – змінна продуктивність одного чизельного агрегату, га/зм;

$$z_{zm} = 200 / 16,34 = 12,24 \rightarrow \text{приймаємо} = 13 \text{ змін.}$$

Кількість робочих діб при двозмінній роботі:

$$D_{чз} = z_{zm} / n_{zm.ч},$$

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

де $n_{змн.ч}$ – кількість змін роботи на добу ($n_{змн.ч} = 2$);

$$D_{чз} = 13 / 2 = 6,5 \rightarrow \text{приймаємо} = 7 \text{ робочих діб.}$$

Агротехнічний строк для основного глибокого обробітку ґрунту під сою складає $T_{аг} = 10$ діб (з урахуванням технологічних вимог до строків проведення операції та погодних умов), тоді розрахункова кількість агрегатів, які забезпечать дані строки:

$$N_{агр} = D_{чз} / T_{аг} ;$$

$$N_{агр} = 7 / 10 = 0,7 \rightarrow \text{приймаємо} = 1 \text{ агрегат.}$$

Один агрегат у двозмінному режимі роботи повністю забезпечує виконання операції основного обробітку ґрунту на площі 200 га протягом 7 робочих діб, що укладається в агротехнічно допустимий строк (10 діб). Резерв часу становить 3 доби – достатній буфер для обліку погодних умов.

3.4. Питомі витрати праці

Питомі витрати праці (трудомісткість операції) – це кількість людино-годин, що витрачається на обробіток одного гектара [7]:

$$T_{num} = Z_{роб} / W_{h.ч},$$

де $Z_{роб}$ – кількість обслуговуючого персоналу на агрегат (1 тракторист);

$W_{h.ч}$ – годинна продуктивність агрегату, га/год;

$$T_{num} = 1 / 2,62 = 0,382 \text{ люд-год/га.}$$

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

Загальні витрати праці на масив 200 га: $0,382 \cdot 200 = 76,4$ люд-год.

Висновки по розділу

За результатами проведених технологічних розрахунків можна зробити наступні висновки щодо організації операції основного обробітку ґрунту чизельним ґрунторозпушувачем з шириною захвату 3,0 м (7 лап) на площі 200 га.

Конструктивна схема розміщення лап у двох рядах (3+4) із загальним кроком між слідами 0,50 м забезпечує рівномірне розпушування ґрунтового масиву без необроблених смуг. Шахова розстановка є конструктивно обґрунтованою та ефективною.

Загальний тяговий опір знаряддя становить 10,0 кН, що суттєво менше за тягове зусилля трактора 220 к.с. на гаку (57,0 кН). Коефіцієнт завантаження 0,175 вказує на доцільність використання менш потужного трактора (80...100 к.с.) або розширення робочого органа.

Продуктивність агрегату складає 2,62 га/год (годинна) та 16,34 га/зм (змінна), що є цілком задовільним показником для знаряддя такого класу. За двозмінного режиму роботи добова продуктивність сягає 32,68 га/добу.

Погектарна витрата пального 7,06 л/га є прийнятною для операції глибокого основного обробітку. Загальна потреба в паливі на масив 200 га – 1412 л.

Організація руху за човниковою схемою на полі 1000×2000 м забезпечує високий коефіцієнт робочих ходів $\varphi_{px} = 0,950$, що свідчить про раціональне використання робочого часу. Кількість поворотів складає 687, тривалість кожного – близько 0,6 хв.

Один агрегат у двозмінному режимі обробляє 200 га за 7 робочих діб, що укладається в агротехнічно допустимий строк (10 діб) із резервом 3 доби. Для виконання робіт достатньо одного агрегату та двох механізаторів (позмінно).

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

4. ІНЖЕНЕРНА ЧАСТИНА.

4.1. Обґрунтування удосконалення

Спираючись на результати аналізу існуючих конструкцій чизельних знарядь [8, 9, 12-14, 16, 17] та враховуючи практичний досвід аграріїв, нами розроблено вдосконалену модель чизельного агрегату (рис. 4.1). Дана розробка призначена для глибокого безвідвального розпушування ґрунту (в межах 35...60 см) і адаптована до роботи в широкому діапазоні ґрунтово-кліматичних зон.

Конструктивною особливістю машини є просторова рама, виконана з прямокутного металопрофілю. Таке рішення дозволяє досягти високої жорсткості остова при одночасному зниженні загальної ваги агрегату. Робочі органи фіксуються безпосередньо на поперечних брусах за допомогою надійних болтових з'єднань. Навісний спосіб агрегування та універсальна триточкова система забезпечують сумісність з більшістю сучасних тракторів.

Регулювання глибини ходу реалізовано двома способами: за допомогою гідросистеми трактора або через механізм опорних коліс. Для підвищення експлуатаційної надійності стійки лап мають криволінійну геометрію, що оптимізує розподіл внутрішніх напружень. Крім того, використання центрального ножа, який повторює контур стійки, суттєво знижує тяговий опір знаряддя.

Експлуатація традиційних зубчастих котків на важких ґрунтах, особливо в умовах підвищеної вологості, часто супроводжується їх забиванням рослинними рештками та налипанням ґрунтової маси. Це нівелює технологічну ефективність обробітку. На противагу цьому, трубчасті конструкції завдяки своїй «відкритій» структурі демонструють стабільну роботу без засмічення.

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

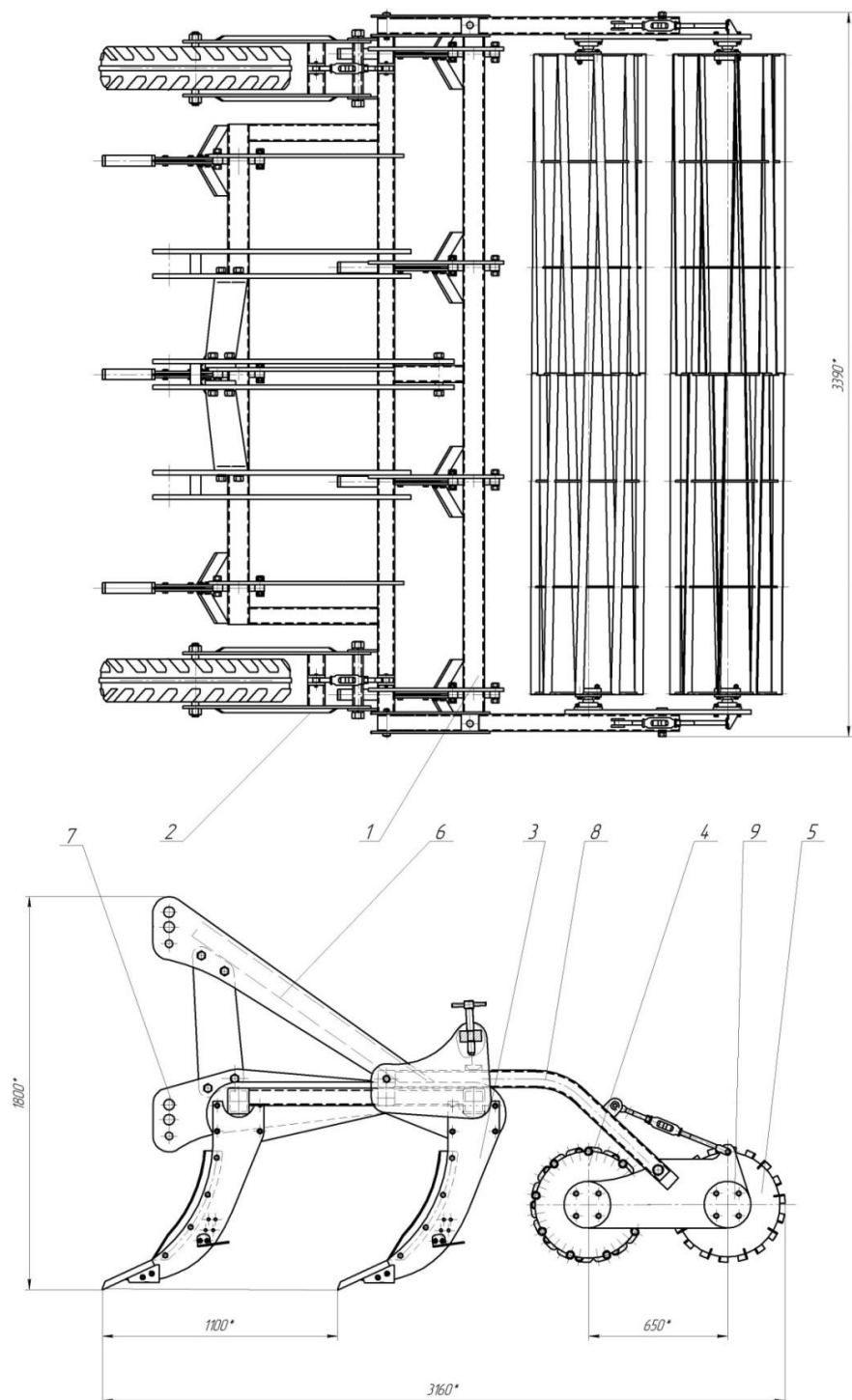


Рис. 4.1. Конструктивна схема удосконаленого чизельного агрегата:

1 – несуча просторова рама; 2 – опорно-регулювальні колеса з гвинтовим механізмом задання глибини; 3 – робочий орган (чизельна лапа); 4, 5 – секції ребристо-трубчастого та планчастого котків; 6 – вузол кріплення верхньої тяги навісної системи; 7 – точки фіксації нижніх тяг; 8 – тримач (кронштейн) заднього шлейфу котків; 9 – бокова пластина (щока) блока котків.

Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата

МВС 00.000 ПЗ

Арк.

З огляду на це, пропонується оснастити чизельне знаряддя тандемною установкою (рис. 4.2): ребристо-трубчастим котком у поєднанні з ребристо-планчастим. Така комбінація дозволяє поєднати ефект ударного змину (трубчастий елемент) із принципом концентрованого удару (планчастий елемент). Можливість диференційованого регулювання глибини ходу кожного з котків забезпечує високу адаптивність агрегату до конкретних агротехнічних умов та стану фону.

Будова та параметри робочих органів (рис. 4.2). Конструктивне виконання котків базується на осьовій системі з використанням маточин 5, до яких кріпляться бокові диски 1. Основу каркаса для робочих елементів – трубу 4 та планок 6 – складають диски маточин 1 та центральний диск 3.

Труби та планки закріплені методом зварювання зі зміщенням точок фіксації відносно центральної осі. Для трубчастого котка кут зміщення становить 10° , для планчастого – 8° . Це дозволяє мінімізувати вібрації та стабілізувати обертання.

Для запобігання боковому знесенню напрямом зміщення робочих елементів змінюється дзеркально відносно осі симетрії, що проходить через центральний диск 3. Висока механічна міцність досягається встановленням чотирьох проміжних дисків 2.

Робочими органами трубчастого котка слугують труби діаметром 40 мм. Планчастий коток оснащений кутиками з розміром полиць 50×40 мм.

Задля встановлення основних параметрів модернізованого чизеля будемо виконувати інженерні розрахунки його складових.

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

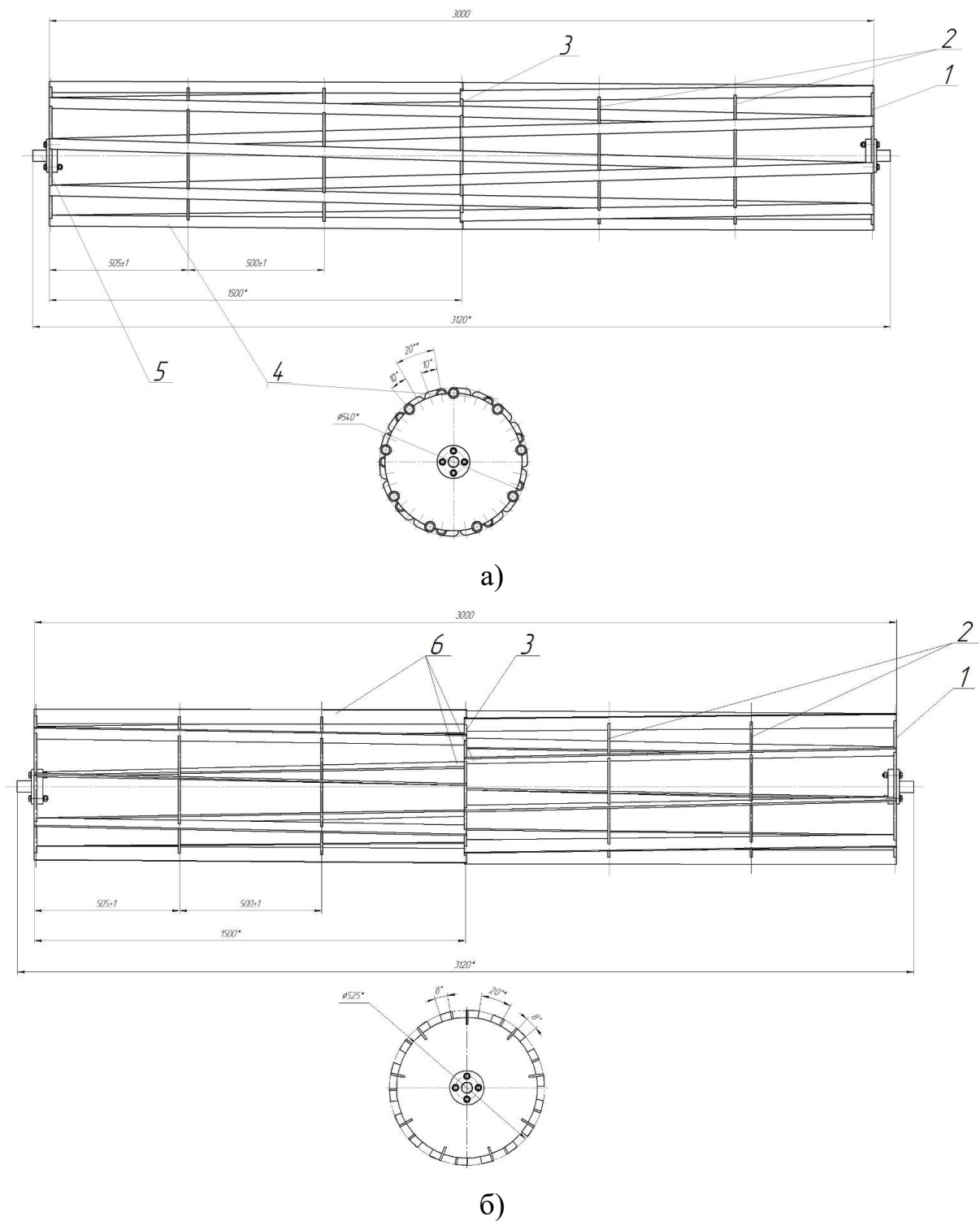


Рис. 4.2. Конструктивні елементи робочих органів:

а) трубчаста секція; б) планчаста секція; 1 – опорний фланець (диск) маточини; 2 – проміжні ребра жорсткості (диски); 3 – центральна перегородка (диск); 4 – робочі елементи трубчастого профілю; 5 – підшипниковий вузол (маточина); 6 – деформувальна планка (кутник).

Зм.	Арк.	N докум.	Підп.	Дата

МВС 00.000 ПЗ

Арк.

4.2. Інженерний розрахунок котків чизельного ґрунторозпушувача

Конструкцією вдосконаленого чизельного агрегату передбачено тандемне встановлення двох котків – ребристо-трубчастого та ребристо-планчастого. Такий компоновальний принцип дозволяє реалізувати двоступеневий агресивний вплив на підповерхневий шар ґрунту: перший коток (трубчастий) подрібнює великі брили ударно-деформуючою дією, другий (планчастий) – додатково руйнує залишкові грудки шляхом концентрованого удару планками-кутниками.

Для забезпечення стабільної роботи і достатнього ресурсу всіх конструктивних елементів виконаємо комплекс інженерних розрахунків: геометричні параметри та розміщення робочих елементів; визначення навантажень (статичних і динамічних); міцність і жорсткість осі котка; міцність трубчастих і планчастих робочих органів; ресурс підшипникових вузлів; перевірка зварних швів.

Рівномірне розміщення труб і планок по периметру є умовою статичної та динамічної збалансованості котка. При нерівномірному розташуванні виникають незрівноважені відцентрові сили, що спричиняють прискорений знос підшипникових вузлів та підвищену вібрацію рами. Кутовий крок між суміжними елементами:

$$\alpha = 360^\circ / n_{p.e.},$$

де α – кутовий крок між суміжними робочими елементами, град.;

$n_{p.e.}$ – кількість однотипних робочих елементів котка (труб або планок), шт.

Для трубчастого котка ($n_{mp} = 16$ труб):

$$\alpha_{mp} = 360^\circ / 16 = 22,5^\circ;$$

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

для планчастого котка ($n_{пл} = 13$ планок):

$$\alpha_{пл} = 360^\circ / 13 = 27,7^\circ.$$

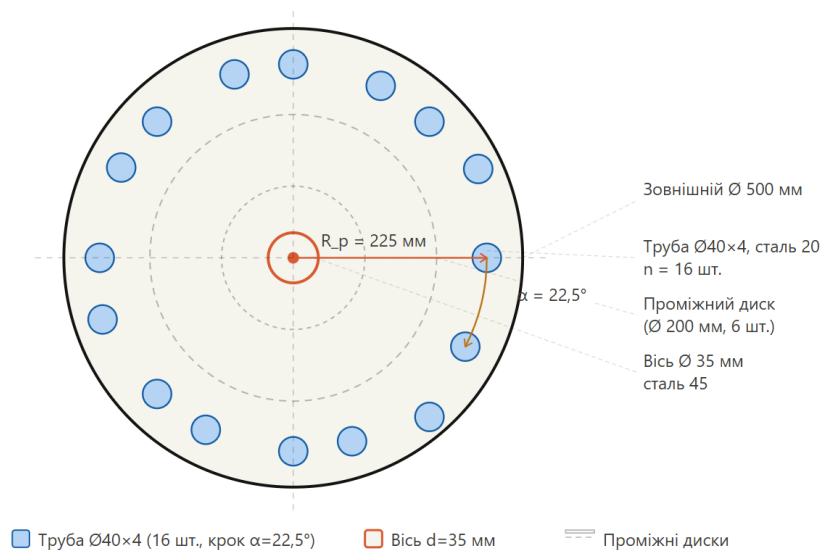


Рис. 4.3. Параметри трубчастого котка

Кут конструктивного зміщення (спіральна навивка) для трубчастого котка складає 10° , для планчастого – 8° . Таке зміщення забезпечує послідовний (не одночасний) вхід елементів у контакт з ґрунтом, що знижує пікові навантаження та вібрацію.

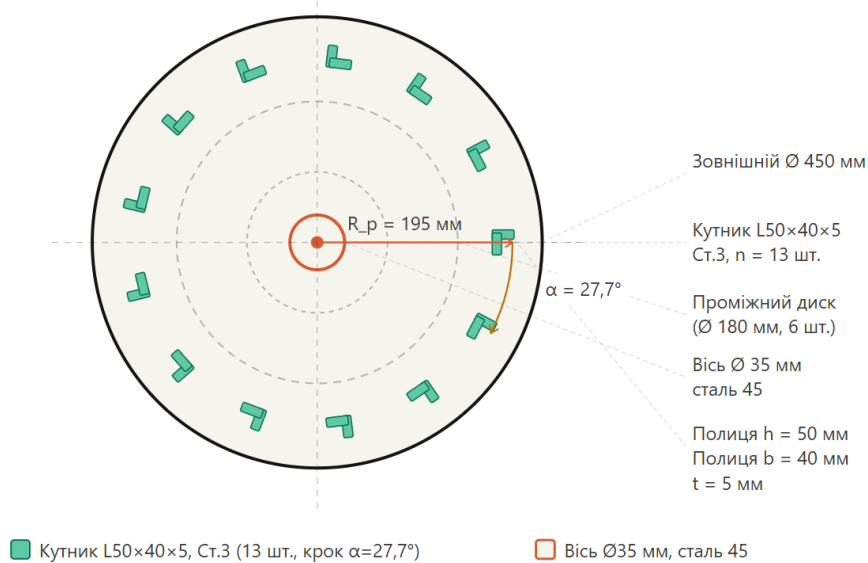


Рис. 4.4. Параметри планчастого котка

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

Для кожного типу котка визначаємо середній радіус розміщення осей робочих елементів – відстань від геометричної осі котка до осі труби або до середини поперечного перерізу планки:

$$R_p = R_k - r_e - \delta,$$

де R_k – зовнішній радіус котка, мм;

r_e – радіус поперечного перерізу елемента: для труби $\varnothing 40 \rightarrow r_e = 20$ мм;
для кутника L50 $\rightarrow r_e = h/2 = 25$ мм;

δ – монтажний зазор між зовнішнім краєм елемента і кінцевим діаметром котка ($\delta = 5$ мм).

Для трубчастого котка ($D_{mp} = 500$ мм, $R_k = 250$ мм):

$$R_{p.mp} = 250 - 20 - 5 = 225 \text{ мм};$$

для планчастого котка ($D_{nl} = 450$ мм, $R_k = 225$ мм):

$$R_{p.nl} = 225 - 25 - 5 = 195 \text{ мм}.$$

Фізична відстань між осями суміжних елементів по дузі кола розміщення визначає якість подрібнення ґрунту – при занадто великому кроці між слідами залишаються необроблені смуги, при малому – знаряддя перевантажується:

$$t_{km} = 2\pi \cdot R_p \cdot \alpha / 360^\circ,$$

де t_{km} – крок між суміжними елементами по дузі кола розміщення, мм;

$$t_{km.mp} = 2\pi \cdot 225 \cdot 22,5^\circ / 360^\circ = 88,4 \text{ мм},$$

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

$$t_{\text{кт.пл}} = 2\pi \cdot 195 \cdot 27,7^\circ / 360^\circ = 94,2 \text{ мм.}$$

Отримані значення кроку (88...94 мм) є агрономічно обґрунтованими, оскільки вони забезпечують суцільний обробіток поверхні після проходу котка без утворення необроблених смуг.

Вага агрегату, що передається через котки на ґрунт, залежить від конструктивного розподілу маси між несучою рамою, чизельними лапами та секцією котків. Частка маси агрегату, яка навантажує котки, складає $k_{\text{кт}} = 0,35$ від загальної, тоді:

$$G_{\text{кт}} = k_{\text{кт}} \cdot G_{\text{чз}} \cdot g,$$

де $G_{\text{кт}}$ – сукупне статичне навантаження на обидва котки тандему, Н;

$G_{\text{чз}}$ – загальна маса агрегату, кг;

$$G_{\text{кт}} = 0,35 \cdot 1800 \cdot 9,81 = 6180 \text{ Н} = 6,18 \text{ кН.}$$

Оскільки в тандемній секції два котки несуть рівне навантаження, на один коток припадає:

$$G_{\text{тр}} = G_{\text{пл}} = G_{\text{кт}} / 2 = 6180 / 2 = 3090 \text{ Н} = 3,09 \text{ кН.}$$

Відповідне розподілене навантаження вздовж осі котка:

$$q_{\text{ст}} = G_{\text{тр}} (G_{\text{пл}}) / L_{\text{к}},$$

де $L_{\text{к}}$ – довжина котків, м;

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

$$q_{ст} = 3090 / 3,0 = 1030 \text{ Н/м.}$$

У процесі польової роботи котки сприймають ударне навантаження від наїздів на ущільнені брили, кореневища та нерівності ґрунту. Для врахування цих динамічних ефектів у розрахунках застосуємо коефіцієнт динамічності $k_{дин}$, що відображає перевищення пікового навантаження над статичним (рис. 4.5):

$$G_{розр} = G_1 \cdot k_{дин},$$

де $G_{розр}$ – розрахункове динамічне навантаження на один коток, Н;

G_1 – статичне навантаження на один коток, Н;

$k_{дин}$ – коефіцієнт динамічності для котків сільськогосподарських машин; за нормами $k_{дин} = 1,3 \dots 1,4$; приймаємо $k_{дин} = 1,35$;

$$G_{розр} = 3090 \cdot 1,35 = 4172 \text{ Н.}$$

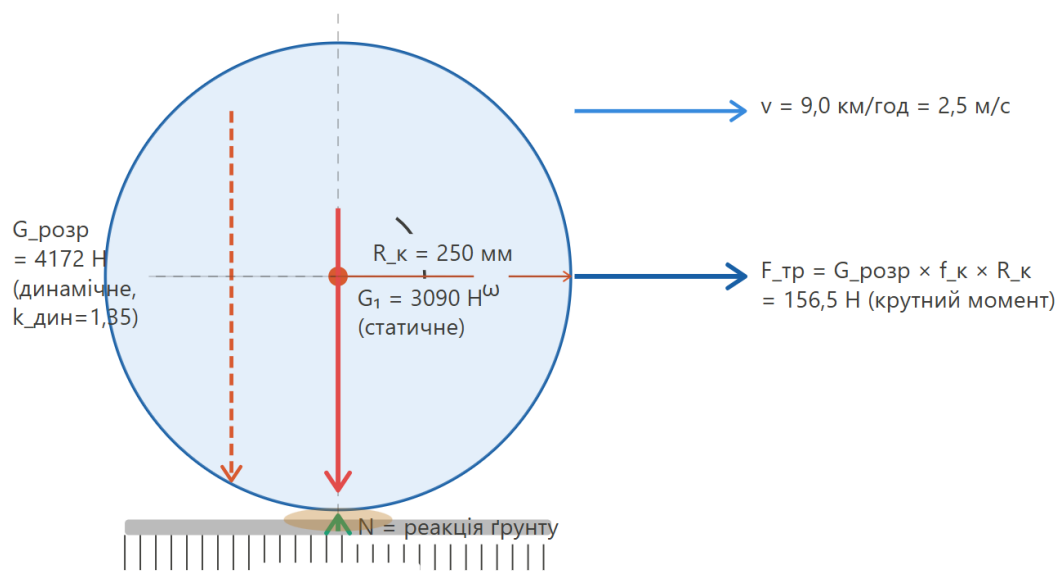


Рис. 4.5. Силова схема навантаження котка

Розрахункове розподілене навантаження по осі:

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

$$q_p = G_{розр} / L_k = 4172 / 3,0 = 1391 \text{ Н/м.}$$

4.3. Розрахунок осі котка на міцність і жорсткість

Вісь котка є центральним силовим елементом конструкції, що передає всі зовнішні навантаження на раму агрегату через підшипникові вузли-маточини. За розрахункову модель прийнято нерозрізну балку на чотирьох шарнірних опорах з рівномірно розподіленим навантаженням (рис. 4.6) [18].

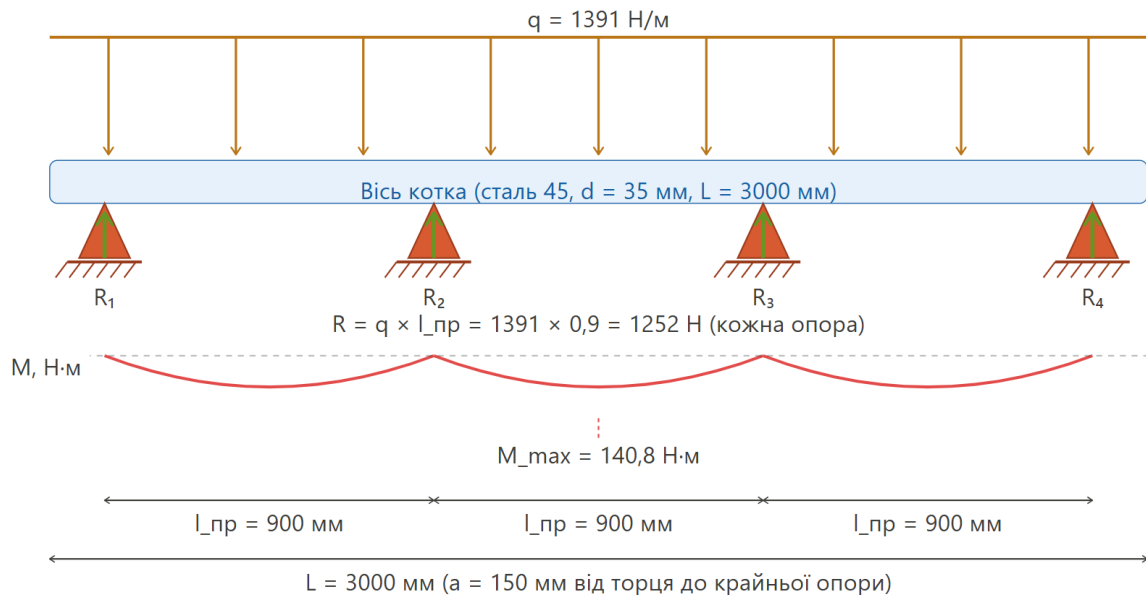


Рис. 4.6. Розрахункова схема осі котка

Чотири підшипникових вузли розміщені уздовж осі: два крайніх на відстані 150 мм від торців, два проміжних – рівномірно в межах між крайніми. Прогін між сусідніми опорами [18]:

$$l_{пр} = (L_k - 2 \cdot a) / (n_{он} - 1),$$

де a – відстань від торця осі до крайнього підшипникового вузла, $a = 0,15$ м;

$n_{он}$ – кількість підшипникових вузлів на осі, $n_{он} = 4$ шт.

$$l_{пр} = (3,0 - 2 \cdot 0,15) / (4 - 1) = 0,900 \text{ м.}$$

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

Для нерозрізної балки на рівновіддалених опорах з рівномірним навантаженням максимальний згинальний момент виникає в прольоті і може бути визначений за спрощеною формулою для однопрольотної балки (консервативна оцінка) [18]:

$$M_{\max} = q_p \cdot l_{np}^2 / 8,$$

$$M_{\max} = 1391 \cdot (0,900)^2 / 8 = 140,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Крутний момент у осі котка формується внаслідок різниці тягових сил при нерівномірному контакті котка з ґрунтом та тертя в підшипниках. Його розрахункове значення визначається через силу тертя кочення [18]:

$$T_{кр} = G_{розр} \cdot f_k \cdot R_k,$$

де f_k – коефіцієнт опору кочення котка по розпушеному ґрунту (нормативне значення $f_k = 0,12 \dots 0,18$; приймаємо $f_k = 0,15$);

$$T_{кр} = 4172 \cdot 0,15 \cdot 0,250 = 156,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Вісь котка одночасно перебуває під дією двох видів навантаження – вигину та кручення. Для визначення необхідного діаметру перерізу зводимо їх до єдиного еквівалентного моменту за третьою (енергетичною) теорією міцності [18]:

$$M_{екв} = \sqrt{M_{\max}^2 + T_{кр}^2},$$

де $M_{екв}$ – еквівалентний (приведений) момент для сумісного вигину та кручення, Н·м;

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

$M_{\max}$ – максимальний згинальний момент, Н·м;

$T_{кр}$ – крутний момент, Н·м;

$$M_{екв} = \sqrt{(140,8^2 + 156,5^2)} = 210,5 \text{ Н·м.}$$

Мінімально необхідний діаметр суцільного круглого перерізу осі визначається з умови міцності [18]:

$$d_{min} = \sqrt[3]{(32 \cdot M_{екв} / (\pi \cdot [\sigma]))},$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження на вигин для сталі 45 при змінному навантаженні, $[\sigma] = 80 \text{ МПа}$;

$$d_{min} = \sqrt[3]{(32 \cdot 210,5 / (3,14 \cdot 80 \cdot 10^6))} = 29,9 \text{ мм.}$$

Розрахований мінімальний діаметр 29,9 мм округляємо до найближчого стандартного значення, що відповідає стандартному ряду посадкових діаметрів підшипників [18]. Приймаємо $d_{ст} = 35 \text{ мм}$ – діаметр під посадку підшипника 6207. Перевіряємо фактичне напруження:

$$\sigma_{\phi} = 32 \cdot M_{екв} / (\pi \cdot d_{ст}^3),$$

$$\sigma_{\phi} = 32 \cdot 210,5 / (3,14 \cdot 0,035^3) = 50,0 \text{ МПа.}$$

$\sigma_{\phi} = 50,0 \text{ МПа} < [\sigma] = 80 \text{ МПа}$ – умова міцності виконана з запасом

$$n_z = 80/50 = 1,60.$$

Надмірна пружна деформація (прогин) осі знижує рівномірність притискання котка по всій довжині та спричиняє нерівномірне зношування підшипників. Фактичний прогин у середині прольоту:

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

$$f = 5 \cdot q_p \cdot l_{np}^4 / (384 \cdot E_{IO} \cdot I),$$

де E_{IO} – модуль пружності першого роду (для сталі $E_{IO} = 206000 \text{ МПа} = 206 \times 10^9 \text{ Па}$ [18]);

I – осьовий момент інерції поперечного перерізу осі, м^4 .

Момент інерції суцільного круглого перерізу [18]:

$$I = \pi \cdot d_{cm}^4 / 64 = 3,14 \cdot (0,035)^4 / 64 = 7,366 \times 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$f = 5 \cdot 1391 \cdot (0,900)^4 / (384 \cdot 206 \cdot 10^9 \cdot 7,366 \cdot 10^{-8}) = 0,783 \text{ мм.}$$

Допустимий прогин для осей котків:

$$[f] = l_{np} / 500 = 900 / 500 = 1,80 \text{ мм.}$$

$f = 0,783 \text{ мм} < [f] = 1,80 \text{ мм}$ – умова жорсткості виконана, запас жорсткості $k_{жс} = 1,80 / 0,783 = 2,30$.

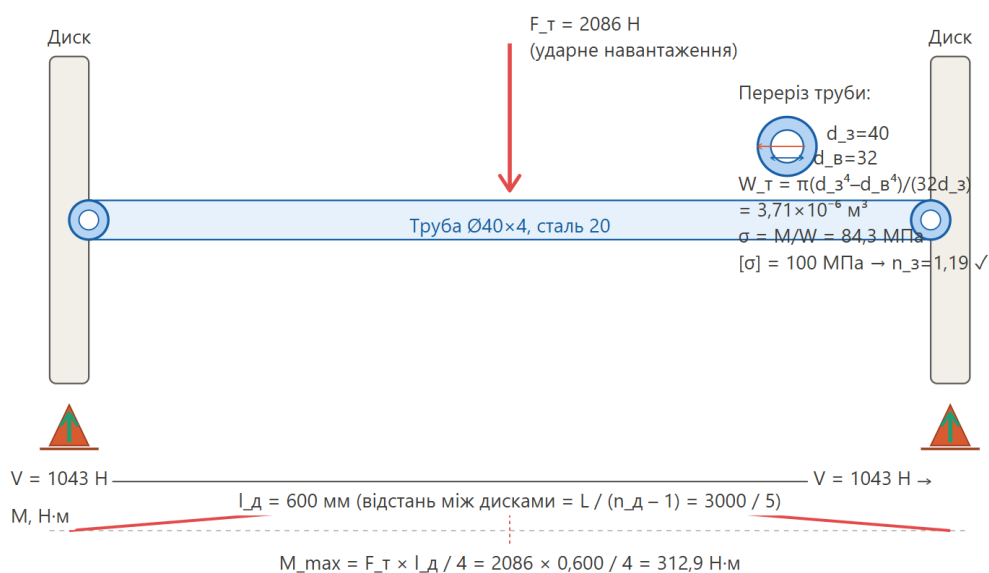


Рис. 4.7. Розрахункова схема труби між дисками – вигин від ударного навантаження

Висновки по розділу

За результатами виконаних інженерних розрахунків підтверджено конструктивну обґрунтованість усіх силових елементів тандемної секції котків чизельного агрегату.

Вісь котка з суцільного прутку діаметром 35 мм зі сталі 45 задовольняє умовам міцності (запас 1,60) і жорсткості (запас 2,30). Чотириопорна схема підшипникових вузлів забезпечує раціональний розподіл навантаження по довжині осі та мінімізує прогин.

Труби $\varnothing 40 \times 4$ мм зі сталі 20 є конструктивно обґрунтованим вибором для трубчастого котка – запас міцності 1,19 при допустимому напруженні 100 МПа. Зменшення товщини стінки до 3 мм є неприпустимим, оскільки призводить до перевищення допустимих напружень.

Кутники $L50 \times 40 \times 5$ мм (Ст.3) планчастого котка задовольняють умові міцності із запасом 1,49. Обраний профіль є оптимальним за співвідношенням маси до несучої здатності.

Підшипник 6207 ($d = 35$ мм, $C_{nd} = 25500$ Н) є конструктивно правильним вибором – фактичне навантаження складає лише 3,5 % від динамічної вантажопідйомності. Визначальним фактором довговічності підшипникових вузлів є надійний захист від забруднення абразивними частинками ґрунту.

Зварні шви кріплення труб до дисків (катет 5 мм, електрод Е42) мають значний запас міцності за статичними критеріями ($n_{st} = 42,6$), що є прийнятним у контексті вібраційного та ударного характеру робочих навантажень.

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

5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Безпека при роботі з глибокорозпушувачем (чизелем) обумовлена високою енергонасиченістю процесу та значними габаритами обладнання. Для мінімізації ризиків травматизму та аварійних ситуацій встановлюються наступні вимоги.

Контроль з'єднань – перед кожним виїздом необхідно перевіряти стан пальців триточкової навіски та надійність шплінтування. Враховуючи значну вагу чизеля, особливу увагу слід приділити відсутності тріщин у зварних швах рами та кронштейнів котків.

При використанні гідравлічного способу регулювання глибини, перевірка герметичності рукавів високого тиску є обов'язковою. Навіть мікротріщини під тиском можуть призвести до травмування оператора.

Регулювання глибини за допомогою опорних коліс 2 або заміна зношених долот чизельних лап 3 має проводитися виключно при заглушеному двигуні трактора та встановленні агрегата на надійні підставки (упори). Категорично заборонено перебувати під піднятим агрегатом, що утримується лише гідравлікою.

Очищення трубчастих та планчастих котків від випадкових сторонніх предметів або залишків дроту слід виконувати тільки за допомогою спеціальних скребків або металевих гаків після повної зупинки агрегата.

Під час роботи агрегата перебування сторонніх осіб ближче ніж за 15 метрів заборонено. При заглибленні лап на 35...60 см можливе викидання каміння або інших твердих предметів з-під ґрунту.

Робоча швидкість повинна відповідати рельєфу поля. Наявність прихованих перешкод (велике каміння, коріння дерев) при значній глибині обробітку може призвести до різкої зупинки агрегата, що створює ризик травмування водія об органи керування.

При транспортуванні дорогами загального користування агрегат має бути оснащений світловідбивачами та знаками «Великогабаритний вантаж».

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

6. ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

У ході виконання роботи проведено комплексне дослідження технологічних та конструктивних аспектів вирощування сої з акцентом на впровадження енергоощадного безвідвального обробітку ґрунту. На основі отриманих результатів зроблено такі висновки.

Сучасні кліматичні виклики та ризики деградації чорноземів вимагають відмови від традиційної оранки на користь чизельного розпушування. Встановлено, що для сої, як вологолюбної та технологічно чутливої культури, перехід на безполицевий обробіток є ключовим фактором збереження ґрунтової структури та акумуляції дефіцитної вологи.

Виконані розрахунки для масиву площею 200 га підтвердили високу експлуатаційну ефективність чизельного агрегату з шириною захвату 3,0 м. Шахове розміщення 7 лап у два ряди (схема 3+4) із кроком 0,5 м гарантує суцільне розпушування без утворення «огріхів».

Встановлено, що загальний опір знаряддя (10,0 кН) складає лише 17,5% від тягової потужності трактора класу 220 к.с. Це вказує на значний енергетичний резерв та можливість використання менш потужних тракторів (80–100 к.с.), що дозволить додатково знизити собівартість робіт. Змінна продуктивність на рівні 16,34 га та питома витрата пального 7,06 л/га є оптимальними для глибокого обробітку. Використання човникового способу руху (коефіцієнт робочих ходів 0,95) дозволяє завершити цикл обробітку одним агрегатом за 7 діб, що повністю відповідає агротехнічним вимогам.

Інженерний аналіз тандемної секції котків підтвердив міцність та доцільність обраних матеріалів. Опорна схема осей (Сталь 45, діаметр 35 мм) забезпечує запас міцності 1,60 та жорсткості 2,30, що нівелює ризики деформації при роботі на важких ґрунтах.

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

Підтверджено параметри трубчастого котка ($\varnothing 40 \times 4$ мм) та планчастого (кутник $L50 \times 40 \times 5$ мм). Розрахунково доведено, що товщина стінки труби менше 4 мм є критичною та призводить до руйнування конструкції.

Враховуючи високу енергонасиченість агрегата, експлуатація розробленого чизеля потребує суворого дотримання протоколів безпеки, зокрема щодо надійності гідравлічних з'єднань та дотримання безпечної дистанції при роботі на великих глибинах (35...60 см).

Запропонована модернізація чизельного агрегату є технічно досконалою та економічно виправданою відповіддю на сучасні вимоги інтенсивного землеробства при вирощуванні сої в Україні.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шепілова, Т. П., Петренко, Д. І., Лещенко, С. М., Васильковська, К. В., & Ковальов, М. М. (2023). Науково обґрунтована оптимізація агротехніки вирощування сої. *Scientific Progress & Innovations*, 26(2), 56-59. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.02.10>.
2. Шепілова, Т. П., Петренко, Д. І., Лещенко, С. М., Васильковська, К. В., & Андрейченко, О. Г. (2025). Вплив стимуляторів росту на продуктивність сої в умовах Північного Степу України. *Scientific Progress & Innovations*, 28(1), 11–14. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.02>.
3. Shepilova, T., Petrenko, D., Skrynnik, I., Karpushyn, S., & Leshchenko, S. (2020). Soybean productivity depending on fertilizers in the northern steppe of Ukraine. *Research on Crops*, 21 (1), 65–69. DOI: 10.31830/2348-7542.2020.010.
4. Вожегова Р. А., Найдьонова В. О., Воронюк Л. А. Продуктивність сої за різних способів основного обробітку ґрунту та доз внесення добрив при зрошенні. *Зрошуване землеробство*. 2016. Вип. 65. С. 20–22. URL: http://izpr.ks.ua/archive/2016/65/65_2016.pdf.
5. Дем'яненко, С. В., Іванов, І. І. (2019). Механізація технологічних процесів у рослинництві: сучасний стан та перспективи розвитку. *Технічні науки та технології*, (4), 18-25.
6. Планування ґрунтообробних процесів на основі моделювання : монографія. / А. Тригуба та ін. Варшава, 2020. 138 с.
7. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. К.: Аграрна освіта, 2010. 617 с.
8. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Васильковський О.М., Мельніченко В. Дослідження впливу параметрів глибокорозпушувача та комбінації робочих органів на ефективність обробітку ґрунту. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. –

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

Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 53. 2023. С. 196-208. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2023.53.196-208>.

9. Машина для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / Сало В.М. та ін. Х.: Мачулін, 2016. 244 с.
10. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології : підручник. Ч. 1. Рослинництво / С. М. Каленська [та ін.]. К. : Прінтеко, 2023. 611 с.
- 11.Кобець А.С., Волик Б.А., Пугач А.М. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія . Дніпропетровськ : Вид-во «Свидлер А.Л.», 2011. 140 с.
12. Патент України (на 20 р.) № 124705; МПК (2006): А01В 13/14 (2006.01), А01В 37/00, А01В 77/00, А01В 79/00. Чизельний робочий орган з активним долотом / Сало Василь Михайлович (UA); Лещенко Сергій Миколайович (UA); Петренко Дмитро Іванович (UA); Мачок Юрій Вікторович (UA); Кислун Олег Андрійович (UA). Власник: Центральнуукраїнський національний технічний університет. – № а201901824, заявл. 22.02.2019; опубл. 03.11.2021, бюл. № 44/2021.
13. Пат. 161012 Україна, МПК А01В 13/00, А01В 37/00, А01В 79/00. Комбінований чизельний глибокорозпушувач / Сало В. М., Лещенко С. М., Васильковський О. М., Петренко Д. І., Мельніченко В. А., Басистий Р. В. ; заявник і власник Центральнуукраїнський національний технічний університет. – № u202502060 ; заявл. 02.05.2025 ; опубл. 29.10.2025, Бюл. № 44.
14. Лещенко С.М., Сало В.М., Васильковський О.М., Петренко Д.І. Визначення параметрів та ефективність роботи додаткових робочих органів глибокорозпушувачів // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація

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

сільськогосподарських машин. 2022. Вип. 52. С. 108-117.
<https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.108-117>.

15. Теорія і розрахунки параметрів процесів і робочих органів сільськогосподарських машин: Практикум. Морозов І.В., Бакум М.В., Пастухов В.І., Горбатовський О.М., Кириченко Р.В., Козій О.Б., Леонов В.П., Нікітін С.П.; за редакцією проф. І.В. Морозова. Харків: ХНТУСГ, 2011.
16. Аналітичне обґрунтування основних параметрів комбінованого чизельного глибокорозпушувача / С. М. Лещенко, В. М. Сало, Д. І. Петренко, В. А. Мельніченко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кропивницький: ЦНТУ. Вип. 55. 2025. С. 225-237. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.225-237>.
17. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга. 2008. 450 с.
18. Деталі машин. Розрахунок та конструювання [Текст] : підручник / Г. В. Архангельський, М. С. Воробйов, В. С. Гапонов [та ін.]. Київ : Талком, 2014. 684 с.
19. Охорона праці у сільському господарстві. – ТОВ «ТЕХ МЕДІА ГРУП», 2019 р. URL: https://techmedia.com.ua/sites/default/files/online_version/ECO_SX/files/assets/basic-html/toc.html.

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