

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:**

«Вдосконалення щілиноріза з розробкою лапи-наповнювача»

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

ОПП «Галузеве машинобудування»

спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

_____Горбулін Ігор Олександрович

« ____ » _____ 2026 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____Сергій ЛЕЩЕНКО

« ____ » _____ 2026 р.

Рецензент

доцент, доктор техн. наук

_____Володимир ЯЦУН

« ____ » _____ 2026 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет Агротехнічний
Кафедра Сільськогосподарського машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Освітньо-професійна програма «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«___» _____ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Горбуліну Ігорю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Вдосконалення щілиноріза з розробкою лапи-
наповнювача

2. Керівник роботи (проекту) Лещенко Сергій Миколайович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 16.06.2026 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи (проекту) _____

5. Перелік графічного матеріалу _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1-4	Лещенко С.М.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Виконання розділів 1, 2		
	Графічна частина арк. 1	21.04.2026 р.	
2	Виконання розділу 3		
	Графічна частина арк. 2	20.05.2026 р.	
3	Виконання розділу 4		
	Графічна частина арк. 3	02.06.2026 р.	
4	Оформлення пояснювальної записки,		
	графічної частини, підготовка до захисту.	16.06.2026 р.	

Дата видачі завдання
«04» лютого 2026 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання
«___» _____ 2026 р.

Підпис здобувача _____ (прізвище та ініціали)

Анотація

**Тема: «Вдосконалення щілиноріза з розробкою лапи-наповнювача»
щілиноріз-наповнювач, лапа-наповнювач, вертикальне мульчування, двоножова схема,
гвинтова стяжка, роторний подрібнювач, водопоглинаюча щілина**

У кваліфікаційній роботі розв'язано актуальне інженерно-прикладне завдання підвищення ефективності вологозберігаючого та протиерозійного обробітку ґрунту шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5. Проведено аналіз відомих конструкцій машин для нарізання і мульчування водопоглинаючих щілин. Встановлено основні недоліки базового знаряддя, серед яких низька продуктивність однолапкової схеми та схильність до забивання міжвідвального простору і зависання соломи в існуючому важільно-пружинному механізмі регулювання.

На основі теоретичних та інженерних розрахунків обґрунтовано модернізацію щілиноріза через перехід на симетричну двоножову схему розстановки робочих органів та встановлення роздвоєного дефлектора для рівномірної пневматичної подачі мульчі одночасно у два канали. Запропоновано компакту конструкцію лапи з гвинтовою стяжкою, яка звільняє простір від внутрішніх перешкод, усуває зони застійного тертя рослинної маси та забезпечує рівномірну об'ємну густину мульчування 200 кг/м^3 . За допомогою математичного моделювання динаміки руху скиби ґрунту по долоту за другим законом Ньютона визначено оптимальний кут його установки $\beta_d = 35^\circ$, що мінімізує питомий опір знаряддя та реалізує ефект самоочищення леза. Обґрунтовано тупий кут стійки $\beta = 105^\circ$, який запобігає вертикальному спученню верхнього шару агрофону.

Проведено силовий та комплексний енергетичний розрахунок оновленого широкозахватного агрегату в поздовжньо-вертикальній площині. Визначено конструктивні та швидкісні режими роботи активного ротора-подрібнювача для формування стабільного аеродинамічного напору повітря. Результати інженерних розрахунків підтвердили, що сумарна споживана потужність агрегату становить $69,73 \text{ кВт}$, що відповідає оптимальному коефіцієнту завантаження двигуна трактора Т-150К на рівні $0,63$ із забезпеченням 37% запасу потужності. Модернізоване технічне рішення гарантує пролонговану дію водовбирних каналів упродовж 3–4 років.

Abstract

**Topic: «Improvement of a Subsoiler-Slotter with the Development of a Filler Share»
subsoiler-filler, filler share, vertical mulching, dual-knife layout, screw tie-rod, rotary chopper,
water-absorbing slot**

This qualification paper addresses a highly relevant engineering and applied problem of increasing the efficiency of moisture-conserving and anti-erosion tillage. This is achieved by improving the design and substantiating the rational parameters of the SZN-1.5 subsoiler-filler. An analysis of existing machinery designs for cutting and mulching water-absorbing slots was conducted. The main disadvantages of the base implement were identified, including the low productivity of the single-share layout and its susceptibility to clogging within the moldboard space, as well as straw bridging in the existing lever-spring adjustment mechanism.

Based on theoretical and engineering calculations, the modernization of the subsoiler is substantiated through the transition to a symmetrical dual-knife layout of the working tools and the installation of a split deflector for uniform pneumatic feeding of mulch simultaneously into two channels. A compact share design featuring a screw tie-rod is proposed, which frees the internal space from obstacles, eliminates stagnant friction zones of the plant mass, and ensures a uniform bulk density of mulching at 200 kg/m^3 . By means of mathematical modeling of the soil slice dynamics along the chisel using Newton's second law, the optimal installation angle of the chisel was determined ($\beta_d = 35^\circ$). This minimizes the specific draft resistance of the implement and enables the self-cleaning effect of the blade. Furthermore, an obtuse shank angle ($\beta = 105^\circ$) was substantiated, which prevents the vertical heaving of the topsoil layer.

Power and complex energy calculations of the updated wide-coverage unit were performed in the longitudinal-vertical plane. The structural and speed operating modes of the active rotary chopper were determined to form a stable aerodynamic air pressure. The engineering calculation results confirmed that the total power consumption of the unit is 69.73 kW . This corresponds to an optimal engine load factor of 0.63 for the T-150K tractor, ensuring a 37% power reserve. The modernized technical solution guarantees a prolonged functionality of the water-absorbing slots for 3–4 years.

ЗМІСТ

1. Вступ.....	6
2. Стан питання про щілювання ґрунту та пропозиції по вдосконаленню конструкції щілиноріза-наповнювача	8
3. Конструкторська частина	19
4. Висновок	37
Список використаної літератури	39
Додатки.....	42

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ВСТУП

Продовольча безпека України значною мірою залежить від стану та родючості сільськогосподарських угідь. Одним із головних факторів збереження й відновлення родючості ґрунту є правильно організоване вологонакопичення та регулювання водно-повітряного режиму ґрунтового середовища. У зонах недостатнього зволоження, до яких належить більша частина степової та лісостепової зон України, щілювання ґрунту залишається одним із найефективніших агротехнічних прийомів, що сприяє затриманню атмосферних опадів і накопиченню снігової вологи у кореневмісному шарі.

Щілювання здійснюється спеціальними машинами – щілинорізами, які нарізають у ґрунті вертикальні щілини на глибину від 0,4 до 0,6 м. Проте класичні конструкції щілинорізів мають суттєвий недолік, а саме – після проходу робочого органу щілина залишається відкритою і за відносно короткий час засипається ґрунтом, особливо за умов вітрової ерозії або дощів. Це значно скорочує тривалість ефективної роботи щілини та знижує загальну результативність зазначеного агрозаходу.

Вирішенням цієї проблеми є застосування лапи-наповнювача – додаткового робочого органу, що встановлюється на щілинорізі та вносить у щілину подрібнені рослинні рештки, соломі або інші органічні матеріали. Такий підхід дозволяє зберегти щілину від засипання впродовж усього вегетаційного сезону, одночасно збагачуючи ґрунт органічними речовинами та підвищуючи його біологічну активність.

Не зважаючи на перспективність цього технічного рішення, існуючі конструкції лап-наповнювачів мають ряд недоліків, серед яких нерівномірність подачі матеріалу, підвищений тяговий опір агрегату, недостатня надійність роботи в умовах засміченості ґрунту рослинними рештками. Тому вдосконалення конструкції щілиноріза з розробкою

					ВЩЛН 00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Горбулін				Пояснювальна записка		
Перевір.	Леценко						
Реценз.							
Н. Контр.	Мачок						
Затверд.	Васильковський						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						6	
					ЦНТУ, гр. ГМ-22-1		

ефективної лапи-наповнювача є актуальним інженерним завданням, що має практичне значення для сільськогосподарського виробництва.

Мета кваліфікаційної роботи – вдосконалення конструкції щілиноріза шляхом розробки лапи-наповнювача, що забезпечує рівномірне і безперервне внесення органічного матеріалу у нарізану щілину при мінімальному тяговому опорі й надійній роботі агрегату в різних ґрунтово-кліматичних умовах України.

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз існуючих конструкцій щілинорізів та лап-наповнювачів, їх переваг і недоліків;
- обґрунтування і вибір раціональних конструктивних параметрів вдосконаленої лапи-наповнювача;
- розробка конструкції вдосконаленого щілиноріза з лапою-наповнювачем;
- виконання конструкторських розрахунків основних вузлів і деталей розробленого знаряддя;
- розробка конструкторської документації відповідно до вимог ЄСКД.

Практична значущість роботи полягає в тому, що запропоноване конструктивне рішення дозволяє підвищити ефективність щілювання ґрунту, продовжити термін збереження щілин від засипання та поліпшити водно-фізичні властивості ґрунту без суттєвого збільшення енерговитрат на виконання технологічного процесу обробітку ґрунту.

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

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО ЩІЛЮВАННЯ ҐРУНТУ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ПО ВДОСКОНАЛЕННЮ КОНСТРУКЦІЇ ЩІЛИНОРІЗА- НАПОВНЮВАЧА

2.1. Загальна характеристика проблеми водної та вітрової ерозії ґрунтів України

Ерозія ґрунтів залишається однією з найгостріших агроекологічних проблем вітчизняного сільського господарства. За результатами досліджень, опублікованих у 2024–2025 роках, понад 40% орних земель України перебувають у стані деградації: водна ерозія охоплює 25–30% площ (передусім у північних і західних регіонах), вітрова – 10–15% (переважно в степовій зоні), а втрати гумусу зафіксовані на 35% угідь, насамперед у центральній частині країни. Щорічні втрати верхнього родючого горизонту внаслідок поверхневого стоку становлять, за різними оцінками, від 2 до 15 т/га, а сукупні економічні збитки від ерозії лише у посушливих регіонах сягають мільярдів гривень на рік.

У системі сучасного ґрунтозахисного землеробства особливу роль відіграє регулювання поверхневого стоку – як сніготалих, так і дощових вод. Класичні агротехнічні заходи (безвідвальний обробіток, посів поперек схилу, контурне землеробство) дають позитивний ефект, однак не завжди здатні повністю нейтралізувати небезпеку змиву на схилах середньої та великої крутості. За цих умов технологія щілювання – нарізання вертикальних водовбираючих щілин у ґрунті – є одним із найбільш ефективних і агрономічно обґрунтованих прийомів. Особливо перспективним вважається поєднання щілювання з вертикальним мульчуванням, тобто заповненням щілин органічними рослинними матеріалами, яке забезпечує не лише механічне затримання стоку, але й поліпшення водно-фізичних властивостей ґрунту в зоні щілини протягом кількох років.

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

2.2. Наукове підґрунтя технології щілювання

Теоретичне й експериментальне обґрунтування щілювання як агротехнічного прийому розпочалося в середині ХХ ст. Значний внесок у розробку агрономічних і технічних основ цього прийому зробили вчені В.Н. Вологін, М.М. Ломакін, Н.І. Картамишев, Г.П. Кузьмін, Ю.Ф. Курдюмов, В.В. Мальцев та ін. У США вагомий внесок у вивчення вертикального мульчування здійснили G.M. Spain, G.B. Liljedahl та D. McCan (Університет Purdue, штат Індіана), які запропонували нарізати V-подібні щілини глибиною $\sim 0,5$ м і шириною 0,076–0,152 м та заповнювати їх подрібненими поживними рештками для підвищення водопроникності ґрунтів з ілювіальним горизонтом. Ряд дослідників із Каліфорнійського університету рекомендували вертикальне мульчування посівів люцерни на глибину 0,508 м із відстанню між щілинами 1,524 м.

Систематичні дослідження щілювання в умовах України показали, що цей прийом є виправданим у різних ґрунтово-кліматичних зонах. Зокрема, за даними П.І. Аксьонова, щілювання середньо- і важкосуглинистих карбонатних чорноземів навесні по зябу поперек схилу на глибину до 15 см із відстанню між щілинами 2,0–2,5 м у середньому за два роки зменшило поверхневий стік на 15–25%, забезпечило додаткове накопичення в ґрунті до 400 м³/га води і збільшило врожайність зернових на 4,4 ц/га. Досліди на схилах крутизною 1,5–2° з щілюванням на глибину 40–45 см продемонстрували зниження коефіцієнта поверхневого стоку у вісім разів порівняно з нещільованим зябом і у чотири рази – порівняно з нещільованим стерньовим фоном, а врожайність ячменю зросла на 6 ц/га.

В умовах зрошуваного землеробства Миколаївської області щілювання південного солонцюватого чорнозему важкого механічного складу на глибину 55–60 см із відстанню між щілинами 90–100 см у середньому за п'ять років збільшило загальний запас води до посіву соняшнику і ріпаци на 370–430 м³/га, а врожайність насіння – відповідно на 4,0 і 5,7 ц/га. Щілювання

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

зябу в центральних і південних регіонах України за даними Г. О. Чернишова на глибину 22–25 см із кроком 50 см зменшило стік на 50–70%, змивання – на 30–40% і підвищило врожайність ярої пшениці на 1,5 ц/га.

2.3. Технологія вертикального мульчування ґрунту

Вертикальне мульчування – найбільш ефективний різновид щілювання, що передбачає нарізання щілин впоперек схилів із їх одночасним або послідовним заповненням органічними матеріалами: стернею, подрібненою соломою, тирсою, торфокрихтою тощо. За зарубіжними даними, рослинний матеріал, закладений у щілини, зберігається три-п'ять років, протягом яких щілини активно функціонують як водовбираючі канали. У процесі розкладання органіки в зоні щілини поліпшуються фізичні властивості ґрунту, посилюється діяльність ґрунтової біоти, зростає насиченість коренеактивного шару ходами дощових черв'яків.

Висока стокорегулювальна ефективність вертикального мульчування була підтверджена ще у 1983 р. дослідями Н.Ф. Гончарова з озимими культурами на типовому чорноземі. Навіть при відстані 40 м між щілинами, заповненими соломою, поверхневий стік у середньому за 4 роки був меншим на 40–60%; пролонгована дія щілин зберігалася впродовж 5 років. На Чернівецькій дослідній станції в перші роки ХХІ ст. при щілюванні зябу з заповненням соломою на глибину від 5–6 до 40–45 см у весняно-літній сезон середня величина змиву ґрунту при вертикальному мульчуванні в 21,7 рази менша, ніж на контрольних ділянках без обробітку, а водопроникність ґрунту зросла в п'ять разів. Водночас щільність ходів дощових черв'яків у стінках щілин із соломою виявилася у 2,6 рази вищою, ніж без мульчі.

Досвід науково-дослідних установ України свідчить про різноманіття технологічних підходів до вертикального мульчування. Технологія НДПВТ ім. Л. Погорілого передбачає нарізання щілин шириною 0,15 м і глибиною 0,4 м впоперек схилу через 2–6 м із одночасним заповненням торфокрихтою.

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

Наведена технологія ефективно затримує стік і підвищує врожайність зернових на 2–3 ц/га. Технологія ННЦІМЕСГ (м. Глеваха) передбачає нарізання щілини та запресовування неподрібненої соломи з валка диско-котком. Глибина мульчування в цьому випадку обмежена осипанням стінок щілини в процесі вдавлювання. Дослідження також показали, що «підвішене» положення соломи в щілині – з повітряним простором між дном і мульчею – знижує потребу в матеріалі в 1,5–2,0 рази, зменшує промерзання прилеглого ґрунту і дозволяє збільшити відстань між щілинами, а отже, знизити витрати на проведення операцій.

2.4. Технічне забезпечення щілювання. Огляд машин і агрегатів

2.4.1. Серійні щілинорізи без заповнення щілин

На сьогодні ринок сільськогосподарської техніки для щілювання ґрунту залишається доволі обмеженим. Серед серійних машин, які застосовуються в Україні та надходять від закордонних виробників, слід виділити наступні агрегати.

Щілювач-кротувач навісний ЩН-2-140 (рис. 1) призначений для щілювання ґрунту із одночасним кротуванням і утворенням мікровалків на поверхні поля висотою до 12 см. Машина складається із зварної рами, щілинорізів, дискових ножів і дреноерів. Ширина захвату агрегату складає 2,8 м, глибина щілин – до 43 см, відстань між щілинами – 1,4 м, робоча швидкість – 5,26–6,1 км/год, маса – 832 кг; агрегується з тракторами ДТ-75.

Щілиноріз-кротувач ЩН-5-40 (рис. 2) є навісною машиною, що призначена для щілювання лугів, сінокосів, посівів багаторічних трав і пасовищ. Агрегат ЩН-5-40 здатен формувати валки. Відмінною рисою є безступінчасте регулювання відстані між робочими органами в межах 0,9–3,6 м. Ширина захвату – 4,5–7,2 м, глибина – до 40 см, робоча швидкість – до 9 км/год, маса – 1400 кг; агрегується з тракторами класу 5, зокрема із трактором К-701.

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



Рис. 1. Загальний вигляд щілювача-кратувача ЩН-2-140

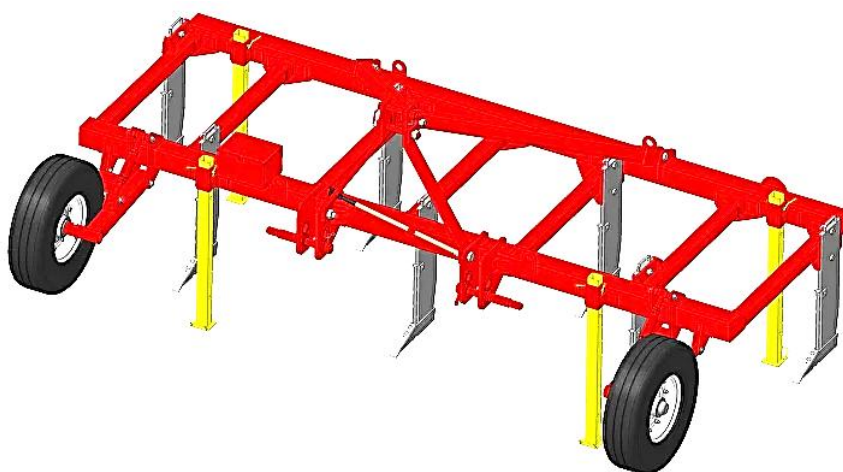


Рис. 2. Щілиноріз-кратувач ЩН-5-40

Плоскоріз-щілювач ПЩ-2 поєднує функції плоскоріза і щілювача. Вказаний агрегат застосовується в районах з недостатнім зволоженням і ризиком вітрової та водної ерозії. Агрегатується з тракторами тягового класу 3. Плоскоріз-щілювач ПЩ-5 (рис. 3) призначений для суцільного обробітку ґрунту з максимальним збереженням стерні й одночасним щілюванням; ширина захвату – 4,4 м, глибина щілин – 25–35 см, маса – 1410 кг, агрегатується з тракторами К-701.

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



Рис. 3. Плоскоріз-щілювач ПЩ-5

Порівняльна характеристика серійних машин для щілювання ґрунту зведена в таблицю 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика ґрунтообробних агрегатів для щілювання ґрунту

Марка	Продуктивність, га/год	Ширина захвату, м	Глибина щілин, см	Відстань між щілинами, м	Маса, кг
ЩН-2-140	1,58–1,84	2,8	до 43	1,4	832
ЩП-3-70	1,2–2,9	2,8	30–58,9	1,4	566
ЩН-5-40	4,05–6,48	4,5–7,2	до 40	0,9–3,6	1400
ПЩ-3	1,94–2,77	2,77	25–35	0,8	772
ПЩ-5	3,08–4,4	4,4	25–35	0,8	1410

Аналіз таблиці 1 підтверджує, що основні конструктивно-технологічні параметри щілинорізів змінюються в широких межах, і за їх некоректного підбору ефективність щілювання суттєво знижується. Спільним відомим недоліком усіх перелічених машин є відсутність системи заповнення щілин, адже неукріплені стінки щілин швидко руйнуються, що призводить до закриття каналу вже на другий-третій рік його використання.

2.4.2. Класифікація агрегатів для вертикального мульчування

На основі проведеного патентного аналізу всі агрегати для нарізання щілин із одночасним внесенням наповнювача поділяються на дві великі групи:

I. Одноопераційні агрегати – виконують лише нарізку щілини та її заповнення.

Тип 1: збирають наповнювач безпосередньо з поля (з попередньо подрібнених і розкиданих поживних залишків) за допомогою напрямників (пасивних: відвал, граблі; або активних: транспортер, ротор) і загортачів.

Тип 2: використовують заздалегідь приготований і завантажений у бункер наповнювач, який подається в щілину транспортером, вентилятором, ротором або самопливом. Перевагою таких агрегатів є більш рівномірне заповнення щілини по висоті. Однак є і характерний недолік – необхідність окремої заготівлі й транспортування наповнювача.

II. Комплексні агрегати, це агрегати, які за один прохід здійснюють нарізання щілин, внесення наповнювача й проводять додаткові операції (посів, коткування, внесення добрив та ін.). Вони більш продуктивні, але металомісні, складніші в технічному обслуговуванні, мають нижчий коефіцієнт готовності та вищу собівартість операцій.

Основним технологічним недоліком агрегатів типу 1 є зависання листостеблового матеріалу у верхній частині щілини через значні сили тертя об стінки або боковини щілиноріза, що призводить до забивання простору між боковинами й припинення процесу заповнення. Деякі конструкції передбачають попереднє стиснення соломи, але при нерівномірній подачі чи підвищеній вологості матеріалу відбувається заклинювання. Усі ці недоліки підтверджують перевагу пневматичного способу подачі наповнювача – за допомогою косарки-подрібнювача та спрямованого кожуха, – прийнятого за основу при розробці щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5.

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

2.4.3. Зарубіжний досвід

Закордонна практика вертикального мульчування ґрунтів значно різноманітніша, ніж вітчизняна. У США, Канаді та країнах ЄС набула поширення технологія Verti-Till (вертикальний обробіток ґрунту), яка проводиться за допомогою агрегатів із прямими дисками або чизельними лапами. Технологія Verti-Till забезпечує подрібнення й рівномірний розподіл пожнивних решток по поверхні поля без перевертання скиби, що сприяє збереженню вологи та захисту ґрунту від перегрівання і ерозії. Рекомендована глибина обробітку при цьому становить приблизно половину ширини міжряддя (наприклад, 17,5 см при відстані між робочими органами 35 см), а оптимальна робоча швидкість не перевищує 11–20 км/год.

Ряд проведених в цьому напрямку зарубіжних досліджень підтверджує, що застосування підґрунтового розпушення (subsoiling) у поєднанні зі щілюванням і зрошенням позитивно впливає на вміст вуглецю у ґрунті й водопродуктивність культур. У дослідях з озимою пшеницею на рівнині Північного Китаю (North China Plain) субсолінг поєднаний із зрошенням суттєво поліпшив вуглецеву емісію та загальну врожайність. Каліфорнійський університет пропонував нарізати щілини під посівами люцерни на глибину 0,508 м із міжщілинним інтервалом 1,524 м – параметри, які добре корелюють із розробками НДПВТ в нашій державі.

Серед виробників сільськогосподарської техніки для вертикального мульчування широко відомі французька компанія Kuhn (серія Verti-Till), американські Salford, Krause та ін. Агрегати цих виробників мають уніфіковані рами з регульованою відстанню між робочими органами, що дозволяє гнучко адаптувати параметри обробітку до дійсних умов роботи.

2.5. Особливості конструкції щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5

Щілиноріз-наповнювач ЩЗН-1,5 (рис. 4) є одним із нечисленних вітчизняних зразків техніки для вертикального мульчування ґрунту. Основу

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

машини складає несуча рама, на якій змонтовано ніж-щілиноріз із долотом для нарізання ґрунтової щілини; косарку-подрібнювач роторного типу (на базі КІР-1,5) для зрізання та подрібнення соломи чи сидератів; напрямний кожух (дефлектор) для пневматичної подачі подрібненого матеріалу безпосередньо в нарізану щілину; механізм регулювання ширини щілини; опорні колеса з регулятором глибини ходу. Машина агрегатується з трактором Т-150К і забезпечує робочу швидкість до 6,5 км/год при ширині захвату 1,5 м. Продуктивність базової моделі з одним ножом-щілинорізом становить приблизно 0,97 га/год.

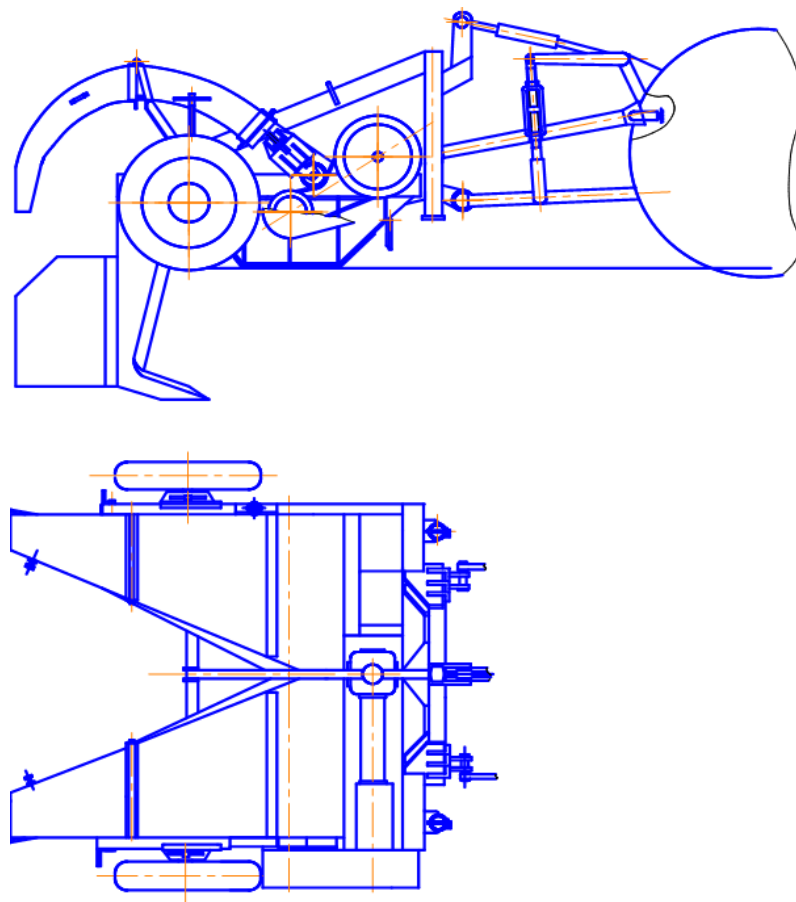


Рис. 4. Конструктивна схема щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5

Пневматичний принцип подачі наповнювача (за рахунок аеродинамічного потоку від ротора косарки) є принциповою перевагою ЩЗН-1,5 порівняно із механічними чи гравітаційними системами. Такий підхід є менш залежним від вологості соломи, забезпечує рівномірний розподіл матеріалу по всій глибині щілини та не потребує додаткових транспортерів та

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

механізмів тиску. Водночас результати технічного аналізу дозволяють відмітити, що конструкція ряду вузлів зазначеного агрегату потребує вдосконалення з ціллю підвищення надійності і стабільності технологічного процесу нарізання щілин та їх заповнення.

2.6. Аналіз основних недоліків щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5 та загальні напрямки вдосконалення конструкції

Не зважаючи на наведені переваги, щілиноріз-наповнювач ЩЗН-1,5 у базовому виконанні має низку суттєвих недоліків, які обмежують ефективність його застосування.

Основні недоліки базової конструкції щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5 наступні:

- низька продуктивність. Наявність лише одного ножа-щілиноріза і загальна ширина захвату 1,5 м зумовлюють низьку продуктивність на рівні 0,97 га/год, що є недостатнім для господарств зі значними площами орних угідь, що знаходяться на схилах;
- нестабільна врожайність і руйнування щілини на наступний рік її використання. Це факт спричинено нерівномірним заповненням щілини мульчуючим матеріалом внаслідок конструктивних недоліків механізму регулювання ширини щілини;
- складний і достатньо габаритний механізм регулювання ширини щілини. Базовий механізм складається з двох трикутних пластин, приварених до відвалів, що з'єднані між собою пружинами на регулювальній осі з двома болтами. Пружини займають практично весь простір між відвалами, куди по факту подається подрібнена солома. Наслідком такого займання простору є зависання соломи на пружинах і забивання проміжку між відвалами, що призводить до нерівномірного заповнення щілини по глибині;

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

- один дефлектор, розрахований на роботу із одним ножом. При спробах збільшення кількості щілинорізів до двох стандартний дефлектор не забезпечує рівномірної подачі матеріалу в обидві щілини.

Переваги базової конструкції є такими:

- пневматична (аеродинамічна) система подачі мульчі є технологічно надійнішою за механічні аналоги;
- поєднання нарізання щілини і подрібнення соломи за один прохід агрегату скорочує кількість технологічних операцій;
- можливість регулювання глибини нарізання щілини (до 50 см) у поєднанні з регулюванням ширини (0,138–0,180 м);
- відносно невелика маса та агрегування з широкодоступним трактором Т-150К.

Основні напрямки вдосконалення базової конструкції щілиноріза-наповнювача наступні:

- збільшення кількості ножів-щілинорізів до двох (по лівому і правому краях рами знаряддя) для підвищення продуктивності приблизно на 39% за рахунок збільшення фактичної ширини захвату;
- заміна пружинного механізму регулювання ширини щілини на гвинтову стяжку, що суттєво спрощує конструкцію, звільняє простір між відвалами від перешкод для руху мульчі та підвищує рівномірність заповнення щілини по об'єму;
- роздвоєння дефлектора для забезпечення рівномірної пневматичної подачі подрібненого матеріалу одночасно в обидві щілини;
- оптимізація параметрів долота (кут $\beta_0 = 35^\circ$, довжина $l_0 = 150$ мм) та кута установки стійки ножа ($\beta = 105^\circ$) для зменшення спучення ґрунту й полегшення заповнення щілини мульчею.

Реалізація запропонованих конструктивних змін дозволить забезпечити тривалість функціонування водовбираючих щілин упродовж 3–4 років і сприятиме отриманню стабільних врожаїв незалежно від кількості опадів у вегетаційний період рослин.

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Загальна характеристика об'єкта вдосконалення та вихідні дані для інженерних розрахунків

Зважаючи на необхідність проведення ефективних ґрунтозахисних операцій, пов'язаних із запобіганням виникнення водної ерозії в умовах інтенсивного землеробства, базовим елементом енерго- та вологозберігаючих технологій є комбіноване нарізання щілин з одночасним їх вертикальним мульчуванням листостебловими рослинними рештками. В умовах досліджуваного господарства базовий технологічний процес забезпечується щілинорізом-заповнювачем ЩЗН-1,5. Проте результати аналізу динамічних показників і кінематики робочих органів виявили суттєвий недолік одноножових пасивних систем. Застосування лише одного центрального робочого органу суттєво обмежує експлуатаційну продуктивність агрегату на рівні 0,97 га/год за ширини міжряддя (відстані між суміжними проходами) складає 1,5 м.

Для усунення наведеного недоліку та підвищення техніко-економічної ефективності пропонується перехід на симетричну двоножову схему розстановки робочих органів на рамі знаряддя. Нарізання двох паралельних щілин за один прохід дозволяє оптимізувати параметри водовбирання відповідно до чинних агротехнічних вимог, які регламентують раціональний інтервал між водовбираючими щілинами в діапазоні 0,8...1,5 м. Така конструктивна зміна агрегату вимагає повної перебудови системи розподілу подрібненої біомаси, що реалізується шляхом роздвоєння дефлектора направляючого кожуха пневматичного викидного пристрою косарки-подрібнювача.

Додатковим обмежуючим фактором базового прототипу щілиноріза-наповнювача є незадовільна кінематика та геометрія елементів регулювання ширини щілини. Застосування складної важільно-пружинної системи з двома трикутними пластинами, встановленими у внутрішню порожнину відвалів,

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

супроводжується накопиченням вологої рослинної маси всередині робочої зони. Динамічні коливання пружин та наявність виступаючих елементів регулювальних болтів створюють зони підвищеного опору та тертя. Це призводить до передчасного розширення і заклинювання мульчі між боковинами ще до моменту її повного транспортування на дно щілини, через що процес заповнення нарізаної щілини повністю припиняється. Для стабілізації технологічного процесу незалежно від коливань вологості мульчуючого матеріалу запропоновано заміну пружинної системи на компактний механізм гвинтової стяжки. Гвинтовий механізм забезпечує жорстку фіксацію геометрії розвалу боковин, усуває внутрішні виступи та зони застійного тертя, що підвищує об'ємну рівномірність розподілу подрібненої соломи та гарантує стабільне функціонування сформованого дренажу впродовж 3...4 років.

Таким чином, об'єктом інженерного обґрунтування є вдосконалений щілиноріз-наповнювач ЩЗН-1,5, який є комбінованою навісною машиною, що за один прохід здійснює три нерозривно пов'язані технологічні операції: нарізання вертикальних водовбираючих щілин у ґрунті; зрізання та подрібнення органічних рослинних матеріалів (трав'яної рослинності, сидератів, стерні або підібраних валків соломи); пневматичну подачу подрібненого матеріалу-наповнювача в нарізані щілини.

Вдосконалена конструкція відрізняється від базової такими принциповими змінами:

- встановлено два ножі-щілинорізи по лівому і правому краях несучої рами замість одного центрального;
- механізм регулювання ширини щілини (пружинний) замінено на гвинтову стяжку;
- дефлектор-кожух роздвоєно для одночасної подачі мульчі в обидві щілини.

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

До таблиці 2 зведено інформацію про основні технічні характеристики базового і вдосконаленого щілиноріза наповнювача ЩЗН-1,5.

Таблиця 2

Зведені технічні характеристики базового та вдосконаленого щілиноріза наповнювача ЩЗН-1,5

Показник	Базовий ЩЗН-1,5	Вдосконалений ЩЗН-1,5
Ширина захвату, м	1,5	1,5
Кількість лап для нарізання щілин, шт.	1	2
Продуктивність агрегату, га/год	0,975	1,354
Відстань між щілинами, м	1,5	0,66
Глибина щілин, см	40...50	40...50
Ширина щілин, м	0,138...0,180	0,138...0,180
Механізм регулювання ширини	пружинний (складний)	гвинтова стяжка
Строк служби щілин, років	1-2	3-4
Маса, кг	850	950
Агрегується з трактором	Т-150К	Т-150К
Потужність двигуна трактора, кВт	110,6	110,6

3.2. Розрахунок конструктивних параметрів робочих органів щілиноріза

3.2.1. Визначення оптимальної геометрії та швидкісних режимів

Робоча швидкість руху комбінованого щілиноріза-наповнювача є критичним параметром, що пов'язує динаміку руйнування ґрунтового моноліту із кінематикою безпідпорного зрізання рослинних решток ротором подрібнювача. Опираючись на закономірності взаємодії пасивних глибокорозпушувачів із ґрунтом, швидкісний діапазон аналогічних за призначенням ґрунтообробних агрегатів становить $V_p = 3...11$ км/год. Для забезпечення якісного скошування сидератів чи підбирання соломи із валків при одночасному недопущенні надто великого динамічного опору ґрунту,

розрахункову робочу швидкість модернізованої машини прийнято на рівні прототипу, що складає

$$V_p = 6,5 \text{ км/год} \approx 1,8 \text{ м/с.}$$

Ширина щілини, що нарізається агрегатом l визначає площу поперечного перерізу водопоглинаючого каналу та об'єм напруженої зони деформації ґрунтового середовища. Збільшення ширини активізує процеси мікроруйнування ілювіального горизонту, що значно підвищує коефіцієнт фільтрації. Згідно з дослідженнями вертикального мульчування, для запобігання заклинюванню біомаси через сили тертя об внутрішні стінки боковин утвореної щілини, мінімальний її розмір повинен перевищувати 80 мм. З огляду на це, діапазон гнучкого регулювання запропонованим гвинтовим механізмом встановлюється в межах:

$$l_{\min} = 0,138 \text{ м}; \quad l_{\max} = 0,180 \text{ м.}$$

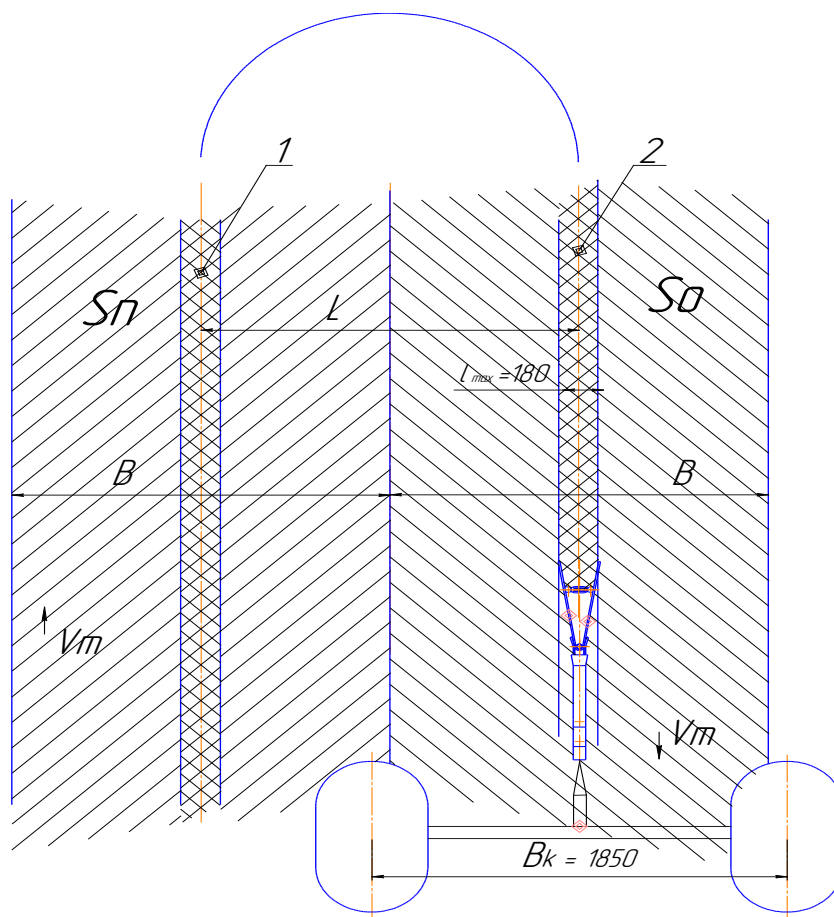
3.2.2. Кінематичні схеми руху та розрахунок продуктивності

Впровадження у виробництво агрегату, що за один прохід нарізає дві вологопоглинаючі щілини суттєво змінює кінематику руху скомплектованого агрегату по полю. У базовій конструкції щілиноріза-наповнювача відстань між щілинами L дорівнювала загальній конструктивній ширині захвату ґрунтообробного агрегату $B = 1,5 \text{ м}$, що визначало технологічну схему роботи машини в полі згідно з рис 5.

За умови встановлення на агрегаті двох ножів відстань між суміжними робочими органами на рамі розраховується виходячи із умови рівномірності кроку дренажних щілин по всій площі поля при човниковому способі руху ґрунтообробного агрегату (рис. 6).

Відстань L між ножами в межах одного проходу агрегату розраховується за аналітичною залежністю, яка враховує максимальний розвал боковин для компенсації наступного природного ущільнення стінок каналу за формулою:

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



S_n , –площа поля, яка обробляється під час прямого руху агрегату; S_o – площа поля, яка обробляється під час зворотного руху;

1; 2 – вологопоглинаючі щілини

Рис. 5. Технологічна схема нарізання щілин базовим щілинорізом-наповнювачем ЩЗН-1,5

$$L = \frac{B - l_{\max}}{2}.$$

Підставляючи чисельні значення конструктивних параметрів, а саме – $B = 1,5$ м; $l_{\max} = 0,180$ м, отримуємо нормативну відстань між стійками робочих органів:

$$L = \frac{1,5 - 0,18}{2} = 0,66 \text{ м.}$$

Для реалізації безперервного та симетричного процесу нарізання щілин на полі під час зворотного ходу агрегату, механізатор повинен контролювати величину зміщення крайнього проходу відносно колії трактора Δ . Цей

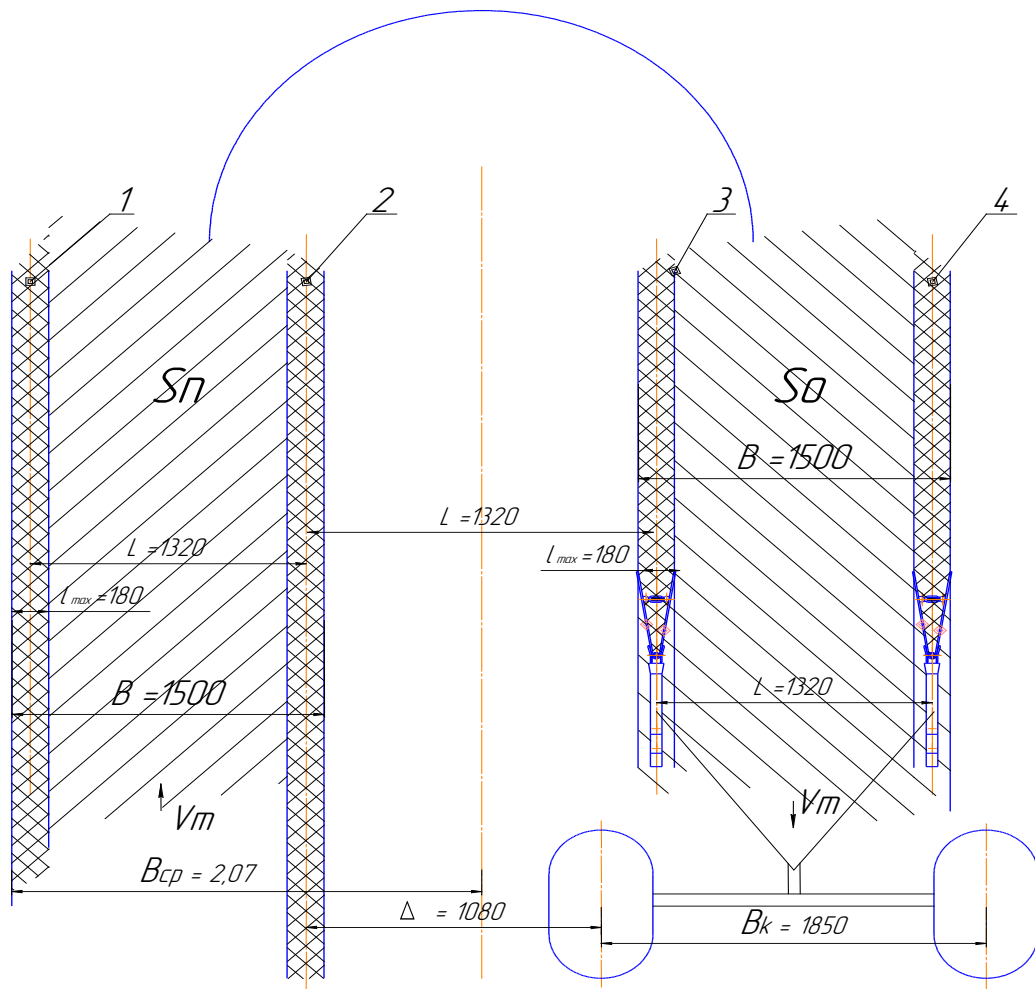
					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

технологічний проміжок розраховується на основі ширини колії базового трактора класу 30 кН, враховуючи, що для трактора Т-150К $B_k = 1,86$ м. Для розрахунку зазначеного проміжку слід використати формулу:

$$\Delta = B - \frac{B_k + L}{2}.$$

Після підстановки цифрових значень отримаємо

$$\Delta = 1,5 - \frac{1,86 + 0,66}{2} = 0,24 \text{ м.}$$



S_n , –площа поля, яка обробляється під час прямого руху агрегату; S_o – площа поля, яка обробляється під час зворотного руху;

1, 2, 3, 4 – вологопоглинаючі щілини

Рис. 6. Технологічна схема нарізання щілин вдосконалим щілинорізом-наповнювачем ЩЗН-1,5

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

За такої геометричної схеми фактична (корисна) ширина обробітку поля за один робочий хід суттєво зростає, оскільки поглинаючі щілини нарізаються з подвійною частотою на одиницю площі. Нова фактична ширина захвату агрегату складає:

$$B_f = B + L = 1,5 + 0,66 = 2,16 \text{ м.}$$

Теоретична годинна продуктивність за основним часом для модернізованої двощілинної схеми роботи визначається як:

$$W_h = 0,1 \cdot B_f \cdot V_p.$$

Підставивши наведені вище цифрові значення отримаємо:

$$W_h = 0,1 \cdot 2,16 \cdot 6,5 = 1,404 \text{ га/год.}$$

Порівняно із роботою базового щілиноріза-наповнювача, який за один прохід нарізає одну вологопоглинаючу щілину та який має продуктивність $W_{h0} = 0,975$ га/год, реальний приріст технічної продуктивності вдосконаленого агрегату складає

$$\delta W = \frac{1,404 - 0,975}{0,975} \cdot 100\% = 44\%.$$

Отже, враховуючи реальні умови експлуатації агрегату в полі та додаткові витрати часу на розвороти, чистий приріст експлуатаційної продуктивності складає приблизно 39%.

3.2.3. Обґрунтування конструктивних параметрів стійки та долота лапи-щілиноріза

Глибина нарізання щілин H є базовим конструктивним параметром, який повністю визначає вертикальні габарити стійки. Основні конструктивні параметри лапи-щілиноріза наведені на рис. 7. Опираючись на експериментальні криві середньої твердості та швидкості інфільтрації води, збільшення глибини нарізання щілини понад 0,5 супроводжується різким нелінійним зростанням питомого опору без реального підвищення водовбирної здатності. Виходячи з цього, оптимальний діапазон глибини

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щілини складає 45...50 см. Модернізована стійка щілиноріза розробляється з можливістю трирівневого її розміщення по висоті за допомогою системи монтажних отворів на встановлених рівнях:

$$H_1 = 40 \text{ см}; \quad H_2 = 45 \text{ см}; \quad H_3 = 50 \text{ см}.$$

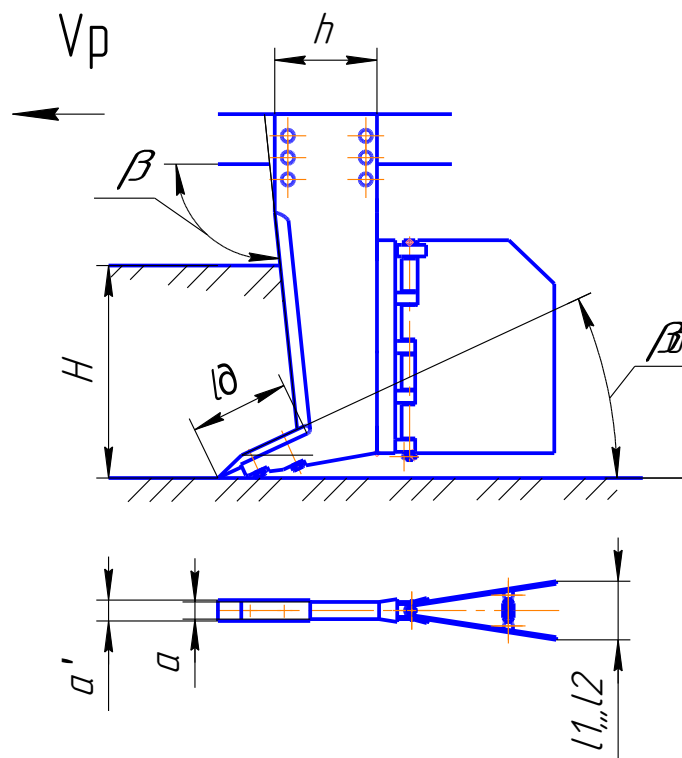


Рис. 7. Основні конструктивні параметри лапи-щілиноріза

Для забезпечення тривалої міцності та мінімізації площі лобового зминання ґрунту при роботі на глибині до 0,5 м товщина стійки лапи a вибирається із умови деформаційного аналізу і приймається рівною:

$$a = 0,04 \text{ м}.$$

Кут установки передньої різальної кромки стійки до горизонталі β визначає характер напружено-деформованого стану ґрунтового середовища. Для класичних глибокорозпушувачів мінімальне значення сили тяги досягається при $\beta = 65^\circ$, а мінімальний опір чистому зсуву – при $\beta = 85^\circ$. Проте в комбінованих машинах, що працюють із заповненням нарізаних щілин біомасою дуже важливо зменшити вертикальне спучення верхнього шару ґрунту, яке блокує вхідне вікно дефлектора. Застосування тупого кута $\beta = 105^\circ$ забезпечує ефект спрямованого сколювання ґрунту всередину

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

грунтового середовища, мінімізує деформацію поверхні поля та створює оптимальні умови для пневматичного осадження подрібненої соломи. Тому для проектування нової лапи приймаємо:

$$\beta = 105^\circ.$$

Кут установки змінних робочих доліт β_d впливає на інтенсивність вертикального стиснення та значно полегшує заглиблення стійки в ґрунт. Для аналітичного визначення раціонального значення кута β_d побудовано фізичну модель динамічної рівноваги елементарної частки ґрунту, що переміщується по похилій площині долота (рис. 8).

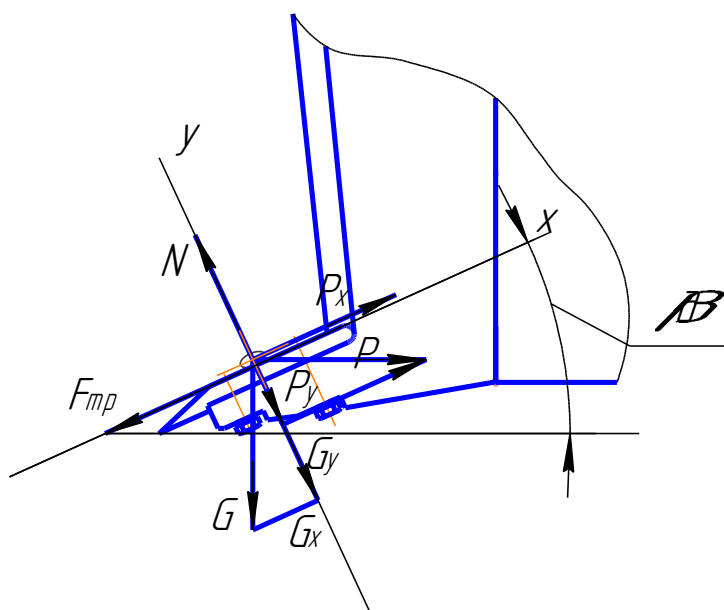


Рис. 8. Сили, що діють на долото лапи щілиноріза

Запишемо векторне рівняння другого закону Ньютона в проекціях на вісь OX , яка розміщена вздовж долота та нормальну вісь OY . Векторні рівняння мають наступний вигляд:

$$\sum F_x = m \cdot a_x \Rightarrow R_x + F_{тр} - G \cdot \sin \beta_d = 0;$$

$$\sum F_y = m \cdot a_y \Rightarrow N - G \cdot \cos \beta_d = 0,$$

де G – сила ваги елементарного об'єму ґрунту, $G = m \cdot g$;

N – нормальна реакція робочої поверхні;

$F_{тр}$ – сила тертя сталі об ґрунт;

R_x – динамічний опір просуванню ґрунтової скиби.

Сила тертя визначається через закон Амонтона-Кулона:

$$F_{mp} = f \cdot N = f \cdot G \cdot \cos \beta_d,$$

де f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по сталі, $f \approx 0,7$ (для середніх суглинків).

Умова безперервного переміщення маси по поверхні (дзеркалу) долота без утворення застійної зони (ефект самоочищення) вимагає, щоб кінетична сила перевищувала сили тертя, що в символічному вигляді має наступний вигляд:

$$R_x > 0 \Rightarrow f \cdot \cos \beta_d + \sin \beta_d < \frac{R_x}{G}.$$

Аналіз граничного стану за умови рівності сил дає вираз для розрахунку граничного кута:

$$\operatorname{tg} \beta_{d.\text{гран}} = \frac{1}{f}.$$

$$\beta_{d.\text{гран}} = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{f} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{0,7} \right) \approx 55^\circ.$$

Для зниження загальної енергоємності та інтенсивності зминання дна щілини, кут установки долота повинен бути значно меншим за граничний. Експериментальний оптимум становить $30 \dots 40^\circ$. З урахуванням необхідності забезпечення структурної міцності носової частини лапи щілиноріза, для модернізованого долота прийнято:

$$\beta_d = 35^\circ \quad l_d = 150 \text{ мм.}$$

3.3. Розрахунок потреби в мульчуючому матеріалі

Для тривалого утримання нарізаних щілин у відкритому стані використовують подрібнену соломку зернових культур, яка має високу пружність та низьку швидкість біологічного розкладання. Розрахунок

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

необхідної погонної маси сухої соломи G_p для стабільного заповнення одного метра сформованої водопоглинаючої щілини виконується за формулою:

$$G_p = l \cdot H \cdot \rho_s,$$

де l – середня ширина щілини, прийемо для розрахунків $l = 0,15$ м;

H – максимальна розрахункова глибина обробітку, $H = 0,5$ м;

ρ_s – рекомендована агротехнічна густина ущільнення стеблової маси у вологопоглинаючій щілині, $\rho_s = 200$ кг/м³.

Після підстановки наведених значень, маємо:

$$G_p = 0,15 \cdot 0,5 \cdot 200 = 15,0 \text{ кг/м.}$$

Враховуючи дволапову компоновку вдосконаленого агрегату, сумарна потреба в біомасі на один погонний метр ходу комбінованого агрегату подвоюється і становить 30,0 кг/м.

3.4. Кінематичний та конструктивний розрахунок роторного подрібнювача

Для подрібнення рослинних решток і створення активного повітряного потоку, що транспортує мульчу, використовується роторний барабан, параметри якого ідентичні з геометрією серійної косарки КІР-1,5.

3.4.1. Визначення частоти обертання та кутової швидкості ротора

Для забезпечення безпідпорного якісного зрізання соломи мінімальна абсолютна швидкість леза ножа в момент контакту з рослиною $V_{\min}$ повинна жорстко перевищувати критичну швидкість безпідпорного різання стеблостою $V_{кр} = 30$ м/с.

$$V_{\min} \geq V_{кр} = 30 \text{ м/с.}$$

Зв'язок між абсолютною швидкістю різання, поступальним рухом агрегату $V_m = 1,8$ м/с та кутовою швидкістю ротора ω можна описати наступною залежністю:

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

$$V_{\min} = \omega \cdot R_r - V_m,$$

де R_r – повний радіус ротора-подрібнювача по кінцях шарнірних ножів,
 $R_r = 0,28$ м.

Звідси можемо визначити мінімально допустиму кутову швидкість обертання барабана:

$$\omega_{\min} = \frac{V_{кр} + V_m}{R_r} = \frac{30 + 1,8}{0,28} = 113,6 \text{ с}^{-1}.$$

З урахуванням нерівномірності подачі маси та необхідності формування стабільного динамічного напору повітря в дефлекторі, робоче значення кутової швидкості приймається з запасом:

$$\omega = 155 \text{ с}^{-1}.$$

Розрахункова робоча частота обертання ротора становить:

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 155}{3,1416} \approx 1480 \text{ об/хв.}$$

3.4.2. Розрахунок параметрів та розстановка ножів подрібнювача

Кількість ножів подрібнювача z , які проходять по одному сліду за один оберт ротора, розраховується з умови забезпечення нормативної довжини подрібнення соломи $\lambda = 150$ мм = 0,15 м за формулою:

$$z = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_m}{\omega \cdot \lambda} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,8}{155 \cdot 0,15} = 0,48 \text{ шт.}$$

Для збалансування динамічних навантажень та недопущення вібрацій вала приймаємо класичну чотирьохрядну симетричну схему розташування ножів на роторі-подрібнювачу $z_0 = 4$ ряди. Враховуючи наведену умову, фактична довжина різання соломи складає:

$$\lambda_{\text{факт}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,8}{155 \cdot 4} = 0,0182 \text{ м} = 18,2 \text{ мм.}$$

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повна довжина робочої (заточеної) частини шарнірного ножа l_n визначається з умов накопичення зрізаних рослинних залишків та їх своєчасного скидання робочим органом під дією відцентрових сил:

$$l_n = \frac{N_s \cdot d_s}{\varepsilon},$$

де d_s – середній діаметр стебел сухої соломи, прийmemo $d_s = 4$ мм;

ε – коефіцієнт ущільнення маси на лезі ножів;

N_s – кількість стебел рослин у зоні різання по горизонталі S_x , що припадає на один ніж:

$$S_x = R_r \cdot \left(1 - \cos \frac{2\pi}{z_0} \right) + \frac{V_m \cdot 2\pi}{z_0 \cdot \omega};$$

$$S_x = 0,28 \cdot \left(1 - \cos \frac{2 \cdot 3,14}{4} \right) + \frac{1,8 \cdot 2 \cdot 3,14}{4 \cdot 155} = 0,28 \cdot 1 + 0,0182 = 0,298 \text{ м.}$$

За умови, що середня густина стеблостою у валку $M = 2500$ шт/м², сумарна кількість залучених стебел становить $N_s = 24$ шт. Враховуючи це, розрахункова довжина леза подрібнювача складає

$$l_n = 24 \cdot 0,004 = 0,096 \text{ м.}$$

Округляючи до стандартного ряду, приймаємо конструктивну довжину робочої частини ножа:

$$l_n = 0,10 \text{ м.}$$

3.5. Силовий аналіз комбінованого щілиноріза-заповнювача

Обґрунтування конструктивної надійності та визначення необхідного тягового класу енергетичного засобу виконується на основі аналізу зовнішніх сил реакції ґрунтового середовища в поздовжньо-вертикальній площині.

3.5.1. Аналітичне визначення складових сил опору

Сумарна сила тяжіння модернізованого навісного агрегату G_a розраховується через загальну конструктивну масу, яка зросла за рахунок

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

встановлення другого робочого органу та збільшення загальної ваги за рахунок встановлення гвинтових стяжок

$$G_a = m_a \cdot g = 642 \cdot 9,81 = 6300 \text{ Н.}$$

Сумарна горизонтальна складова сил опору ґрунту R_{xz} при одночасному заглибленні двох ножів-щілинорізів визначається за модифікованою формулою раціонального проектування:

$$R_{xz} = \frac{H_{\max} \cdot l_{\max} \cdot k_p \cdot n_n}{\eta},$$

де $H_{\max}$ – максимальна робоча глибина щілювання, $H_{\max} = 0,5$ м;

$l_{\max}$ – максимальна робоча ширина розвалу боковин, $l_{\max} = 0,18$ м;

k_p – коефіцієнт питомого опору ґрунту при розклинюванні на великій глибині, $k_p = 4,5 \cdot 10^4$ Н/м²;

n_n – кількість симетричних ножів, $n_n = 2$;

η – експлуатаційний ККД пасивного робочого органу, $\eta = 0,82$.

Після підстановки даних отримаємо:

$$R_{xz} = \frac{0,5 \cdot 0,18 \cdot 4,5 \cdot 10^4 \cdot 2}{0,82} = 9787 \text{ Н.}$$

Сумарна вертикальна складова сил опору R_y , що діє на долота і намагається виштовхнути знаряддя із ґрунту, розраховується через коефіцієнт пропорційності реакції глибоких шарів $\mu = 0,46$

$$R_y = \mu \cdot R_{xz} = 0,46 \cdot 9787 = 4544 \text{ Н.}$$

Повна рівнодіюча сила опору ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині становить:

$$R = \sqrt{R_{xz}^2 + R_y^2} = \sqrt{9787^2 + 4544^2} = 10870 \text{ Н.}$$

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

3.5.2. Графоаналітичний аналіз навантаження навісної системи

Для точного визначення внутрішніх зусиль у ланках трьохточкового механізму навіски трактора застосовано графоаналітичний метод побудови силового багатокутника зовнішніх сил (рис. 9). За результатами побудови геометричних векторів з врахуванням миттєвого центра обертання системи (т. P), отримано наступні значення діючих сил:

- повна динамічна реакція опорних коліс знаряддя $Q = 11485,7$ Н.;
- сумарне розтягуюче зусилля у верхній центральній тязі навіски $S = 2758,8$ Н.;
- сумарне стискаюче зусилля в нижніх повздовжніх тягах $N_l + N_p = 13381,3$ Н.

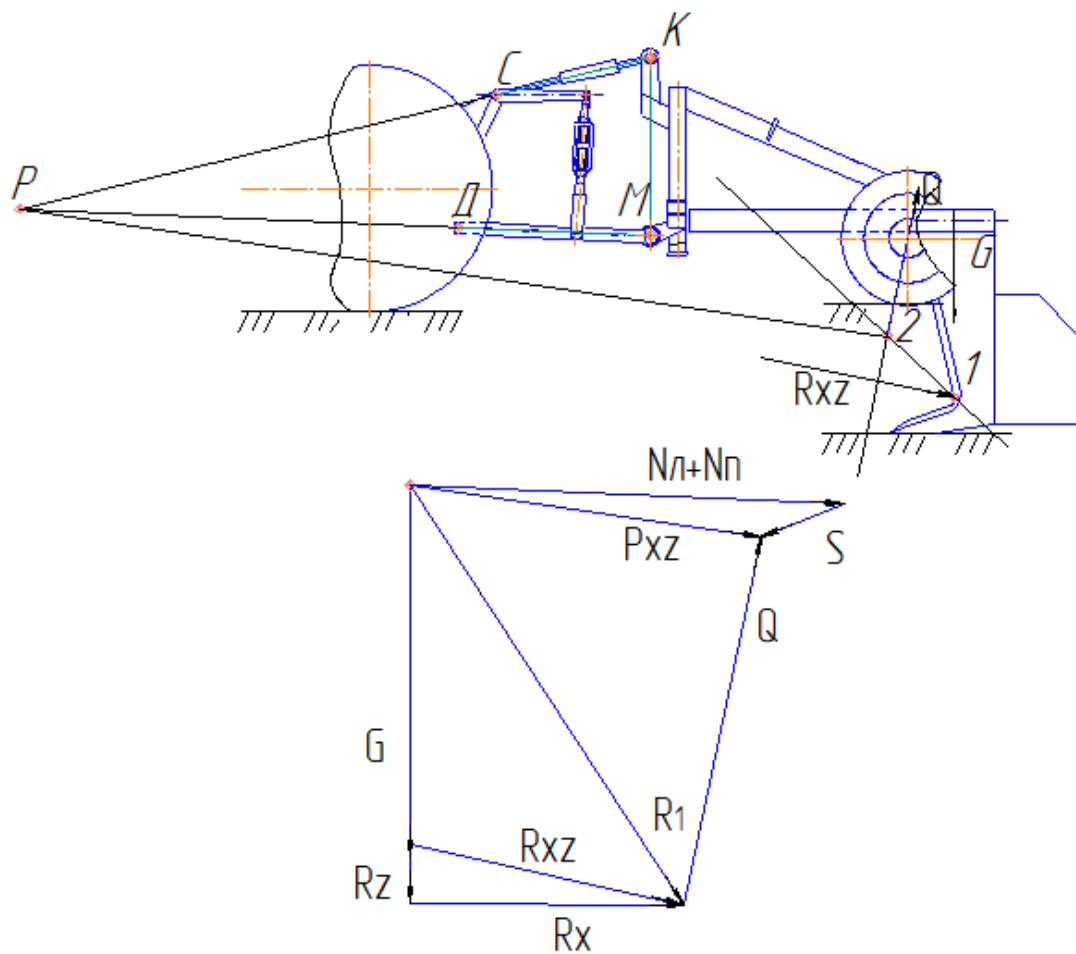


Рис. 9. Силовий розрахунок щілиноріза-наповнювача

Для перевірки можливості агрегування з трактором Т-150К використовується нормативна нерівність обмеження за номінальним зусиллям на гаку для 3-го тягового класу $P_{\text{зак}} = 30 \text{ кН} = 30000 \text{ Н}$.

$$R_{\text{xz}} \leq P_{\text{зак}} \Rightarrow 9878 \text{ Н} < 30000 \text{ Н}.$$

Розрахунок підтверджує, що енергетичний засіб Т-150К повністю задовольняє критеріям тягової стійкості та забезпечує стабільну роботу щілиноріза-наповнювача при нарізанні ним двох щілин за прохід при роботі на важких ґрунтах.

3.6. Комплексний енергетичний розрахунок агрегату

Сумарні енергетичні витрати на виконання комбінованого технологічного процесу N_{Σ} складаються з потужностей, необхідних для приводу активного ротора, подолання сил кочення та буксування рушіїв. В символічному вигляді це записується так

$$N_{\Sigma} = N_{\text{з}} + N_{\text{ц}} + N_{\text{к1}} + N_{\text{к2}} + N_{\text{д}}.$$

Загальна потужність активного робочого органу $N_{\text{з}}$ враховує холостий хід, чисте зрізання та кінетичне відкидання маси:

$$N_{\text{з}} = N_{\text{хх}} + N_{\text{зр}} + N_{\text{від}}.$$

Потужність холостого ходу на подолання внутрішнього тертя та аеродинамічного опору обертання ножів в кожусі обчислюється за формулою:

$$N_{\text{хх}} = B \cdot N_0 \cdot \left(\frac{n}{1500} \right)^3,$$

де B – ширина захвату подрібнювача, $B = 1,5 \text{ м}$;

N_0 – питомий коефіцієнт втрат, $N_0 = 7,1 \text{ кВтт/м}$;

n – розрахункова частота обертання, $n = 1480 \text{ об/хв}$.

$$N_{\text{хх}} = 1,5 \cdot 7,1 \cdot \left(\frac{1480}{1500} \right)^3 \approx 10,24 \text{ кВт}.$$

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Потужність на кінетичне транспортування та відкидання подрібненої соломи в роздвоєний дефлектор розраховується через годинну експлуатаційну продуктивність за масою Q_m

$$N_{\text{вд}} = 0,0032 \cdot Q_m \cdot V_{\text{min}}^2.$$

Експлуатаційна продуктивність за зрізаною масою для середньої врожайності соломистого валка становить $Q_m = 11,3$ т/год. Тоді отримаємо:

$$N_{\text{вд}} = 0,0032 \cdot 11,3 \cdot 30^2 = 3,25 \text{ кВт.}$$

Враховуючи, що на чисте безпідпорне подрібнення сухих порожнистих стебел витрачається $N_{\text{зр}} = 1,2$ кВт, повна потужність на привод ротора становить:

$$N_r = 10,24 + 1,2 + 3,25 = 14,69 \text{ кВт.}$$

Потужність, яка безпосередньо витрачається на нарізання двох глибоких щілин пасивними ножами $N_{\text{щ}}$ становить:

$$N_{\text{щ}} = R_{\text{xz}} \cdot V_p = 9,878 \cdot 1,8 = 17,78 \text{ кВт.}$$

Потужність на подолання сил опору кочення опорних коліс самого щілиноріза-наповнювача N_{k1} визначається через повну реакцію ґрунту $Q = 11,48$ кН а коефіцієнт перекочування по стерні $f_1 = 0,16$:

$$N_{k1} = Q \cdot f_1 \cdot V_p = 11,48 \cdot 0,16 \cdot 1,8 = 3,31 \text{ кВт.}$$

Потужність перекочування самого важкого трактора Т-150К N_{k2} при масовому навантаженні на ґрунт $G_{\text{mp}} = 82$ кН становить:

$$N_{k2} = G_{\text{mp}} \cdot f_2 \cdot V_p = 82 \cdot 0,12 \cdot 1,8 = 17,71 \text{ кВт.}$$

Потужність, що втрачається внаслідок буксування колісного рушія N_{δ} за нормативного коефіцієнта буксування на щільному агрофоні після збирання зернових $\delta = 0,11$, обчислюється як:

$$N_{\delta} = G_{\text{mp}} \cdot \delta \cdot V_p = 82 \cdot 0,11 \cdot 1,8 = 16,24 \text{ кВт.}$$

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

Сумарна споживана потужність модернізованого щілиноріза-наповнювача становить:

$$N_{\Sigma} = 14,69 + 17,78 + 3,31 + 17,71 + 16,24 = 69,73 \text{ кВт.}$$

Номінальна ефективна потужність дизельного двигуна СМД-62 трактора Т-150К становить $N_{\text{дв}} = 150 \text{ к.с.} = 110,6 \text{ кВт.}$

Визначимо коефіцієнт енергетичного завантаження двигуна ξ_e

$$\xi_e = \frac{N_{\Sigma}}{N_{\text{дв}}} = \frac{69,73}{110,6} = 0,63.$$

Енергетичний розрахунок показує, що двигун СМД-62 працюватиме в оптимальному квазістаціонарному режимі з високим ККД, маючи необхідний експлуатаційний запас потужності на рівні 37 % для компенсації можливих локальних ущільнень ґрунту або нерівностей рельєфу поля.

3.7. Короткі висновки по розділу

1. На основі патентно-технічного аналізу та кінематичних розрахунків обґрунтовано доцільність модернізації базового щілиноріза ЩЗН-1,5 шляхом переходу на двощілинну симетричну схему розстановки пасивних робочих органів, що підвищує чисту експлуатаційну продуктивність на 39%.

2. Конструктивно доведено, що заміна складної важільно-пружинної системи регулювання відвалів на гвинтову стяжку повністю ліквідує внутрішні зони застійного тертя біомаси, забезпечуючи стабільну об'ємну густину мульчування на рівні 200 кг/м^3 незалежно від коливань вологості соломи у валку.

3. Шляхом математичного моделювання динаміки елементарної частки ґрунту на базі другого закону Ньютона аналітично визначено раціональний кут установки змінних доліт $\beta_d = 35^\circ$, який гарантує ефект самоочищення леза та знижує загальний питомий опір знаряддя.

4. Енергетичний та силовий аналізи підтвердили, що сумарна споживана потужність модернізованого комбінованого агрегату становить

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

69,73 кВт, що забезпечує оптимальний коефіцієнт завантаження дизеля СМД-62 трактора Т-150К на рівні $\xi_e = 0,63$ із збереженням стабільного ККД.

4. ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі наведено теоретичне обґрунтування, інженерно-конструкторську розробку та розрахунок параметрів модернізованого комбінованого ґрунтообробного агрегату на базі щілиноріза наповнювача ЩЗН-1,5. Реалізовані технічні рішення дозволяють розв'язати актуальну науково-практичну задачу – підвищення ефективності вологозберігаючого та протиерозійного обробітку ґрунту шляхом оптимізації процесу нарізання і вертикального мульчування водопоглинаючих щілин рослинними рештками.

Основні наукові, технологічні та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтування актуальності та напряму модернізації. Аналіз сучасних технологій протиерозійного обробітку ґрунту в умовах інтенсивного землеробства підтвердив, що традиційна глибока оранка призводить до деградації структури ґрунту, утворення плужної підшви та загострення водної ерозії, насамперед на схилах. Патентно-технічний огляд базового щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5 виявив суттєві недоліки: низьку експлуатаційну продуктивність одноножової схеми (0,97 га/год) та нестабільність технологічного процесу через заклинювання стеблової маси у важільно-пружинному механізмі регулювання відвалів. На основі цього визначено доцільність переходу на двощілинну симетричну схему розстановки робочих органів та встановлення жорсткого гвинтового механізму регулювання ширини щілини.

2. Оптимізація параметрів технологічного процесу. На основі агротехнічних вимог до водовбирання та кінематичного аналізу роботи агрегату обґрунтовано раціональний крок нарізання щілин на рамі знаряддя $L = 0,66$ м за загальної ширини захвату подрібнювача 1,5 м. Це дозволило збільшити фактичну ширину обробітку поля за один прохід до $B_f = 2,16$ м. Теоретична годинна продуктивність модернізованого агрегату за основним

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

часом зросла до 1,404 га/год, що забезпечує чистий приріст експлуатаційної продуктивності на рівні 39% порівняно з базовим одноножовим прототипом.

3. Обґрунтування геометрії та кінематики робочих органів. Шляхом математичного моделювання динамічної рівноваги елементарної частки ґрунту на базі другого закону Ньютона аналітично визначено раціональний кут установки змінних доліт $\beta_d = 35^\circ$, який мінімізує питомий опір знаряддя та гарантує ефект самоочищення леза без утворення застійних зон. Для стабілізації процесу пневматичного заповнення щілин сухою біомасою обґрунтовано кут установки передньої різальної кромки стійки ножа $\beta_d = 105^\circ$, що забезпечує направлене сколювання ґрунту всередину ґрунтового середовища та запобігає надмірному вертикальному спученню поверхні поля.

4. Параметри активного роторного подрібнювача. Визначено кінематичні режими роботи роторного барабана, інтегрованого з косаркою КІР-1,5. Встановлено, що для забезпечення якісного безпідпорного різання соломи та створення стабільного динамічного напору повітря в роздвоєному дефлекторі, кутова швидкість ротора повинна становити $\omega = 155 \text{ с}^{-1}$ (частота обертання $n \approx 1480 \text{ об/хв}$). При чотирирядній симетричній схемі розташування ножів забезпечується стабільна довжина подрібнення стеблової маси на рівні $\lambda_{\text{факт}} = 18,2 \text{ мм}$, що повністю задовольняє вимогам безперешкодного осадження мульчі на глибину до 0,5 м.

5. Силовий та енергетичний баланс агрегату. Розрахунок динамічних навантажень показав, що сумарна горизонтальна складова сил опору ґрунту при одночасному заглибленні двох ножів становить $R_{xz} = 9878 \text{ Н}$, а повна рівнодіюча сила опору – $R = 10870 \text{ Н}$. Загальна споживана потужність модернізованого широкозахватного агрегату становить 69,73 кВт. Це гарантує оптимальний коефіцієнт енергетичного завантаження двигуна СМД-62 трактора Т-150К на рівні 0,63, забезпечуючи стабільну роботу в квазістаціонарному режимі з високим ККД та 37% запасом потужності.

					ВЩЛН 00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до оформлення кваліфікаційної роботи здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня за освітньо-професійною програмою 133 «Галузеве машинобудування» / Д.І. Петренко, О.М. Васильковський, С.М. Лещенко, Ю.В. Мачок, Д.Ю. Артеменко, О.В. Нестеренко, С.М. Мороз. М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 58 с.
2. Марченко В.В. Механізація технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007. – 334 с.
3. Бондаренко М.Г. Комплектування і використання машинно-тракторного парку в рослинництві / Бондаренко М.Г., Демещук В.А. – К.: Вища школа, 1995. – 237 с.
4. Довідник з машиновикористання в землеробстві / За ред. В.І. Пастухова – Харків: Веста, 2001. – 347 с.
5. Практикум із машиновикористання в рослинництві: Навч. посібник / За ред. І.І. Мельника. – К.: Кондор, 2009. – 284 с.
6. Механізація технологічних процесів в землеробстві: Навчально-методичний комплекс: навч. посіб. / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, Т.Д. Іщенко та ін.. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 352 с.
7. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві: Підручник / С.М. Каленська, Л.М. Єрмакова, В.Д. Паламарчук та ін.. – Вінниця: ФОП Рогальська І.О., 2015. – 448 с.
8. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва: Підруч. у 2 т: Т. 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін.; за ред. А.В. Рудя. – К. Агроосвіта, 2012. – 434 с.

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

9. Гречкосій В.Д., Погорілець О.М., Ревенко І.І. та ін. Довідник сільського інженера / За ред. В.Д. Гречкосія. – 2-е вид., перероб. і доповнене. – К.: Урожай, 1991. – 400 с.
10. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» для студентів спеціальностей 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / Укладачі: В.М. Сало, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, Д.І. Петренко, П.Г. Лузан – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 170 с.
11. Інструкція по експлуатації щілиноріза-наповнювача ЩЗН-1,5.
12. Бакум М.В., Бобрусь І.С., Лук'яненко В.М., Трофимченко Ю.І. Меліоративні машини – Харків. ХДТУСГ. 2001. – 308 с.
13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
14. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.
15. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машини для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
16. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні / За ред. проф. М.К. Шикули. – Оранта, 2000. – 390 с.
17. Паламарчук В.Д. Еколого-біологічні та технологічні принципи вирощування польових культур: Навчальний посібник / В.Д. Паламарчук, О.В. Климчук, І.С. Поліщук та ін. – Вінниця, 2010. – 680 с.
18. Войтюк Д.Г., Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські та меліоративні машини// За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

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

19. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку/ За ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Університетська книга, 2006. – 480 с.
20. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.
21. Бабенко Д.В. Механіка матеріалів і конструкцій: практикум: навчальний посібник / Д.В. Бабенко, О.А. Горбенко, Н.А. Доценко. – Миколаїв: МНАУ, 2017. – 384 с.
22. Іванчук А.В. Деталі машин: Навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / А.В. Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
23. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

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

ДОДАТКИ