

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
 “ ____ ” _____ 20 __ р.
 Зав. кафедри К.Т.Н., доцент
 (науковий ступінь, вчене звання)
 _____ А.В. Войтік
 (підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)

(назва освітнього рівня)

тема роботи **«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ЩІЛИНОРІЗА»**

Виконав: студент 4 курсу, групи 41-ім
освітньої програми бакалавра
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Порхун І.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Лісовий І.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма «Бакалавр»
Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
А.В. Войтік
“ ” 20 __ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)**

студенту Порхуну Івану Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Удосконалення конструкції щілиноріза»

керівник роботи Лісовий І.О., к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
“12” травня 20 23 р. № №01-06/95

2. Строк подання студентом роботи 26.05.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи;

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ; Розділ 1. Стан питання по нарізанню щілин (глибоких борозен) та рихлення плужної підшви ґрунту; Розділ 2 Дослідження; Розділ 3. Охорона праці; Розділ 4 Обґрунтування досягнутих результатів; Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 10 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи:

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 15 жовтня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	4.11.2022 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання по нарізання щілин (глибоких борозен) та рихлення плужної підшви ґрунту	27.12.2022 р.	
3.	Розділ 2 Дослідження	13.02.2023 р.	
4.	Розділ 3. Охорона праці	03.04.2023 р.	
5.	Розділ 4. Обґрунтування досягнутих результатів	01.05.2023 р.	
6.	Виконання ілюстративної частини роботи	12.05.2023 р.	
7	Представлення роботи керівнику на перевірку	26.05.2023р.	

Студент

(підпис)

Порхун І.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Лісовий І.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПО НАРІЗАННЯ ЩІЛИН (ГЛИБОКИХ БОРОЗЕН) ТА РИХЛЕННЯ ПЛУЖНОЇ ПІДОШВИ ҐРУНТУ	6
1.1 Аналіз та класифікація технічних засобів, що застосовуються для нарізання щілин (глибоких борозен) у вертикальному мульчуванні	6
1.2 Висновки, мета і завдання дослідження	10
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ	11
2.1. Обґрунтування схема вдосконаленої машини	11
2.2. Силевий розрахунок щілиноріза	24
Висновки по розділу	26
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	27
3.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час експлуатації машини для нарізання щілин	27
3.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці на машині для нарізання щілин	28
3.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи з машиною для нарізання щілин	29
Висновки по розділу	29
РОЗДІЛ 4 ОБґРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	30
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33
ДОДАТКИ	38

ВСТУП

Близько половини ріллі в Україні розташована на схилах крутизною від – 1 до 9° і більше. Це ділянки інтенсивного прояву ерозійних процесів. Окрім високого стоку талих і зливових вод, сільськогосподарські угіддя в цілому характеризуються нестійким зволоженням [1].

Дослідженнями, що проводились на протязі багатьох років, встановлено негативний вплив плужного обробітку на ґрунт [2, 3, 4, 5]. Верхній коренеємний шар ґрунту в процесі багаторічної оранки перетворюється в однорідну безструктурну масу, яка легко піддається водній ерозії, в результаті чого знижується родючість ґрунту і його продуктивні якості. Оранка і багатократні розпушування ґрунту надмірно розпилюють ґрунт, а нижні його шари ущільнюють [2, 5].

Запропоновано декілька альтернативних технологій, однією з перспективних є обробіток ґрунту з щілюванням. Визначення оптимальних конструкцій щілинорізів потребує узагальнення способів щілювання та підбір для них технічно обґрунтованих робочих органів.

Тому питання руйнування підорної підшви та утворення щілини з одночасним заповнення її мульчою в вертикальному шарі під час проведення обробітку без пошкодження агротехнічно цінних агрегатів ґрунту є актуальним [3].

Метою роботи є: удосконалення якості роботи щілиноріза шляхом вдосконалення його конструкції.

Об'єкт дослідження – технологічний процес роботи щілиноріза для нарізання щілин (глибоких борозен) та рихлення плужної підшви при вертикальному мульчуванні ґрунту.

Предмет дослідження – залежності і взаємозв'язок показників ефективності нарізання щілин з конструкційними параметрами і режимами руху машини.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ПО НАРІЗАННЯ ЩІЛИН (ГЛИБОКИХ БОРОЗЕН) ТА РИХЛЕННЯ ПЛУЖНОЇ ПІДОШВИ ҐРУНТУ

1.1 Аналіз та класифікація технічних засобів, що застосовуються для нарізання щілин (глибоких борозен) у вертикальному мульчуванні

Досить відчутною проблемою виробництва продукції рослинництва сьогодні залишається стійка тенденція до ущільнення, деградації ґрунтів та загострення проявів ерозій земель аграрного призначення на всій території України. Ущільнення ґрунту відбувається під дією власної ваги, рослин і води, що знаходяться на поверхні поля, а також в результаті висушування ґрунту. До цих внутрішніх чинників додаються зовнішні: ущільнення мобільними агрегатами і робочими органами. В результаті щільність ґрунту збільшується, знижується мікропористість, що призводить до погіршення інфільтраційних властивостей [3].

Запобігти цьому явищу може лише більш глибокий обробіток ґрунту - до 35-45 см. Але чим глибше ми обробляємо ґрунт, тим все важчими стають знаряддя, тому це не може бути виходом. Інша справа, коли усунення підорного шару відбувається частково, через деякі проміжки між щілинами. І така технологія сьогодні завойовує все більш прихильників [2, 3].

На сьогоднішній день не існує промислового зразка **щілиноріза** для вертикального мульчування ґрунту. Відомі лише експериментальні конструкції [6-20]. Після проведеного аналізу патентних джерел була розроблена класифікація сільськогосподарських агрегатів для нарізування ґрунтових щілин з одночасним внесенням до них рослинних решток залишених на поверхні поля.

Розглянуті агрегати були поділені на дві групи. До першої групи увійшли агрегати, які виконують тільки нарізку щілини та її заповнення, тобто. одноопераційні агрегати [18, 19]. До другої групи віднесли комплексні ґрунтообробні агрегати, які крім вертикального мульчування ґрунту виконують та інші операції (Посів, коткування та ін) [6-10]. У свою чергу одноопераційні агрегати поділяються на два типи. Перший тип представляють агрегати, які як

наповнювачі використовують пожнивні залишки, попередньо подрібнені та розкидані по поверхні оброблюваного поля. При роботі таких агрегатів відбувається збір наповнювача за допомогою направників. Направники бувають активної дії (установлений привід механізму, наприклад транспортер, ротор) [10-15] та пасивного (відвал, граблі) [18, 20]. Слідом за напрямком встановлюються загортачі. Загортачі теж діляться на активного (транспортер, вентилятор) та пасивної дії (диск, смуга) [2, 3, 21-24].

Агрегати другого типу використовують наповнювач, який заздалегідь приготовлений та завантажений у бункер. З бункера в щілину наповнювач потрапляє за допомогою різних пристроїв, наприклад, транспортера, вентилятора, ротора, або самопливом, під дією гравітації. Як наповнювач при такому типі можуть використовуватися не тільки пожнивні залишки, але й інші органічні та неорганічні речовини [1, 25-27].

Кожному типу агрегатів властивий ряд переваг та недоліків. Комплексні агрегати замінюють одночасно цілий набір машин, однак вони громіздкі і мають металомістку конструкцією. При цьому знижуються коефіцієнти готовності, технічного використання та використання змінного та експлуатаційного часу. Також це призводить до утруднення обслуговування та зниження експлуатаційної надійності агрегату загалом [28]. Одноопераційні агрегати мають кращу рівномірність закладення наповнювача по висоті щілини в порівнянні з агрегатами, які збирають пожнивні залишки, що знаходяться безпосередньо на поверхні поля, що обробляється. При цьому вони мають ряд істотних недоліків, головний з яких – це необхідність для них заздалегідь проводити заготівлю, зберігання та транспортування наповнювача. Також вони складні у виготовленні та експлуатації. Все це ставить питання про їхню економічну доцільність. Агрегати першого типу, навпаки, прості, надійні, мають велику продуктивність, тому що не вимагають частих зупинок для заправки бункера. Все це говорить про перспективність їх подальшого розвитку. Першочерговим завданням такого розвитку є покращення якості вертикального мульчування за рахунок загортання соломи з виходом на поверхню у вигляді

мікрокуліси та з повітряним простором між дном щілини та соломою. Особливої уваги заслуговують направники грабельного типу [29, 30]. Вони в значно меншій мірі захоплюють ґрунт і направляють в область щілини в порівнянні із направниками відвального типу. Дискові загортачі менш схильні до забивання і мають меншим тяговим опором порівняно із смуговими [31].

Переваги технології щілювання багато, серед яких: зменшується зона ущільнення підорних шарів ґрунту; збільшується циркуляція вологи по глибині; збільшується використання поживних речовин із глибоких шарів ґрунту; формується потужна розвинена коренева система рослин за рахунок активізації окисно-відновлювальних процесів в ґрунті, які сприяють більш швидкому її розвитку; зменшується стікання води на полях із великим схилом, підвищується накопичення вологи в глибоких шарах ґрунту; зменшується загальне окислення ґрунту, а також зменшуються втрати N, P, K; зменшується загибель озимих культур за рахунок відтоку води з поверхні поля та покращення мікроклімату ґрунту [2].

Проте під час виконання цієї операції можна відмітити і деякі недоліки, серед яких неповне підрізання бур'яну, неможливість отримання в результаті обробки суцільного дна борозни, низький рівень загортання поживних решток, насіння бур'янів та добрив, утворення на поверхні поля великих брил тощо [3].

Процес внесення органічних листостеблових матеріалів включає нарізку щілин перпендикулярно поверхні ґрунту з одночасним заповненням їх листостебловим матеріалом. Перша частина цього процесу (нарізка щілин в ґрунті) практично вирішена, і усі автори майже однотайно використовують у своїх роботах для цієї мети пасивні ножі-щіленаріза різних варіантів конструкцій, друга ж частина (заповнення щілин) вирішена частково, що підтверджується постійним пошуком пристроїв для здійснення цієї операції і тривалими дослідженнями в цьому напрямі.

Аналізуючи публікації і конструктивні розробки по укладанню листостеблових матеріалів в щілину, приходимо до висновку, що більшість

відомих конструкцій мають один істотний недолік, який не дозволяє якісно виконувати цю операцію: листостеблові матеріали ущільнюються безпосередньо в щілині або ж між боковинами щілиноріза у момент подачі їх в щілину.

При такій технології заповнення щілин виникають значні сили тертя об стінки щілини або боковини щіленаріза, що призводить до зависання соломи у верхній частині щілини і забивання простору між боковинами, а, отже, до припинення процесу заповнення щілини соломною.

У ряді винаходів, присвячених цій проблемі пропонують інший вихід з цієї ситуації, соломю пропонується заздалегідь стискати, безпосередньо перед укладанням в щілину, до розмірів, менших розмірів поперечного перерізу боковин. Цей спосіб більш ефективний, оскільки виходить досить вузька щілина, але конструкція виходить металоємною, енерговитратною через безлічі транспортерів. В цьому випадку важ при нерівномірній подачі соломи залишилася між боковинами, встигає розширитися і заклинити простір між боковинами до потрапляння нової порції соломи. При цьому виникають значні сили тертя, які перешкоджають проходженню соломи через боковини в щілину. Знову порція соломи, що поступила в простір між боковинами, ще більше розклинюватиме ту, що залишилася раніше там соломю і процес заповнення щілини мульчуючим матеріалом припиниться. Укладання цієї машиною виконується стабільно тільки при сухому матеріалі. Це обмежує період застосування такого пристрою, оскільки в агротехнічні строки операцій щілювання нерідко випадають дощі.

Таким чином, виконана класифікація сільськогосподарських агрегатів для вертикального мульчування ґрунту дозволила виявити перспективні напрямки вдосконалення знарядь такого типу.

1.2 Висновки, мета і завдання дослідження

Метою роботи є: удосконалення якості роботи щілиноріза шляхом вдосконалення його конструкції.

Завдання досліджень:

- необхідно провести аналіз запропонованих конструкцій щілинорізів при вертикальному мульчуванні ґрунту та дати їх агротехнологічну оцінку;
- на основі аналізу існуючих конструкцій розробити класифікацію технічних засобів, що використовуються для нарізання щілин (глибоких борозен) та рихлення плужної підшви ґрунту при вертикальному мульчуванні ґрунту;
- на основі аналізу конструкцій, робочих органів виявити напрямки вдосконалення щілиноріза-наповнювача;
- розрахувати конструктивні параметри щілиноріза-заповнювача та встановити вплив конструкційних параметрів і режимів руху на продуктивність, і якість виконання технологічного процесу;
- провести аналізу небезпечних і шкідливих факторів, які можуть виникнути при експлуатації агрегату розробити заходи для забезпечення безпечної роботи обслуговуючого персоналу;
- обґрунтувати ефективність запропонованої конструкції.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування схема вдосконаленої машини

В результаті патентних досліджень [6-20], ознайомлення з описами винаходів в області конструкцій машин для нарізки і мульчування водовбираючих щілин, а також з конструкціями існуючих машин і ґрунтуючись на теоретичних дослідженнях можна зробити наступні висновки, що найбільш надійним способом заповнення щілини мульчею, менш залежним від погодних умов являється пневматичний, за допомогою косарки-подрібнювача і направляючого кожуха (рис. 2.1), що і було прийнято за основу при розробці щілиноріза-заповнювача.

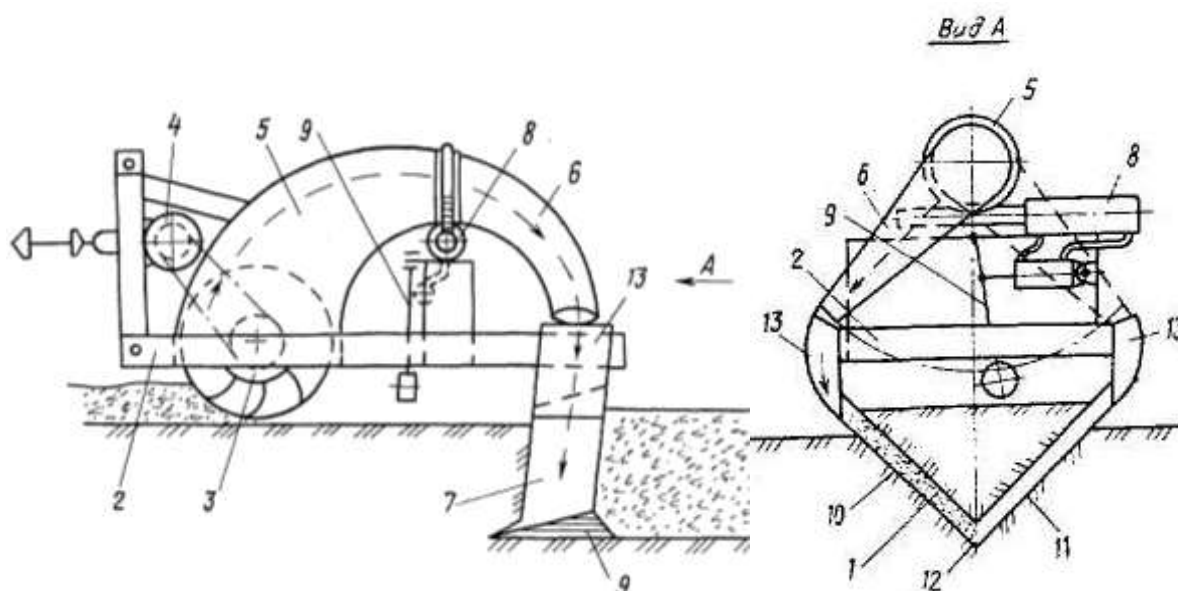


Рис 2.1. Технологічна схема прототипу щілиноріза-наповнювача [10]

Все ж, незважаючи на приведені переваги, існує й значна кількість недоліків. До недоліків цієї машини віднесемо низьку продуктивність, нестабільні врожаї через руйнування щілини вже на 2-й рік, внаслідок нерівномірного заповнення щілини, яке, у свою чергу, обумовлене недоліками конструктивного виконання механізму регулювання ширини щілини (додаток А рис. 2).

Ознайомившись з усіма перевагами і недоліками машини-аналога [32], в даній роботі пропонуємо внести ряд конструктивних змін, спрямованих на підвищення продуктивності машини, а також на якісніше заповнення щілин мульчою.

Для збільшення продуктивності пропонується заміна одного щілиноутворювача на два встановлених симетрично. За агротехнічними вимогами найкращу відстань між нарізаними щілинами складає 0,8 -1,5 м.

Базова машина з одним щілинорізом нарізає щілини з відстанню 1,5 м. одна від одної, при цьому продуктивність машини складає 0,97 га/год.

При установці на машині двох ножів по бічних краях рами вдається забезпечити нарізку щілин приблизно з такою ж відстанню як на базовій машині або трохи менше, але при цьому істотно скоротити кількість технологічних проходів машини по полю, а значить збільшити продуктивність машини за рахунок збільшення фактичної ширини захвату.

Установка на рамі двох ножів зажадає зміни конструкції дефлектора, який доведеться роздвоїти для забезпечення подачі подрібненого матеріалу в дві щілини.

Ще одним недоліком машини прототипу, як сказано вище, являється низька якість заповнення щілини мульчою. Пояснюється це наступним. Для регулювання ширини щілини на ножі-щілерізі базової машини встановлений досить складний механізм (додаток А рис. 2), який складається із значної кількості деталей: двох трикутних пластин, приварених до відвалів, сполучених між собою пружинами. Пружини, у свою чергу, проходять через регулювальну вісь, в яку вкручено два регулювальні болти.

Головним недоліком цього механізму є складність його конструкції і значні габаритні розміри. Він займає практично увесь простір між відвалами. Це є негативним, оскільки саме в простір між відвалами подається подрібнена солома. Зустрічаючи на своєму шляху пружини, вона зависає, забивається між ними, саме це сприяє нерівномірному заповненню водовбирної щілини соломою. Внаслідок чого щілина починає руйнуватися вже наступного року, що

неприпустимо за агротехнічними вимогами, які пред'являються до машин для вертикального мульчування ґрунту органічними речовинами.

Зміна механізму регулювання ширини щілини (додаток А рис. 2) на гвинтово-пружний стягувач (додаток А рис. 3) дозволить значно спростити конструкцію, поліпшити заповнення щілини соломною, тобто підвищити рівномірність цього заповнення за об'ємом щілини.

Завдяки цьому водовбирна щілина може функціонувати впродовж 3-4 років, і сприятиме отриманню стабільного врожаю.

Машина, що вдосконалюється, є комбінованою, тобто включає можливість проведення кількох технологічних операцій: нарізання щілини, зріз, подрібнення і укладання мульчі в щілину.

За першу операцію: нарізання щілини відповідають ножі-щілиноріза. Для забезпечення інших операцій краще всього підходить косарка-подрібнювач. Виходячи з цього ширину захвату машини, доцільно прийняти близько 1,5 м.

З аналізу літературних джерел видно, що щілювання як агротехнічний прийом може з успіхом застосовуватися як на ріллі, озимих посівах, так і на луках, пасовищах, а також на полях багаторічних трав [2, 28-30, 32].

Мабуть цим пояснюється те, що рекомендації по параметрах щілювання (глибина щілини, відстань між щілинами) суперечливі. Тут проявляються також і зональні особливості. В той же час, незважаючи на різноманітність інженерних ідей, і їх втілено [6-20], за багатьма показниками і по багатьох параметрах щілиноріза близькі за своєю конструкцією і подібні за принципом дії.

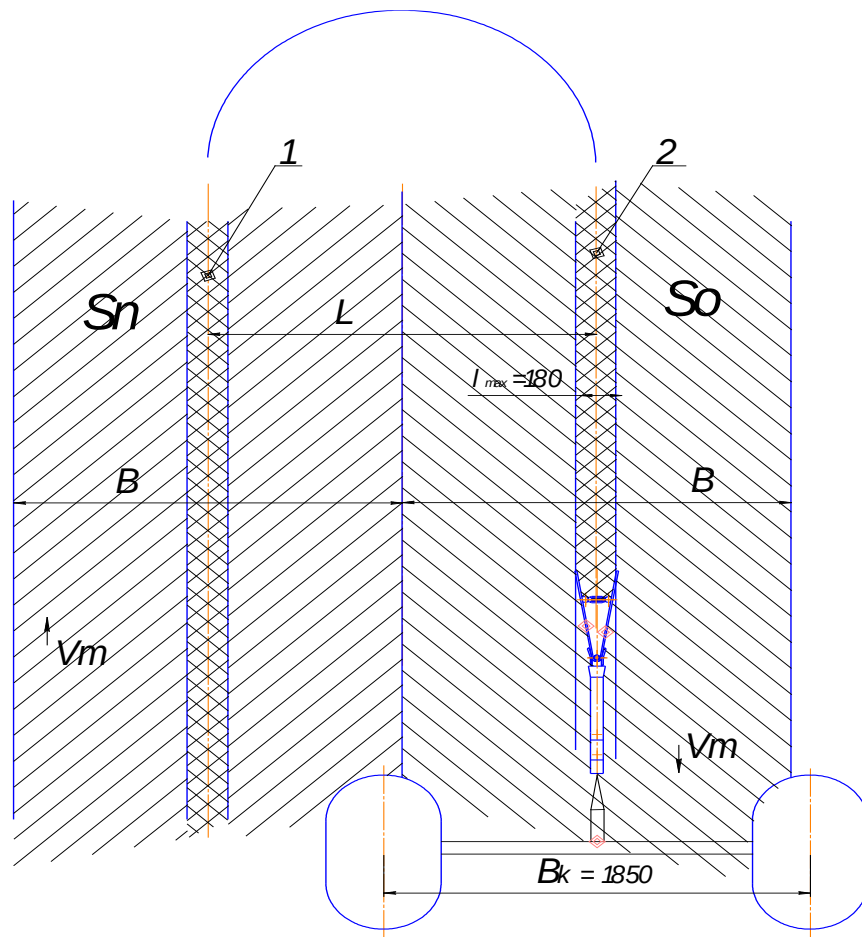
Встановлено, що технологічний процес, який виконується робочим органом щілинорізом, аналогічний роботі звичайного клину і полягає в попередньому стисканні часток ґрунту до напруги, що перевищує межу міцності, з наступним її зрушенням [5, 21, 24, 26]. Зрушення або переміщення, а, отже, і характер стискання часток ґрунту безпосередньо пов'язані з напрямом дії робочого органу. Величина і напрям дії обумовлюються формою і параметрами щілиноріза.

А) **Робоча швидкість**, необхідна для нарізання щілин в схожих машинах коливається від 3 до 11 км/год. залежно від глибини обробітку, щільності ґрунту та ін. чинників [3, 25, 26]. Робоча швидкість машини щілиноріза-наповнювача, що розробляється, має бути оптимальною як для нарізки щілин в ґрунті, так і для задовільного косіння трави, сидератів або підбору соломи з валка. Прийmemo робочу швидкість для цих двох операцій $V_p=6,5$ км/год, таку ж, як і у машини прототипу [10].

Б) **Ширина нарізаної щілини** $l_1...l_2$ при вертикальному мульчуванні пасивними робочими органами має значний вплив на якісні показники процесу. Зі збільшенням ширини зростає зона деформації, розпушеність, руйнування поверхневого шару ґрунту, висота ґрунтових валиків. Усі ці чинники призводять до підвищення водовсмоктуючої здатності ґрунту [1, 2].

Вертикальне мульчування ґрунту розробили і запропонували співробітники університету в Пердью (штат Індіана, США) G. M. Spain, G. B. Liljedahl і D. McCaп. Вони рекомендували застосовувати цей спосіб на ґрунтах з водотривким ілювіальним горизонтом, щоб збільшити водопроникність таких ґрунтів і інтенсивність поглинання води, що збирається на поверхні поля. Вони запропонували нарізати на відстані 2 м один від одного V - подібні щілини глибиною близько 0,5 м і шириною вгорі 0,152 м і знизу 0,076 м та заповнювати їх подрібненими соломою, стеблами кукурудзи і пожнивними залишками різних сільськогосподарських культур [28-30, 32].

В багатьох конструктивних рішеннях щілинорізи приймають значну ширину нарізуваної щілини в межах 150-200 мм [3, 26]. Пояснюється це тим, що у разі нарізання щілини менше ширини 40-80 мм, при заповненні щілин виникають значні сили тертя об стінки щілини або боковини щілиноріза. Це призводить до зависання листостеблового матеріалу у верхній частині щілини і забивання простору між боковинами, а, отже, припиняється процес заповнення щілини матеріалом. Тому, з врахуванням світового досвіду встановимо максимальну ширину нарізуваної щілини 0,18 м. При цьому передбачимо можливість регулювання цієї ширини в межах 0,138...0,180 м (рис. 2.2) .



S_n , S_o – площа поля, що обробляється при прямому і зворотному ході машини відповідно; 1, 2 – нарізувані щілини.

Рис. 2.2. Технологічна схема нарізування щілин

В) На сьогодні в різних конструкціях щілинорізів **відстань L між стійками ножів-щілинорізів** (нарізуваними щілинами) приймають в межах 0,5-4 м. Каліфорнійський університет пропонує робити вертикальне мульчування посівів люцерни, на глибину 0,508 м з відстанню між щілинами 1,524 м [3, 26].

Ця відстань безпосередньо пов'язана з агротехнічними вимогами, що пред'являються до нарізування щілин і залежить від виду і якості виконуваних робіт [3, 26].

У базовій конструкції машини [10] на рамі встановлений один щілиноріз і процес роботи цієї машини протікає за схемою, представленою на рис. 2.2.

В цьому випадку відстань між нарізуваними щілинами L дорівнює ширині захоплення машини B , тобто $L=B=1,5$ м. Продуктивність машини за одну годину основного часу складає:

$$W = B \cdot V_m = 1,5 \cdot 6,5 \cdot 1000 = 9750 \text{ м}^2/\text{год} = 0,975 \text{ га/год}.$$

Як відмічено раніше нами запропоновано на рамі машини встановити два щілинорізи без зміни її ширини захвату B . Щілинорізи розташовуватимуться по лівому і правому краях рами.

В цьому випадку відстань між щілинами L визначатиметься за формулою:

$$L = B - 2 \cdot \frac{l_{\max}}{2}, \quad L = 1,5 - 2 \cdot \frac{0,18}{2} = 1,32 \text{ м}.$$

де $l_{\max}$ – максимальна ширина щілини $l_{\max} = 0,18$ м

Для забезпечення рівномірності нарізування щілин необхідно після розвороту контролювати відстань між колесом трактора і нарізаною щілиною Δ . Згідно з рис. 2.2.

$$\Delta = L + \frac{L}{2} - \frac{B_k}{2} = 1320 + \frac{1320}{2} - \frac{1850}{2} = 1055 \text{ мм} = 1 \text{ м},$$

де B_k – ширина колії трактора.

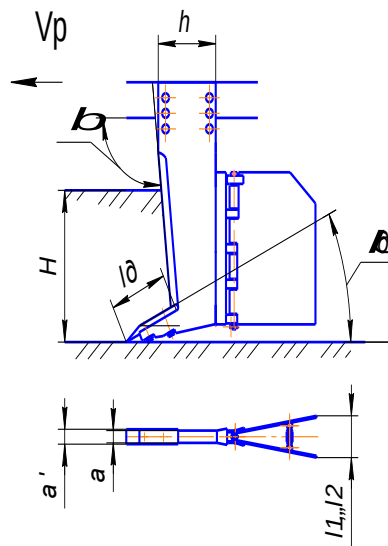
Завдяки запропонованій схемі нарізування щілин фактична ширина захоплення машини буде:

$$B_{cp} = B + \frac{L}{2} - \frac{l_{\max}}{2} = 1,5 + \frac{1,32}{2} - \frac{0,18}{2} = 2,07 \text{ м}.$$

Продуктивність машини за одну годину основного часу складе:

$$W = B_{cp} \cdot V_m = 2,07 \cdot 6,5 \cdot 1000 = 13455 \text{ м}^2 / \text{год} = 1,34 \text{ га} / \text{год},$$

що на 39 % вище, ніж у базової машини.



β – кут установки ножа; B – ширина ножа; $\beta\delta$ – кут установки долота;

$B\delta$ – ширина долота; $l\delta$ – довжина долота

Рис. 2.4. Основні параметри робочого органу ножа-щілиноріза

Так, за даними Сапункова А.П. і Ляшенко В. В. при збільшенні глибини щілини більше 45 см різко збільшується середня твердість шару ґрунту, що прорізається, а швидкість вбирання вологи при цьому збільшується незначно. Волков В. П. дослідив процес вологовбирання на щільованих ділянках в стиглому і мерзлому стані ґрунту також рекомендує нарізувати щілини глибиною 45-50 см [3, 21, 24].

За даними А.В. Копитовских, ця глибина буде оптимальною. При глибині щілини 0,5 м, можливо отримати максимально можливу кількість сільськогосподарської продукції з найменшими витратами енергії [3, 21, 24].

Таким чином, спираючись на численні експериментальні дані оптимальною глибиною водовбирних щілин є глибина 45-50 см. В нашій розробці передбачимо можливість зміни глибини нарізуваної щілини в межах 40 - 45 - 50 см, для чого на стійці щілиноріза виконаємо отвори для кріплення її на рамі на трьох рівнях [3, 21, 24].

Д) Товщина стійки a (ширина ножа) (рис. 2.4) безпосередньо залежить від параметра H - для більшої глибини обробку потрібна ширша стійка. Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням товщини ножа зростає

переміщення часток в ґрунті, сприяючи поширенню зони деформації. При щільюванні полів з багаторічними травами з метою зниження зони деформації необхідно йти шляхом зниження товщини ножа щілиноріза. Вивчивши конструкції з аналогічною глибиною обробки, приймаємо a рівною 0,04 м [3, 21, 24].

Е) **Кут установки стійки ножа відносно площини рами β .** Для визначенням оптимального кута установки β необхідно проводити польові випробування. Заздалегідь виготовлені зразки стійок щілиноріза-плоскоріза з кутами установки ножів 65° , 85° і 105° порівнюються шляхом тензометрування.

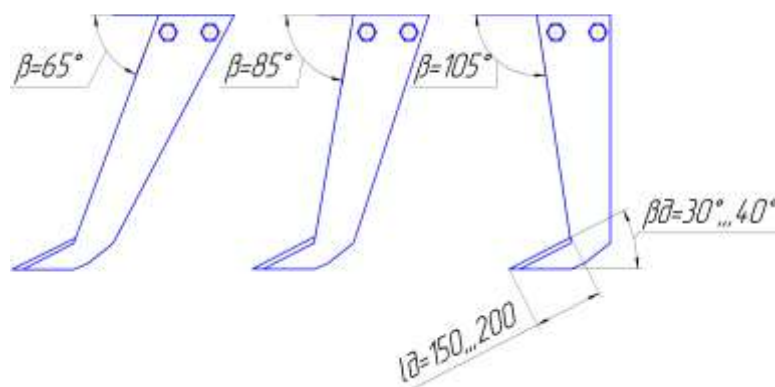


Рис. 2.5. Схема ножів-щілинорізів з різним кутом передньої грані

За результатами цих досліджень рекомендується оптимальний кут вертикальної різальної кромки стійки до горизонталі $\beta=85^\circ$. Саме при $\beta=85^\circ\ldots90^\circ$ забезпечується мінімальний опір стійки. Було виявлено, що збільшення кута установки ножа щілиноріза зменшує спучення ґрунту і збільшує горизонтальну деформацію, вертикальне стискування в цьому випадку спрямоване в глибину горизонту.

В ході проведених випробувань було виявлено, що оптимальним кутом для щілиноріза є $\beta=85^\circ$. Кут $\beta=65^\circ$ - забезпечує найменшу енергоємність процесу. Використання кута $\beta=105^\circ$ дозволить зменшити спучення ґрунту. Цей кут слід рекомендувати для щілиноріза-наповнювача (що поєднує в собі дві операції: нарізування щілин і одночасне заповнення їх подрібненою соломкою). При меншому спученні ґрунту полегшується заповнення щілини мульчуючим

матеріалом. Тому прийнемо для проектування кут $\beta=105^\circ$ [3, 21, 24].

Ж) Довжина долота l_∂ і кут установки долота β_∂ .

Кут установки долота β_∂ в основному впливає на вертикальне стискування ґрунту. Його величина має бути такою, щоб забезпечувався рух ґрунту по долоту. Для знаходження цього кута β_∂ розглянемо фізичну модель руху елементарної частки ґрунту по долоту (рис 2.6) [26].

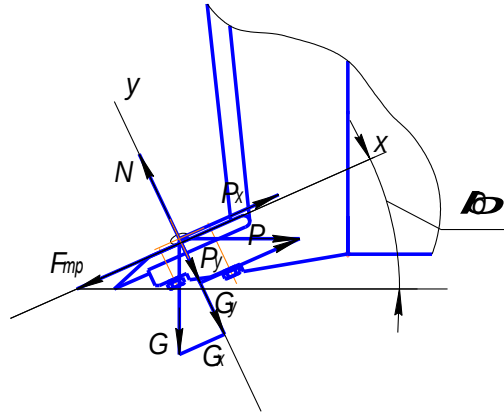


Рис. 2.6. Схема визначення кута установки долота

$$1 - \mu \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\partial(\text{гран.})}) = 0,$$

$$\operatorname{tg}(\beta_{\partial(\text{гран.})}) = \frac{1}{\mu},$$

$$\beta_{\partial(\text{гран.})} = \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{\mu}\right). \quad (2.1)$$

Підставивши значення μ рівне 0,7, отримаємо $\beta_{\partial(\text{гран.})} = 55^\circ$.

Отже для забезпечення руху ґрунту по долоту кут β_∂ має бути $\beta_\partial < 55^\circ$.

В ході польових випробувань щілиноріза було встановлено, що оптимальний кут β_∂ повинен знаходитися в межах $30...40^\circ$. Установка раціонального кута різання долота щілиноріза дозволяє знизити енергоємність процесу щілювання. Довжина долота повинна відповідати 150...300 мм, оскільки подальше збільшення довжини долота l_∂ (більше 200 мм) збільшує не лише зминання ґрунту, але і зону деформації. Виходячи з приведених даних

приймаємо $l_0=150$ мм і $\beta_0=35^\circ$ [3, 21, 26].

3) Розрахунок мульчуючого матеріалу

Для заповнення щілин найдоцільніше використовувати подрібнену соломку зернових культур, оскільки вона має високі інфільтраційні властивості і підвищує родючість ґрунту, а в сільськогосподарському виробництві використовується лише 40% її щорічних запасів [1, 4, 26].

Виходячи із сказаного та застосувавши отримані дані можна підрахувати необхідну кількість соломи у валку (G), для заповнення l пог. м. щілини, за наступною формулою:

$$G = l_{\max} \cdot H \cdot \rho, \quad G = 0,18 \cdot 0,5 \cdot 100 = 1,62 \text{ кг/м.} \quad (2.2)$$

де $l_{\max}$ – ширина щілини, м; H – глибина щілини, м; $\rho = 90 - 110$ кг/м³ – рекомендована густина вкладання соломи в щілину.

Вихідними даними для розрахунку є: швидкість машини $V_M = 6,5$ км/год = 1,8 м/с; ширина захвату $B = 1,5$ м (прийнята рівною ширині захвату машини); діаметр стебел соломи $d = 2 - 4$ мм; критична швидкість різання стебел $V_{кр} = 40$ м/с; довжина різання $l_p = 60$ мм.

Визначення частоти обертання ротора

Кутова швидкість ротора визначається із умови:

$$V_{\min} > V_{кр}, \quad (2.3)$$

де $V_{\min}$ – мінімальна абсолютна швидкість ножа в зоні різання, м/с;

$V_{кр}$ – критична швидкість безпідпорного зрізання стебел, м/с.

$$V_{\min} = \sqrt{V_M^2 + 2 \cdot V_M \cdot \omega \cdot \delta + R^2 \cdot \omega^2} > V_{кр}, \quad (2.4)$$

де V_M – швидкість машини, м/с; R – радіус ротора, м. (приймається таким як у косарки); δ – перевищення осі ротора над верхівками стебел; звичайно $\delta = 30 \dots 60$ мм. Приймаємо $\delta = 45$ мм.

Із формули (2.4) знайдемо кутову швидкість:

$$\omega > \frac{-2 \cdot V_M \cdot \delta + \sqrt{(2 \cdot V_M \cdot \delta)^2 - 4 \cdot R^2 \cdot (V_M^2 - V_{кр}^2)}}{2 \cdot R^2}. \quad (2.5)$$

Отже, дійсна кутова швидкість

$$\omega > \frac{-2 \cdot 1,8 \cdot 0,045 + \sqrt{(2 \cdot 1,8 \cdot 0,045)^2 - 4 \cdot 0,295^2 \cdot (1,8^2 - 40^2)}}{2 \cdot 0,295^2} = 134,49 \text{ с}^{-1}.$$

Для подальших розрахунків $\omega = 150 \text{ с}^{-1}$.

Частота обертання ротора

$$n = \frac{30 \cdot 150}{3,14} = 1433 \text{ об/хв.}$$

Визначення кількості та параметрів ножів

Кількість ножів z , що йдуть по одному сліду, визначається виходячи із заданої довжини різання l_p , м:

$$z = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M}{l_p \cdot \omega} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,8}{0,06 \cdot 150} = 1,17 \text{ шт.} \quad (2.6)$$

Найбільш ефективна робота відбувається при парному числу рядів ножів не більше 4-х. Приймаємо $z = 1$, тоді довжина різання буде:

$$l_p = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_M}{z \cdot \omega} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,8}{1 \cdot 150} = 0,068 \text{ м.} \quad (2.7)$$

Ширину ножа b , мм, приймаємо виходячи із максимального діаметра стебла $d_{\max}$, культури, що збиралася:

$$b = d_{\max} + (30 \div 50)_{\text{мм}} = 30 + 40 = 70_{\text{мм}} = 0,07 \text{ м.} \quad (2.8)$$

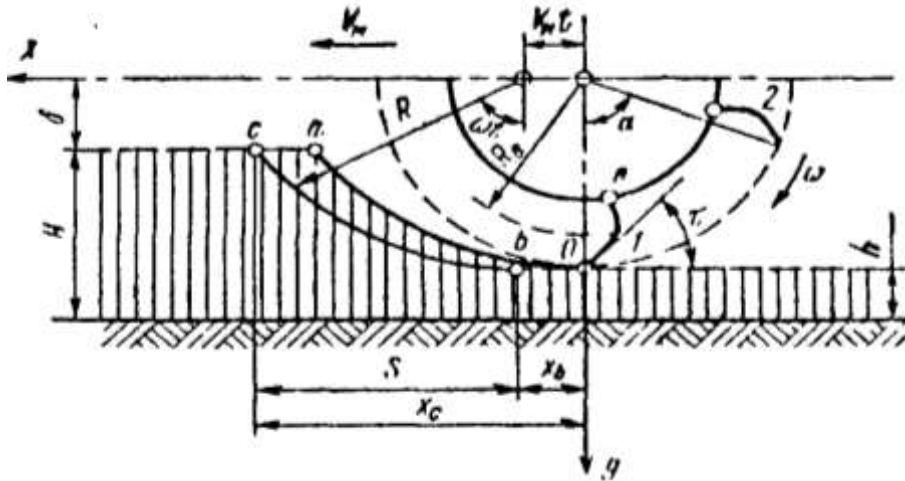


Рис. 2.7. Визначення зони зрізання стебел [26]

Довжину робочої частини ножа af (рис. 2.7) вибирають із наступних роздумів: до кінця фази різання на робочій частині ножа накопичуються зрізані частини стебел за рахунок підпору не зрізаних рослин, а потім під дією відцентрових сил вони сходять із поверхні ножа, а отже:

$$\overline{af} \geq N \cdot d, \quad (2.9)$$

де N – кількість стебел на довжині зони різання, шт.; d – діаметр стебел зібраної культури, мм.

Якщо K – густина стеблостою, шт./м², то $\sqrt{K}$ – кількість стебел, розміщених на одиниці довжини. Тоді:

$$N = \sqrt{K} \cdot S_p^z, \quad (2.10)$$

де S_p^z – зона різання по горизонталі, м:

$$\begin{aligned} S_p^z &= \frac{V_M}{\omega} \cdot \left(\frac{\alpha}{2} + \arccos \frac{\delta}{R} \right) + \sqrt{R^2 - \delta^2} = \\ &= \frac{1,8}{150} \cdot \left(\frac{3,14}{2} + \frac{3,14}{180} \cdot \arccos \frac{0,045}{0,295} \right) + \sqrt{0,295^2 - 0,045^2} = 0,327 \text{ м}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де α – центральний кут між двома суміжними, але такими, що рухаються по одному сліду ножами, рад.

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{z} = \frac{2 \cdot 3,14}{2} = 3,14 \text{ рад} = 180^\circ. \quad (2.12)$$

$$N = \sqrt{3 \cdot 10^3} \cdot 0,329 = 18,02 \text{ шт.}$$

$$\overline{af} = 18,25 \cdot 0,0025 = 0,042 \text{ м.}$$

Приймаємо довжину робочої частини ножа $\overline{af} = 0,05 \text{ м.}$

2.2. Силевий розрахунок щілиноріза

При розробці будь-яких ґрунтообробних машин виникає необхідність обґрунтування раціональних параметрів проектованої машини, що забезпечують виконання їх технологічного процесу. У зв'язку з цим, не можуть залишатися осторонь питання, пов'язані із стійкістю ходу робочих органів по глибині і ширині обробки, з надійністю агрегату. Ці питання дуже актуальні і можуть бути вирішені за допомогою аналізу силового навантаження робочих органів і механізмів агрегату в цілому.

В процесі роботи при прямолінійному русі щілиноріза на його ножі-щілинорізи діє велика кількість елементарних сил реактивного опору ґрунту. Детально врахувати силову взаємодію робочого органу з ґрунтом практично неможливо. Тому, умовно приймаємо, що усі елементарні сили можна представити двома складовими R_x і R_z (рис. 2.8).

В процесі роботи на щілиноріз діють наступні сили:

- сила тяжіння щілиноріза $G = m \cdot g$, (2.13)

$$G = m \cdot g = 1125 \cdot 10 = 11250 \text{ Н.}$$

- сумарна горизонтальна складова сил опору ґрунту ножами щілиноріза

R_x :

$$R_x = \eta \cdot l_{\max} \cdot H \cdot \kappa \cdot n, \quad (2.14)$$

де $\eta = 0,85$ – ККД щілиноріза; $H = 0,5 \text{ м}$ – максимальна глибина нарізуваної щілини;

$l_{\max} = 0,18 \text{ м}$ – максимальна ширина нарізуваної щілини; $\kappa = 0,5 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ – коефіцієнт питомого опору ґрунту; $n = 2$ – число ножів-щілинорізів.

$$R_x = 0,85 \cdot 0,5 \cdot 0,18 \cdot 0,55 \cdot 10^5 \cdot 2 = 8415 \text{ Н;}$$

- сумарна вертикальна складова сил R_z :

$$R_z = \delta \cdot R, \quad (2.15)$$

де $\delta = R_z / R_x = 0,2$ – коефіцієнт пропорційності.

$$R_z = 0,2 \cdot 8415 = 1683 \text{ Н.}$$

Сила опору ґрунту в поздовжньо-вертикальній площині дорівнює:

$$R_{xz} = R_x \cdot \sqrt{1 + \delta^2}, \quad R_{xz} = 8415 \cdot \sqrt{1 + (0,2)^2} = 8581,6 \text{ Н.} \quad (2.16)$$

Прикладена ця сила до середнього «фіктивного» ножа.

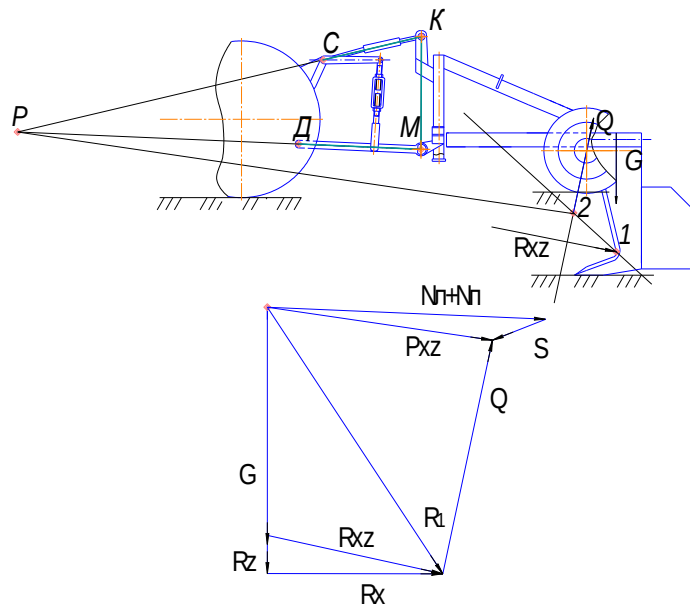


Рис. 2.8. Аналіз силового навантаження щілиноріза

Нині існує графічний і графоаналітичний методи аналізу силового навантаження навісних конструкцій в подовжньо-вертикальній площині. Завдання по визначенню всіх сил, прикладених до щілиноріза проведемо графічним шляхом. Рішення почнемо з побудови розрахункової схеми і силового багатокутника (рис. 2.8).

Побудову силового багатокутника почнемо з геометричного складання сил G і R_{xz} , визначивши рівнодіючу R_1 . З кінця вектору R_{xz} на силовий багатокутник проведемо напрям реакції Q (реакція з боку ґрунту на опорне колесо), відхилений від вертикалі на кут $\varphi = 12^\circ$.

Потім на схемі щілиноріза з точки 1 перетину R_{xz} і G проводимо пряму, паралельну рівнодійною R_1 , до перетину її з напрямом реакції Q (на схемі точка 2). Визначимо миттєвий центр обертання навісної системи - т. P і з'єднаємо його прямій з точкою 2. Пряма P_2 визначає напрям рівнодіючих усіх сил P_{xz} .

Далі з початку силового багатокутника проводимо пряму, паралельну прямій P_2 , до перетину її з напрямом вектору реакції Q . В результаті дії на щілиноріз зовнішніх сил G і R_{xz} виникатимуть зусилля у верхніх ланках S і в нижніх ланках $N_{л+Нп}$. Для визначення S , $N_{л+Нп}$ з початку силового багатокутника проводимо пряму, паралельну верхній ланці навісного пристрою, а з кінця вектору Q проводимо пряму, паралельну нижнім ланкам механізму навіски, до перетину з прямою, паралельною верхній ланці.

Аналіз силового навантаження приведений на рис. 2.8 показав, що $P_{xz} = 10919,6 \text{ Н}$; $Q = 11485,68 \text{ Н}$; $N_{л+Нп} = 13381,28 \text{ Н}$ і $S = 2758,8 \text{ Н}$.

Для вибору необхідного тягового класу трактора слід керуватися наступною нерівністю:

$$P_{xz} < P_{кр}, \quad (2.17)$$

де P_{xz} – горизонтальна складова сил опору щілиноріза;

$P_{кр} = 30000 \text{ Н}$ – зусилля на крюку трактора (Т-150К – класу 30 кН)

$$10919,6 \text{ Н} < 30000 \text{ Н}.$$

Висновки до розділу

Із отриманих результатів можна зробити наступний висновок, що трактор Т-150К за тяговим зусиллям на крюку забезпечить нормальну роботу щілиноріза.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Нинішній рівень інноваційного розвитку аграрного сектору економіки та соціально-економічні орієнтири розвитку сучасного суспільства не спроможні створити сприятливі умови для забезпечення добробуту людини, збереження її здоров'я. Особливо гостро ця проблема постає на підприємствах аграрного профілю, де поруч з новою технікою та інноваційними технологіями у сільському господарстві присутні застаріла матеріально-технічна база виробництва та частка немеханізованої праці при незадовільних обсягах фінансування заходів з охорони праці. Такі фактори приводять до високого рівня травматизму, професійних захворювань і, як наслідок, до збільшення видатків підприємства та держави на виплати й компенсації потерпілим. Тому вкрай необхідним є вдосконалення системи управління охороною праці як важливого фактора підвищення ефективності виробництва [32].

3.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час експлуатації машини для нарізання щілин

Небезпечні і шкідливі фактори, які можуть виникнути під час експлуатації щілиноріза наступні:

- механізми, які рухаються (рух самого агрегату);
- підвищений рівень шуму: внаслідок роботи двигуна трактора;
- підвищений рівень вібрації: внаслідок роботи двигуна трактора та нерівностей рельєфу поля;
- високий рівень запилення повітря робочої зони механізатора;
- шкідливі речовини: паливно-мастильні матеріали: мастило, та ін.;
- пожежонебезпечність;
- електронебезпека – виникає під час роботи під лініями електропередач;
- наявність гострих країв елементів конструкції щілиноріза;

- широкий інтервал параметрів мікроклімату, в залежності від кліматичних умов під час обробітку ґрунту;
- виконання польових робіт при недостатньому природному освітленні.

3.2 Розробка організаційно-технічних заходи по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці на машині для нарізання щілин

При експлуатації щілиноріза для попередження нещасних випадків забороняється:

- рух агрегату зі швидкістю більше 15 км/год;
- залишати щілиноріз у піднятому стані;
- виконувати ремонт, змащення, підтягування кріплення, очищення щілиноріза під час руху агрегату і при включеному двигуні трактора;
- під час регулювання механізму включення гідропідйомника і при переведенні щілиноріза в транспортне положення знаходитися біля щілиноріза стороннім особам;
- транспортувати щілиноріз без світлоповертачів в нічний час доби.

Всі роботи пов'язані з ремонтом і технічним обслуговуванням, виконувати тільки при відчепленому або опущеному на землю щілинорізові і при зупиненому двигуні трактора.

При транспортуванні щілиноріза по поганих дорогах і містках швидкість не повинна перевищувати 5 км/год.

Для виключення самовільного опускання щілиноріза при транспортних переїздах начіпну систему трактора зафіксувати в транспортному положенні спеціальним механічним пристроєм.

3.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи з машиною для нарізання щілин

Отже, проаналізувавши та виявивши небезпечні зони (додаток **рис. 11**) можна змодельовати виникнення небезпечних умов, а в подальшому і ситуацій при недотриманні хоча б однієї з вище перерахованих вимог. Наприклад розглянемо по одній небезпечній умові, що може виникнути в кожній небезпечній зоні [33] (додаток **рис. 11**).

Небезпечна умова один НУ1 – надлишковий тиск у гідросистемі. НУ2 – машина знаходиться у відчепленому стані поза майданчиком. НУ3 – розкидач пофарбований в темні кольори. НУ4 – працівник не провів ТО у встановлений строк. НУ5 – рухомі частини агрегату не захищені. НУ6 – механізатор не пройшов інструктаж перед початком робіт. НУ7 – нехтування вимогами виробничої санітарії [33].

Наведені вище небезпечні умови при поєднанні з небезпечними діями працівника можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій, а в подальшому і до отруєнь, аварій, травм чи захворювання. Так, НД1 – працівник знаходиться поблизу гідросистеми. НД2 – навіска агрегатів до трактора. НД3 – працівник не розрахував габарити МТА. НД4 – налагодження чи проведення технічного огляду МТА. НД5 – робота без засобів індивідуального захисту. НС1 – порив магістралей гідросистеми. НС2 – падіння агрегатів при під'єднанні до трактору. НС3 – наїзд на працівника. НС4 – травмування працівника при налагодженні агрегату. НС5 – зоонозні захворювання можуть потрапити організм працівника [33].

Для попередження виникнення аварій, травм, отруєнь чи захворювання необхідно дотримуватись всіх вимог безпеки в усіх небезпечних зонах, так як порушення хоч однієї з них в кінцевому результаті може призвести до небажаних наслідків [33].

Висновки по розділу

Важливе значення має висококваліфіковані фахівців, які б могли не тільки чітко визначити призначення і завдання охорони праці в Україні, а і кваліфіковано вирішувати питання економічних наслідків незадовільного стану охорони праці, травматизму на виробництві, та професійних захворювань, розмір шкоди, заподіяної працівникам у наслідок тимчасової непрацездатності та каліцтва. Саме моделювання небезпечних ситуацій питання які розглянуті в розділі «охорона праці» і тому в умовах сьогодення вона є достатньо актуальною.

РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ДОСЯГНУТИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Проблемною темою є водна ерозія, яка особливо є активною на ріллі наближеній до водойм. У господарстві застосовується технологія мульчування таких полів щілинорізами-заповнювачами. Використання такої технології дозволяє знизити вплив ерозійних процесів на ґрунт та забезпечити стійкі врожаї.

Дослідивши конструкцію та робочий процес щілиноріза-заповнювача встановлено певні недоліки в його роботі та запропоновано методи їх подолання, а саме вдосконалено конструкцію щілиноріза, вдосконалено механізм регулювання щілин, збільшено кількість одночасно нарізаних щілин за один прохід агрегату до 2-х та вдосконалено щілиноріза-наповнювача. Проведені відповідні технологічні, кінематичні, енергетичні розрахунки, які підтверджують працездатність конструкції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз запропонованих конструкцій щілинорізів при вертикальному мульчуванні ґрунту та дана їх агротехнологічна оцінка.

Розроблено класифікацію технічних засобів, що використовуються для нарізання щілин.

Виявили напрямки вдосконалення щілиноріза-наповнювача.

Розраховано параметри щілиноріза та встановити вплив конструкційних параметрів на якість виконання технологічного процесу.

Проведено аналіз та моделювання виникнення небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації щілиноріза та розроблено заходи для забезпечення безпечної роботи персоналу.

Обґрунтовано ефективність запропонованої конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Центи́ло, Л. Зміна водного режиму чорнозему типового залежно від систем обробітку ґрунту. *Вісник аграрної науки* 97.11 (2019): 22-27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201911-03>
2. Шмат С.І., Лузан П.Г., Колісник С. В. Моделювання технологічних процесів обробітку ґрунту із застосуванням щілювання. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь. Вип. 10, Т. 8. 2016. С. 111–119. URL: http://nauka.tsatu.edu.ua/print-journals-tdatu/10-8/10_8/16.pdf
3. Сало В. Лещенко С.М. Чизельний плуг - технічне забезпечення процесів глибокого розпушення ґрунту. *Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу*: URL: <https://propozitsiya.com/ua/chyzelnyy-plug-tehnichne-zabezpechennya-procesiv-glybokogo-rozpushuvannya-gruntu>
4. Сисолін П.В. Свірень М.О., Лісовий Пряма І.О. сівба. Задачі і напрямки розвитку сошників для прямої сівби. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб.* Кіровоград. КНТУ, 2007. Вип. 37. С. 94–98.
5. Руткевич В.С., Лісовий І.О., Джафаров С.М. Дослідження процесу функціонування конструкції чизельного плуга / *Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні питання аграрної науки», присвяченої 175-річчю заснування Уманського національного університету садівництва, 21 листопада 2019 р.* / Редкол.: Непочатенко О.О. (відп. ред.) та ін. К.: Видавництво «Основа», 2019. С. 317-319.
6. Щелерез для противоэрозионной обработки почвы. А.с. № 1012813 Кл. А 01 В 13/16. заявл. 23.03.81; опубл. 23.04.83, Бюл. № 15. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1012813-shhelerez-dlya-protivoehrozionnoj-obrabotki-pochvy.html>
7. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным внесением в них наполнителя. А.с. № 1091866. Кл. А 01 В 13/16. заявл. 08.12.82; опубл. 15.05.84, Бюл. № 18. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1091866-ustrojjstvo-dlya-narezki-vodopogloshhayushhikh-shhelejj-s-odnovremennym-vneseniem-v-nikh-napolnitelya.html>

8. А.с. № 1143320. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным внесением в них соломы. Кл. А01В13/16. заявл. 14.12.83; опубл. 07.03.85, Бюл. № 9. 2 с. URL: <https://patents.su/3-1143320-ustrojstvo-dlya-narezki-vodopogloshhayushhikh-shhelejj-s-odnovremennym-vneseniem-v-nikh-solomy.html>
9. Устройство для нарезки щелей с одновременным внесением в них заполнителя. А.с. № 1347877. Кл. А01В13/16. заявл. 10.11.85; опубл. 30.10.87, Бюл. №40. 2 с. URL: <https://patents.su/3-1347877-ustrojstvo-dlya-narezki-shhelejj-s-odnovremennym-vneseniem-v-nikh-zapolnitelya.html>
10. Способ борьбы с эрозией почв на склонах и устройство для его осуществления. А.с. № 1410870 Кл. А01В13/16, А01В49/04. заявл. 03.06.86; опубл. 23.07.88, Бюл. № 27. 3 с. URL: <https://patents.su/3-1410870-sposob-borby-s-ehroziej-pochv-na-sklonakh-i-ustrojstvo-dlya-ego-osushhestvleniya.html>
11. Рабочий орган почвообрабатывающего орудия. А.с. № 1523064. Кл. А01В35/26. заявл. 01.02.88; опубл. 23.11.89, Бюл. № 43. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1523064-rabochijj-organ-pochvoobrabatyvayushhego-orudiya.html>
12. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным внесением в них заполнителя. А.с. № 1570661. Кл. А01В13/16. заявл. 06.10.87; опубл. 15.06.90, Бюл. № 22. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1570661-ustrojstvo-dlya-narezki-vodopogloshhayushhikh-shhelejj-s-odnovremennym-vneseniem-v-nikh-zapolnitelej.html>
13. Орудие для нарезки щелей в почве. А.с. № 1586530. Кл. А01В13/16. заявл. 04.11.88; опубл. 23.08.90, Бюл. № 31. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1586530-orudie-dlya-narezki-shhelejj-v-pochve.html>
14. Способ щелевания почвы по озимым культурам. А.с. № 1604171. Кл. А01В13/16. заявл. 05.04.88; опубл. 07.11.90, Бюл. № 41. 2 с. URL: <https://patents.su/2-1604171-sposob-shhelevaniya-pochvy-po-ozimym-kulturam.html>

15. Виброударный щелерез. А.с. № 1653554. Кл. А01В13/16. заявл. 24.05.89; опубл. 07.06.91, Бюл. № 21. 2 с. URL: <https://patents.su/3-1653554-vibroudarnyyj-shhelerez.html>
- 16 Щелерез. . А.с. № 1658842. Кл. А01В35/26. заявл. 19.07.89; опубл. 30.06.91, Бюл. № 24. 3 с. URL: <https://patents.su/3-1658842-shhelerez.html>
17. А.с. № 1662367. Способ противэрозионной обработки почвы на склонах и устройство для его осуществления. Кл. А01В13/16. заявл. 21.04.89; опубл. 15.07.91, Бюл. № 26. 5 с. URL: <https://patents.su/5-1662367-sposob-protivoehrozionnoj-obrabotki-pochvy-na-sklonakh-i-ustrojstvo-dlya-ego-osushhestvleniya.html>
18. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным внесением в них соломы. А.с. № 1055351. Кл. А01В13/16. заявл. 03.08.82; опубл. 23.11.83, Бюл. № 43. 2 с.
19. Устройство для нарезки водопоглощающих щелей с одновременным мульчированием их органическими заполнителями. А.с. № 689635. Кл. А 01 В 13/16. заявл. 10.04.78; опубл. 05.10.79, Бюл. № 37. 4 с.
20. Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту: пат. 36133 Україна: А01В13/00 № 99116055; заявл. 04.11.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. 3 с. . URL: <https://uapatents.com/3-36133-pristriij-dlya-bezvidvalnogo-obrobitku-gruntu.html>
21. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Лісовий І.О. Вплив конструктивних параметрів чизельної лапи глибоко-розпушувача на деформацію ґрунту. Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. Вип. 4. Мелітополь: Копіцентр «Документ-сервіс», 2016. С. 111–122.
22. <https://uapatents.com/3-14353-shhilinoriz.html>
23. Горбатюк Є. В., Макаrchук О.В. Аналіз існуючих конструкцій глибинних розпушувачів локальної дії. ГБДММ № 75, 2010. С.67-70. URL: <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e1e55baf-199a-4982-992e-fc15718ff114/content>
24. Моделювання якості розпушення долотом/[Кобець О.М., Теслюк Г., Волик

- Б., Лепеть Є.] // Техніка і технології в АПК: науково-виробничий журнал. - Дослідницьке, УкрЦВТ. - 2015. - Вип.6(69). - С.31-33.
25. Маринін С., Мариніна Л. Глибокорозпушувач — головний елемент консервувального обробітку ґрунту. «Пропозиція», № 11, 2017 р. URL: <https://propozitsiya.com/ua/glybokorozpushuvach-golovnyy-element-konservuvalnogo-obrobitku-gruntu>
 26. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Ішенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с URL: <https://studfile.net/preview/1863006/page/5/>
 27. Черновол, М. І., М. О. Свірень, and В. В. Амосов. Використання природних електромагнітних явищ для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. *Вісник аграрної науки* 7 2018. 46-51. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201807-07>
 28. Aikins KA, Antille DL, Jensen TA, Blackwell J. Performance comparison of residue management units of no-tillage sowing systems: A review. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 12. 2019, 181–190.
 29. Barr J, Desbiolles J, Ucgul M, Fielke JM. Bentleg furrow opener performance analysis using the discrete element method. *Biosystems Engineering*. 2020 Jan 1;189:99-115.
 30. Barr JB, Desbiolles JM, Fielke JM, Ucgul M. Development and field evaluation of a high-speed no-till seeding system. *Soil and Tillage Research*. 2019 Nov 1;194:104337.
 31. Пономаренко Н. О., Волик Б. А., Дімітров І. І., Волинець, Є. О. Аналіз механізму збудження коливань робочих органів дискатора з обертанням навколо осі кріплення. *Вібрації в техніці та технологіях* 2023. № 1 (108) С. 29-35 DOI: 10.37128/2306-8744-2023-1-3
 32. Курепін В.М., Марченко Д.Д., Курепін Д.В. Охорона праці в галузі: навчальний посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм здобуття вищої освіти. Миколаїв : МНАУ, 2023. 586 с.
 33. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу при проведенні механізованих

- робіт Збірник наукових праць Уманського НУС. Умань, 2015. Вип. 87. Ч. 1: Агрономія. С. 79–86. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87\(1\)_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87(1)_14)
34. P. D. Dimitrov, P. G. Kangalov, H. I. Beloev, K. E. Stoyanov and S. Z. Marinov, "A study of the energy - performance indicators of a machine - tractor aggregate for vertical mulching by importing organic matter in the soil," 2020 7th International Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering (EE&AE), Ruse, Bulgaria, 2020, pp. 1-3, doi: 10.1109/EEAE49144.2020.9279075.
35. Кравець С. В., Нечидюк А. А., Косяк О. В. Машины для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення): підручник / за загальною редакцією С. В. Кравця. – Рівне : НУВГП, 2018. – 270 с.

ДОДАТКИ

