

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра Агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
завідувач кафедри
д.т.н. проф. В.М. Бандура

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

“ ” _____ 2019 р.

" Обґрунтування параметрів сошника для прямої сівби "
Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Виконав: студент денної форми
навчання

Войтенко Артур Русланович

Керівник: к.т.н., доц.

Паладійчук Юрій Богданович

Зміст

Анотація	5	
Вступ	7	
Розділ 1	СТАН ПИТАННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ ПОСІВУ НА ҐРУНТАХ, СХИЛЬНИХ ДО ВІТРОВОЇ ЕРОЗІЇ	9
	1.1. Вітрова ерозія ґрунтів і динаміка її виникнення	9
	1.2 Заходи по боротьбі з ерозією ґрунтів	12
	1.3 Сучасні технології стерньового посіву	13
	1.4. Вимоги, що пред'являються до посівних агрегатів в умовах вітрової ерозії	16
	1.5 Аналіз сошників прямого посіву	17
	1.6 Обґрунтування конструкції робочого органу	21
Розділ 2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	27
	2.1 Аналіз теоретичних досліджень взаємодії голчастих дисків а ґрунтом	27
	2.2. Кінематика голчастого диска, що працює під кутом до напрямку руху	30
	2.3 Робота голчастого диска при русі з гальмуванням	38
	2.4 Обґрунтування співвідношення колової та поступальної швидкостей	40
	2.5. Обґрунтуванням поперечного профілю голки диска	44
	2.6 Аналітичне визначення величини критичної сили впровадження голки диска в ґрунт	47
Розділ 3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
	3.1 Програма експериментальних досліджень	50
	3.2 Експериментальна установка та обладнання	53
	3.3 Варіанти експериментальних голчастих дисків	57
	3.4 Методика оцінки якості роботи експериментальних сошників	58

3.5	Визначення біологічної врожайності	60
Розділ 4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	61
4.1	Результати теоретичних і лабораторних досліджень	61
4.2	Результати визначення оптимальних параметрів сошникової групи	63
4.3	Агротехнічна оцінка роботи сошника сівалки прямого посіву	65
4.4	Енергетична оцінка	68
4.5	Результати досліджень врожайності	69
Розділ 5	РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	71
	Висновки	75
	Список використаних джерел	77
	Додатки	81

Анотація

Робота виконана в 2019 році на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу, інженерно-технологічного факультету, Вінницького національного аграрного університету.

Робота містить 82 сторінки машинописного тексту, та 9 листів презентаційного матеріалу, під час написання роботи побудовано 11 таблиць, 28 рисунків, 69 формул та використано 31 літературне джерело.

Магістерська робота присвячена проблемі зменшення ерозійних проявів під час проведення операції посіву сільськогосподарських культур в сучасних умовах господарювання, за рахунок розробки та обґрунтування параметрів конструкції сошника для прямої сівби зернових культур по стерні з очищувачами рядка посіву дискового типу.

В роботі виконано аналіз ґрунтозахисних технологій, виконано оцінку ефективності їх використання, розглянуті перспективні конструктивні рішення сошників для прямої сівби, та основних форм і параметрів їх конструкції. Запропоновано класифікацію сошників прямого посіву.

В другому розділі роботи виконано обґрунтування конструктивних параметрів робочого органу дискового типу, проведено обґрунтування режимів роботи дискових робочих органів, при посіві по стерні, оптимальну кількість зубів на диску, його діаметр, форму робочого зуба, куту установки. На основі запропонованої математично моделі побудовано графічні залежності основних робочих параметрів сошника. Виконано техніко-економічне обґрунтування.

Ключові слова: посів, сошник, пряма сівба, ерозія ґрунту, ґрунт, сівалка СЗС-2,1, диск, очищувач рядка, рослинні залишки, стерня, ґрунтозахисні технології.

Summary

The work was completed in 2019 at the Department of Agroengineering and Technical Services, Faculty of Engineering and Technology, Vinnytsia National Agrarian University.

The work contains 82 pages of typewritten text, and 8 sheets of presentation material, while writing the work 11 tables, 28 figures, 69 formulas were constructed and 31 literary sources were used.

The master's thesis is devoted to the problem of reducing erosion manifestations during the operation of sowing crops in modern conditions of management, due to the development and justification of the design of the coulter for direct sowing of cereals on the stubble with cleaners row sowing disk type.

The analysis of soil protection technologies is carried out in the work, the estimation of the efficiency of their use is made, the perspective design decisions of openers for direct sowing, and the basic forms and parameters of their construction are considered. The classification of direct sowers is proposed.

In the second section of the work, the substantiation of the design parameters of the working body of the disk type was made; Based on the mathematical model, graphical dependences of the basic operating parameters of the coulter were constructed. Feasibility study has been carried out.

Keywords: sowing, coulter, direct sowing, soil erosion, soil, seeder SZS-2,1, disk, row cleaner, plant residues, stubble, soil protection technologies.

Вступ

Збільшення валового збору зерна передбачається в основному за рахунок підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Але значна кількість ріллі в Україні розташована в засушливій степовій зоні, що відрізняється різким кліматом, посиленою вітровою активністю, недостатньою кількістю річних опадів. Обробіток зернових культур в даній зоні без врахування цих умов призводить до розвитку ерозійних процесів. Шкода, від вітрової ерозії, полягає не тільки в зниженні врожаю сільськогосподарських культур, але саме головне - в руйнуванні ґрунту, різкому зниженні його родючості.

У вирішенні цього завдання поряд з іншими заходами важлива роль належить комбінованим агрегатам. Однак існуючі робочі органи ґрунтообробних посівних машин за своїми агротехнічним і експлуатаційним показниками не в повній заходів відповідають сучасним вимогам агробіологічної науки і сільськогосподарського виробництва. Тому питання вдосконалення існуючих, розробки й дослідження нових робочих органів комбінованого типу, що забезпечують якісне виконання технологічних операцій по обробці ґрунту і посіву насіння в регіонах з проявами вітрової ерозії, являються вельми актуальними, а їх рішення - своєчасним.

В результаті багаторічних досліджень і досвіду боротьби з вітровою ерозією ґрунтів в нашій країні і за кордоном розроблена ґрунтозахисна система землеробства, що дозволяє, не тільки попередити розвиток процесів вітрової ерозії, а й підвищити родючість ґрунтів.

Одним з основних прийомів цієї системи є технологія прямого посіву, що реалізується сівалками культиваторами. Крім загальних положень, що висуваються до класичного посіву (рівномірне розміщення насіння по глибині і площі живлення і ін.) до сівалок прямого посіву висуваються і спеціальні вимоги. Вони повинні забезпечувати рівномірне подрібнення ґрунтового пласта без його обороту, зберігаючи на поверхні ґрунту

максимально можливу кількість поживних залишків і мінімально розпиляти оброблюваний шар ґрунту.

Господарська експлуатація сівалок прямого посіву в різних зонах країни, а також випробування їх в господарствах показали, що посівні агрегати, а зокрема робочі органи (Сошники), не в повному обсязі відповідають агротехнічним вимогам. Сошники в процесі роботи забиваються рослинними залишками і ґрунтом, що призводить до збільшення тягового опору і порушення технологічного процесу в цілому.

Недостатня кількість теоретичних і конструктивних розробок стримує широке застосування агрегатів для прямого посіву, тому виникла необхідність в розробці схеми та обґрунтуванні параметрів сошникової групи з врахуванням зазначених недоліків.

Мета роботи - розробка схеми і обґрунтування конструктивних параметрів сошника сівалки прямого посіву, що володів би високою прохідністю по стерньових фоні, меншим і постійним в процесі роботи тяговим опором.

Для цього необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати процес взаємодії голки диска з ґрунтом, а також сошника в цілому.
2. Визначити умови якісного виконання технологічного процесу.
3. Обґрунтувати основні параметри голчастих дисків і установку їх на стійці сошника.
4. Оцінити можливу економічну ефективність використання розробленого робочого органу для прямого посіву.

Об'єкт дослідження - процес взаємодії нового комбінованого сошника сівалки прямого посіву з ґрунтом.

Предмет дослідження - визначення факторів, що впливають на робочий процес сівалки прямого посіву з обґрунтуванням його конструктивних параметрів.

1 СТАН ПИТАННЯ МЕХАНІЗАЦІЇ ПОСІВУ НА ҐРУНТАХ, СХИЛЬНИХ ДО ВІТРОВОЇ ЕРОЗІЇ

1.1. Вітрова ерозія ґрунтів і динаміка її виникнення

Ерозія ґрунту (від лат. Erodere - роз'їдати) - це руйнування ґрунту і її материнської породи силою текучої води і вітру, що супроводжується виносом продуктів руйнування і відкладенням їх [1].

Залежно від того, яка сила діє на й ґрунт - вода або вітер, розрізняють водну або вітрову ерозію. Вітрову ерозію називають ще дефляцією. Найбільш серйозні наслідки вітрової ерозії зустрічаються в районах з низькою, нестійкою і непередбачуваною кількістю опадів, високими температурами і швидкостями випаровування, а також сильними вітрами.

Основна причина ерозії безпосередньо пов'язана з діяльністю людини. Ерозія існувала завжди, але сучасні обсяги і темпи її поширення стали наслідком знищення рослинного покриву, розорювання ґрунту на великій території без застосування ґрунтозахисних заходів, низьку освіченість механізаторів і великого бажання взяти у природи якомога більше.

Ерозія ґрунту є однією з причин зниження врожайності. Вона є одним з тривожних симптомів погіршення навколишнього середовища і загрозою, яка нависла над нею.

В Україні рівень втрат ґрунту від водної, вітрової ерозії та від техногенних впливів, складає до 5 тон з гектара, що на 3 тони більше за екологічно допустимий рівень, за якого ґрунт має змогу самовідновлюватись [2, 3].

Тому вивчення закономірностей прояву ерозійних процесів, визначення причин виникнення пилових бурь, а головне розробка ґрунтозахисних заходів та їх впровадження у виробництво, є основою ведення сільськогосподарського виробництва.

Процеси вітрової ерозії ґрунтів визначаються механізмом аеродинамічного впливу повітряного потоку на поверхню диспергованого матеріалу. Встановлено, що дефляція ґрунтів викликається одночасно протікаючими процесами транспортування повітряним потоком частинок різних фракцій (рисунок 1.1) [4].

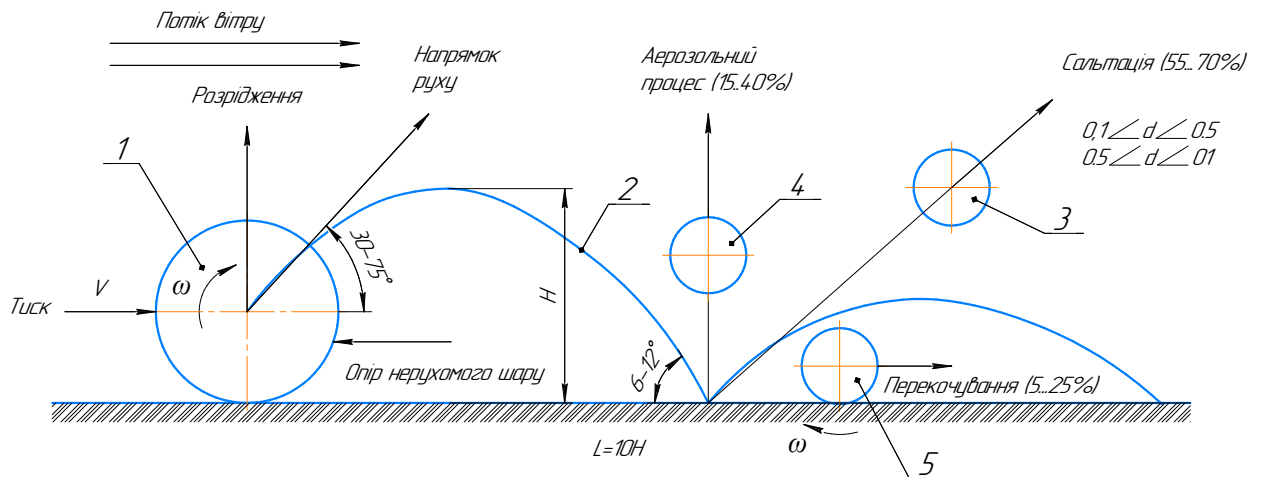


Рисунок 1.1 - Схема відриву і транспортування ґрунтових частинок де: L - довжина переміщення, м; H - висота підйому, м; b - розміри частинок, мм.

Дослідники так описують механізм пересування ґрунтових частинок: при русі частинки 1 по поверхні ґрунту її верхня частина рухається набагато швидше, ніж вітер, а нижня частина рухається в протилежному напрямку.

Так як повітря біля поверхні частинок обертається разом з нею, вище частки створюється пропорційно вакуум, а під ним повітря стискається. Обидві ці зміни тиску прагнуть підняти частку. Частинка 1 підстрибує під кутом $30^\circ \dots 75^\circ$ і рухається по траєкторії 2. При ударі частки об ґрунт, що відбувається під кутом $6^\circ \dots 12^\circ$, імпульс сили може розсіюватися по декількох напрямках. По-перше, частка може бути знову захоплена потоком повітря, зазвичай з початковим вертикальним або майже вертикальним відхиленням від основного напрямку повітряного потоку. Такий стрибкоподібний рух було названо «сальтацією» на рисунку це частинка 3. По-друге, удар частинки по поверхні пухкого матеріалу здатний впливати на іншу частку 4,

яка не могла бути приведена в рух під дією тільки одного потоку повітря. Таке захоплення, під дією удару, відбувається при швидкостях зсуву нижче необхідних для приведення часток в рух, це так званий «ударний поріг». Нарешті, по-третє, при ударі може відбуватися розрив поверхні, наприклад, розпад агрегатів. У цих умовах частинки, підштовхуючи один одного, можуть пересуватися (частка 5), це явище було названо «поверхневою деформацією». Таким чином, відбувається пересування частинок, діаметри яких можуть перевищувати діаметр падаючих частинок до 6 разів.

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур, засновані на багаторазових проходах все важчих машинно-тракторних агрегатів, що суперечать один одному з природними природоохоронними процесами: спостерігається все більше розпорошення верхнього і ущільнення нижнього шарів. Внаслідок цього розширюються зони вітрової ерозії, знижується ефективність внесених добрив і падає врожайність сільськогосподарських культур. Тому необхідно знижувати силу вітру в приземному шарі, затримувати рухомі частинки, покращувати фізичні властивості ґрунту, накопичувати ґрунтову вологу і зберігати її [4].

Встановлено [5], що вітрова еродованість ґрунту знижується пропорційно квадрату збільшення ґрунтової вологи. При вологості 18% ґрунт практично не пилить.

В даний час половина орних земель має недостатній вміст гумусу, і ерозія служить головною причиною його втрат.

Ерозійні процеси руйнування і деградації ґрунту викликають значне зниження їхньої продуктивності, недобір врожаю становить в середньому 36%, вони забирають також азот, фосфор, калій, що в 1,5 рази більше ніж їх вноситься [1]. Втрата сантиметрового поверхнього шару ґрунту призводить до зниження врожаю пшениці на 13,2 ... 38,7, кукурудзи - на 22,2 ... 96,4 кг/га. Рішення даної проблеми можливе виконанням деяких прийомів і методів обробки ґрунтів, що складають комплекс заходів по боротьбі з вітровою ерозією.

1.2 Заходи по боротьбі з ерозією ґрунтів

Вітрова ерозія обумовлена інтенсивністю і частотою вітрів, а також стійкістю поверхні ґрунту до дії вітру. Отже, дію вітрової ерозії можна пом'якшити двома основними способами: підвищенням стійкості ґрунту по відношенню до вітру і зниженням швидкості вітру біля поверхні ґрунту.

Комплекс заходів щодо запобігання ерозії ґрунтів включає кілька прийомів, які базуються на наукових уявленнях про природу вітрової ерозії і методах її запобігання при обробці ґрунту [5].

Основним заходом є організація земельного фонду, що забезпечує проведення операцій (культивуацію, посів і ін.) в напрямку, перпендикулярному переважному потоку вітрів. Даний прийом передбачає застосування сівозмін з чергуванням культур, різних за стійкістю до ерозії, проведення снігозатримання і весняного затримання ґрунтової вологи.

Проведення біологічних заходів дозволяє поліпшити фізико-хімічні властивості ґрунту шляхом регулярного включення в сівозміну зеленого добрива, що дозволяє знизити швидкість вітру біля поверхні ґрунту і одночасно скоротити випаровування ґрунтової вологи. Найбільший захист забезпечують зернові, багаторічні-трав'яні і озимі культури. Внесенням достатньої кількості добрив можна домогтися ранньої зімкнутості культур [6].

Технічні протиерозійні заходи носять довгостроковий характер, їх застосовують на основі відповідної документації після вирішення питань землеустрою та з урахуванням гідрологічної системи. Хороші результати дає застосування переносних щитів з очерету, з алюмінієвого листа і ін. Позитивні результати від застосування агролісомеліоративних прийомів дають створення лісосмуг.

На сучасному етапі ведення сільськогосподарського виробництва захист ґрунтів від ерозії є ще однією з найважливіших проблем в світовому землеробстві і не є долею однієї країни, так як багато аспектів цієї проблеми

виходять за її межі. З метою збереження цілісності природи необхідно діяти комплексно, не однією країною, а всім континентом за єдиною програмою для прискорення розробки більш ефективних заходів боротьби з ерозією ґрунтів, спільними зусиллями знайти правильні шляхи захисту від ерозії.

1.3 Сучасні технології стерньового посіву

Кожному рівню розвитку продуктивних сил суспільства відповідають певні системи землеробства, які, в кінцевому рахунку, і визначають ступінь забезпеченості населення продовольством, а промисловість - сировиною.

Сьогодні вчені виділяють примітивні, екстенсивні, перехідні, та сучасні інтенсивні системи землеробства. До сучасних систем землеробства відносять: інтенсивну (промислову), екологічну, органічну та ґрунтозахисні системи землеробства (No-Till, Strip-Till та ін.). Практично всі сучасні технології обробітку ґрунту орієнтуються на зменшення виробничих затрат при вирощуванні сільськогосподарських культур. Серед можливих напрямків зменшення цих затрат є зменшення витрат на обробіток ґрунту, зокрема виключення оранки з технологічного процесу, в зв'язку з значною енергонасиченістю процесу. Неухильне зростання енергонасиченості сільськогосподарського виробництва, з одного боку, створило реальні можливості для інтенсифікації механічного обробітку ґрунту, з іншого - призвело до суттєвої Агрофізичної деградації, пов'язаної із зростанням швидкості розкладання гумусу [7].

За останні роки стало абсолютно ясно, що класична схема ведення землеробства в районах прояву вітрової ерозії завдає непоправної шкоди не тільки родючому шару ґрунту, але і ґрунту взагалі і навіть всього навколишнього середовищі в цілому.

Негативні явища в землеробстві викликали інтенсивні пошуки нової системи, отримання найвищого доходу, не виснажуючи родючості (зональна система господарювання), і нових технологій вирощування

сільськогосподарських культур, спрямованих на оптимізацію взаємодії системи «машина - ґрунт - рослина», зменшення залежності врожаю від погодних умов, збереження і підвищення родючості ґрунту, зниження енерго- і трудовитрат. При цьому першорядне значення надається обробці ґрунту, так як від її якості в значній мірі (до 25%) залежить отримання високих і стабільних урожаїв.

У багатьох країнах світу в останні роки широкого розповсюдження набули нові технології обробітку ґрунту - інтенсивна, ґрунтозахисна, мінімальна, мульчуюча, альтернативна та ін. [7].

Особливу увагу варто приділити таким ґрунтозахисним системам землеробства, як No-Till і Strip-Till. Основою цих систем є повна відмова від оранки, і перехід на прямий посів. Прямий посів представляє собою посів культур по стерні або дернині зазвичай з попередньою обробкою їх гербіцидами без будь-якої механічної обробки ґрунту, за винятком формування борозенок (щілин) для висіву насіння. Багаторічні спостереження [7] показують, що на врожайність сільськогосподарських культур основний вплив роблять добрива (20 - 50%) і обробка ґрунту (10 - 25%), що свідчить про можливість використання способів мінімалізації. І на наш погляд, найбільш вигідною, кращою є технологія прямого посіву.

Технологія прямого посіву знайшла широке застосування як за кордоном, так і в Україні. Великі потенційні можливості даного способу полягають, по-перше, в забезпеченні високої оперативності польових робіт в умовах обмеженого часу і стислих термінів, по-друге, в економії робочої сили, устаткування, палива, по-третє, в поліпшенні ґрунтових умов і зниження ризику розвитку водної та вітрової ерозії.

Можливість збереження стерні на поверхні поля знижує ступінь випаровування і зберігає ґрунтову вологу, а в період випадання зливових дощів охороняє ґрунт від змиву і надмірного зволоження. Послаблює добові та сезонні коливання температур ґрунту, зменшує глибину її промерзання взимку і оберігає від перегріву в період літньої спеки, сприяє утворенню

міцної мілкодисперсної структури ґрунту і оберігає його від руйнування, підсилює життєдіяльність мікроорганізмів і пов'язані з нею позитивні біохімічні процеси в ґрунті [2, 7].

При використанні зазначеної технології необхідно враховувати можливі зміни родючості ґрунту, вплив цієї технології на розвиток кореневої системи, на ефективність боротьби з шкідниками, хворобами і бур'янами, а також на потребу створення сівалок для проведення посіву по стерні і робочих органів до них.

Природа ніколи не орала, а тільки сіяла і протягом століть збирала такий урожай біомаси, про який можна тільки мріяти.

Переваги технології прямого посіву відображені в таблицях 1.1-1.3

Таблиця 1.1

Вміст вологи в верхньому горизонті ґрунту після сильних дощів.

Глибина обробки, см.	Кількість вологи г/100 г сухої речовини.	
	Прямий посів	Оранка
0-5	70	60,1
5-10	51,4	61,5
10-15	49,2	58,1

Таблиця 1.2

Чисельність дощових черв'яків у ґрунті за 4 роки спостережень.

Роки	Число дощових черв'яків, шт.		
	Прямий посів	Оранка	Відношення прямого посіву до оранки
1	145	110	1,3
2	345	218	1,6
3	231	98	2,4
4	197	50	3,9

Стабільність ґрунтових агрегатів через 2 роки після оранки і прямого посіву.

Глибина обробки, см.	Вміст стабільних агрегатів, %.	
	Прямий посів	Оранка
0-2,5	7	36
2,5-5	2	6
5-10	10	17
10-15	20	11

Всі дані вказують на доцільність застосування безполицевого способу обробітку ґрунту, на використання мінімальних технологій посіву, а зокрема технології прямого посіву.

1.4. Вимоги, що пред'являються до посівних агрегатів в умовах вітрової ерозії

Виходячи з принципів і завдань ґрунтозахисного землеробства, умов роботи і вимог до технологічного процесу висіву насіння зернових культур, основні агротехнічні вимоги до протиерозійних посівних машин зводяться до наступних [8]:

1. Конструкції робочих органів посівних машин після обробки і посіву не повинні створювати в ґрунті ерозійних частинок. Після проходу сівалок на поверхні поля має залишатися не менше 70% пожнивних залишків від вихідної кількості, а вміст ерозійних фракцій ґрунту (менше 1 мм) в шарі 0 - 0,05 м не повинно зростати. Швидкість вітру поблизу поверхні поля, захищеного стернею, в 4 рази нижче, ніж на полях з рівною поверхнею, поораної плугами.

2. Висіваючі апарати повинні забезпечувати задану для кожної зони норму висіву з відхиленням не більше $\pm 3\%$.

3. Працювати на різних за механічним складом і вологості ґрунтах.

4. Дроблення висіяних насіння зернових культур не повинно перевищувати 0,3%, а бобових - 1%.

5. Закладати насіння на глибину 0,04 - 0,08 м, при цьому 90% їх повинно знаходитися в горизонті, відповідному середньої заданої глибині.

6. Забезпечувати норму висіву гранульованих мінеральних добрив в межах 50 - 200 кг / га при загальній нестійкості і нерівномірності їх висіву по насіннепроводу не більше $\pm 10\%$.

7. Створювати оптимальну щільність ґрунту, в зоні залягання насіння після посіву.

З огляду на умови роботи протиерозійних посівних машин і вимог до технологічного процесу висіву насіння, розглянемо конструкції робочих органів (сошників) для прямого посіву зернових культур.

1.5 Аналіз сошників прямого посіву

У зв'язку з розширенням зон застосування протиерозійних машин, необхідністю інтенсифікації землеробства в посушливих умовах, уточненням комплексу заходів з урахуванням зональних особливостей зміненими енергетичними засобами і формами праці, назріла нагальна необхідність в розробці посівних машин, що повністю відповідають вимогам системи ґрунтозахисного землеробства.

Вітчизняними підприємствами освоєно і випускається комплекс посівних машин з урахуванням різноманітності умов і форм прояву вітрової ерозії.

Проведений аналіз використовуваних сошників, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва дозволив класифікувати їх (рисунок 1.2) і з'ясувати наступне:

1. На сівалках раннього випуску використовуються сошники трубчасті або культиваторна лапа.

2. На сівалках більш пізнього випуску і зарубіжних моделях використовуються дискові або дводискові, зустрічаються також рифлені дискові ножі.

3. Широке застосування знаходять комбіновані робочі органи, здатні за один прохід виконати кілька технологічних операцій (культивуацію, посів, внесення добрив, прикочування).

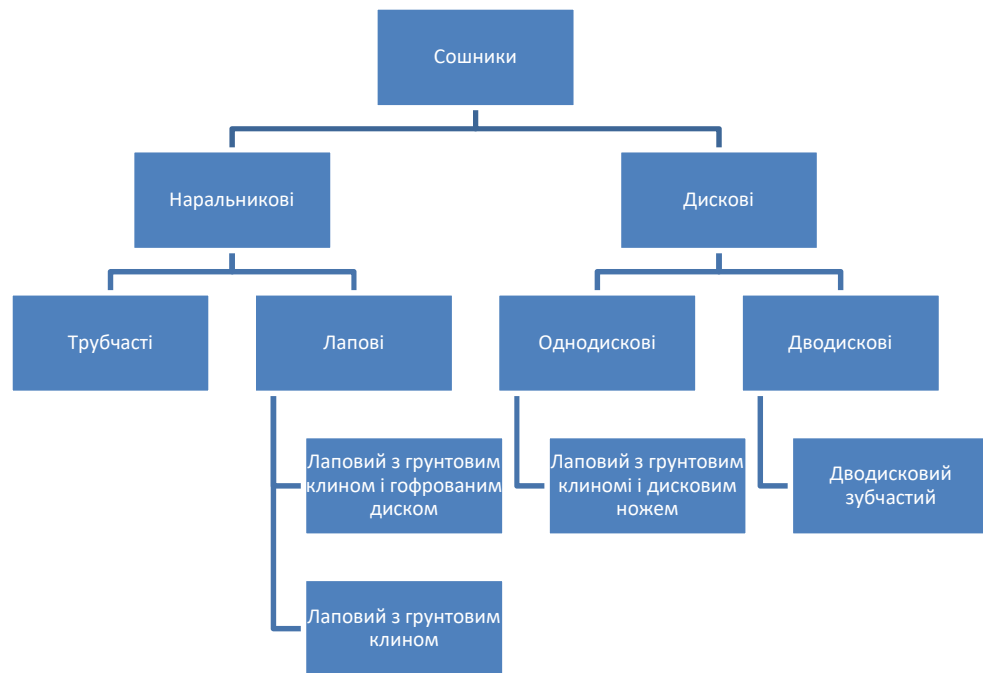


Рисунок 1.2 - Класифікація сошників прямого посіву.

Основний напрямок у створенні конструкцій сошників - зниження тягового опору за рахунок усунення можливості забивання робочого органу рослинними залишками і залипання його ґрунтом. Для цього використовують комбіновані сошники, що складаються з дискового ножа і насіннепровода. Форма дискового ножа різна, від плоского диска до гофрованого і диска з зубчастим закінченням. Кількість дисків змінюється від одного до двох. Розглянемо конструкції деяких з них (рисунок 1.3) [9-13].

Застосування дискового ножа не завжди дає позитивні результати, особливо при обробці засмічених рослинністю ґрунтів. Для стійкої і якісної роботи необхідно забезпечити защемлення матеріалу, що перерізається диском. В іншому випадку, дисковий ніж в повному обсязі не перерізає

рослинні залишки, нагортаючи їх перед собою, що веде до забивання, та різкого зниження якісних показників роботи ґрунтообробної машини і збільшення тягового опору.

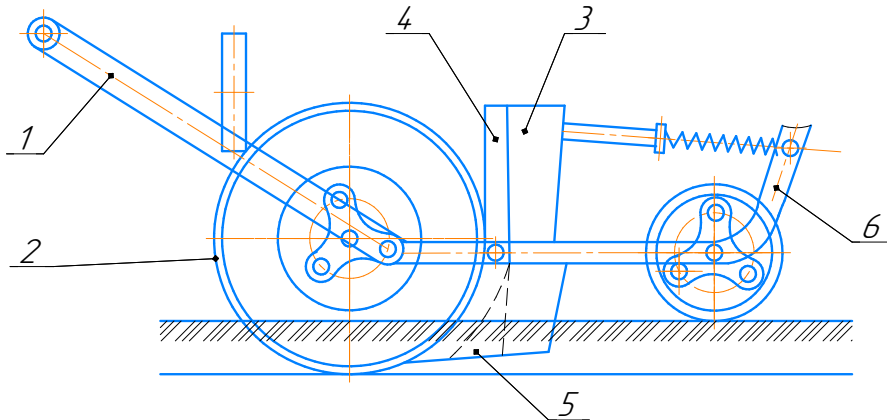
Встановлено, що необхідною умовою, при якій відбувається защемлення ріжучої маси, є достатня колова швидкість ріжучих точок ножа. При повільному обертанні диска матеріал не затискується, і диск буде забиватися. В процесі роботи дисковий ніж проводить розрізання стерні, але при цьому якість яких розпушення ґрунту дуже низька, виникає необхідність проведення додаткової технологічної операції (боронування або луцення стерні) (рисунок 1.3 а, б).

Конструкції сошників із застосуванням гофрованого диска (рисунок 1.3 в, г) також мають недоліки. Можливо заклинювання диска при попаданні сторонніх предметів в зазор між диском і різцем насіннепровода. В результаті цього порушується технологічний процес роботи сошника, диск перестає обертатися. При роботі диск буде не повністю перерізати рослинні залишки, а буде вдавлювати або накопичувати їх перед ножем (рисунок 1.3 г), особливо при вологій поверхні поля. Стрілчаста лапа, що йде слідом, піднімає рослинні залишки і кореневу систему рослин на лобову поверхню, що збільшить її площу, а відповідно тяговий опір. Відбудеться відхилення стійки сошника тому, що призведе до її виглиблення і не рівномірного розподілу насіння по глибині і збільшення ширини міжрядь (рисунок 1.4).

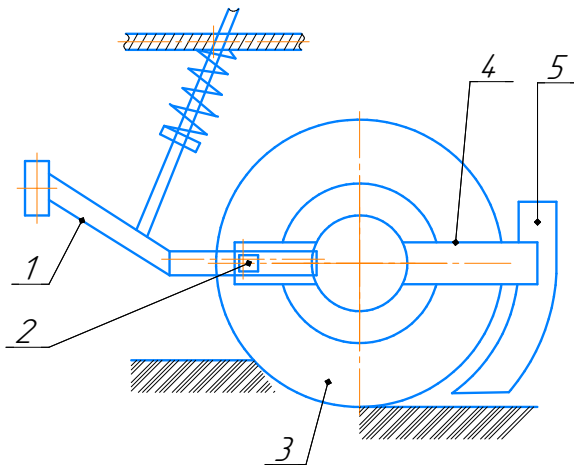
Конструкція сошника з зубчастим закінченням (рисунок 1.3 д) при роботі не дозволяє здійснити в реальних умовах бажаного: «розрізання з двох сторін наральника коренів і рослинних залишків». При налипанні на наральник і зуби дисків ґрунт буде перешкоджати обертанню дисків аж до повної їх зупинки (заклинювання), що тягне за собою збільшення тягового опору.

Наральник що знаходиться в ґрунті рухається в необробленій сферичними дисками з зубами зоні, отже, робочий орган сприймає більший

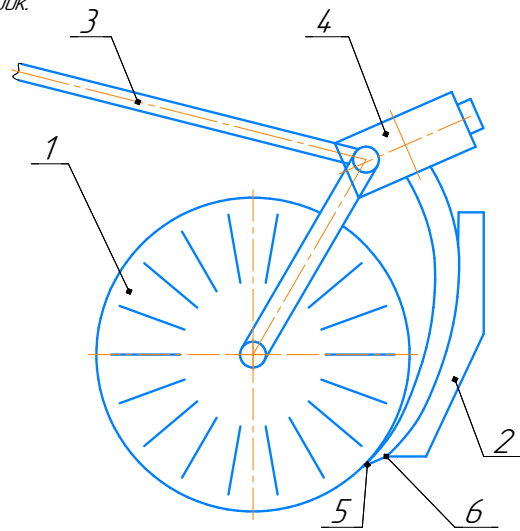
опір, що веде за собою його відхилення назад і виглибленням, і як наслідок цього - порушення технологічного процесу в цілому.



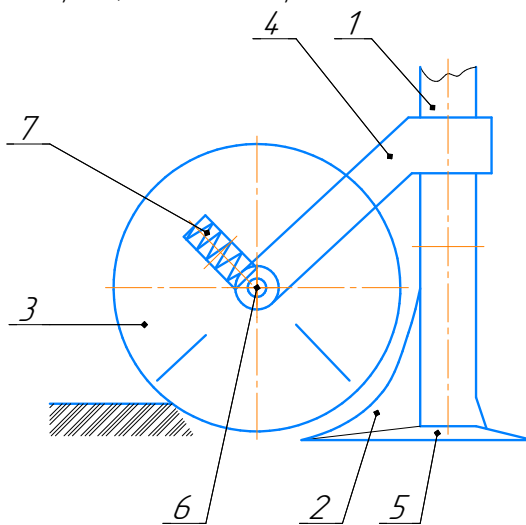
а) 1 - поводок; 2 - диск; 3 - борознозакривач; 4 - перед сошника; 5 - п'ятипоподібний ущільнювач; 6 - задній поводок.



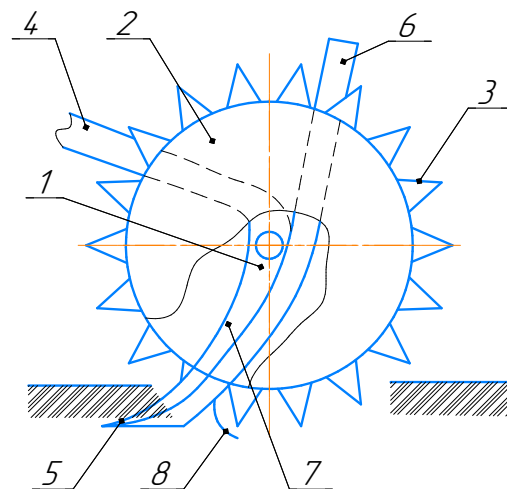
б) 1 - поводок; 2 - обмежувач; 3 - дисковий ніж; 4 - рамка; 5 - насіннева воронка.



в) 1 - гофрований диск; 2 - лабова поверхня; 3 - дисковий ніж; 4 - вилка; 5 - лапа; 6 - вісь; 7 - пружина.



г) 1 - насіннетукапротів; 2 - лабова поверхня; 3 - дисковий ніж; 4 - вилка; 5 - лапа; 6 - вісь; 7 - пружина.



д) 1 - борозноутворююча поверхня; 2 - сферичний диск; 3 - зуди; 4 - стійка; 5 - наральник; 6 - насіннепротів; 7 - ребро; 8 - пластина.

Рисунок 1.3 - Конструктивний огляд сошників прямого посіву.

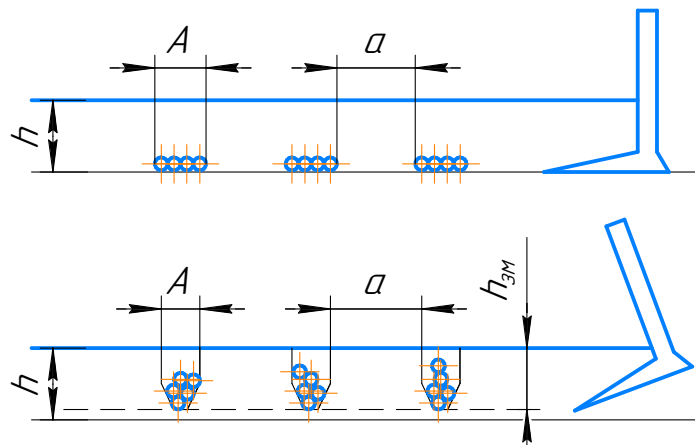


Рисунок 1.4 - Зміна положення лапи сошника де h - глибина обробки, м; $h_{зм}$ - змінна глибина, м; A ширина захвату лапи сошника, м; a ширина міжрядь, м.

Розглянуті конструкції сошників володіють як індивідуальними, так і загальними недоліками - це забивання рослинними залишками і ґрунтом, збільшення тягового опору, а головне не виключають застосування боронування або луцення стерні.

Беручи до уваги зазначені недоліки, а також агротехнічні вимоги до робочих органів, що застосовуються при посіві по стерньовому фоні, нами поставлена мета - створити конструкцію сошника, що володіє меншим постійним тяговим опором, з можливістю збереження на поверхні поля рослинних залишків і, що забезпечує рівномірне розміщення насіння по глибині.

1.6 Обґрунтування конструкції робочого органу

Для виконання поставленої мети нами прийнято рішення використовувати спільно з культиваторною лапою стерньової сівалки голчастий диск. Застосування голчастого диска, на наш погляд, дозволить усунути ряд недоліків, зазначених раніше. Так, використання борони БИГ-ЗА, оснащеної голчастими дисками, дозволяє проводити якісне розпушування ґрунту з можливістю збереження на поверхні поля рослинних

залишків до 75-80% [14], а це повністю відповідає агротехнічним вимогам, що висуваються до посіву по стерні. З'єднання голчастого диска і сошника сівалки прямого посіву дозволить виключити технологічну операцію (боронування або лушення стерні), тобто створюються умови для виконання декількох операцій за один прохід посівного агрегату (поверхнева обробка з метою знищення ґрунтової кірки, боротьба з бур'янами, посів, внесення мінеральних добрив і прикочування).

Для визначення якісного поєднання диска і лапи пропонуємо схеми їх можливого розміщення (рисунок 1.5) і відповідно схеми їх технологічного процесу (рисунок 1.6). Розглянемо їх.

При установці голчастого диска перед стрілкою лапою, коли вісь обертання розташовується перпендикулярно осі лапи, в процесі роботи диск буде просто перекачуватись (чисте кочення), розпушування ґрунту при цьому буде проводитися не в повному обсязі. А для того щоб диск якісно виконував розпушування, його необхідно пригальмовувати, а застосування гальмуючих пристроїв істотно ускладнить конструкцію. Для поліпшення самозаглиблення диска необхідно забезпечити різницю поступальної і колової швидкостей, а це можна отримати зміною кута атаки диска (рисунок 1.5 б). При роботі диск формує на поверхні ґрунту зону деформації у вигляді лунок, розташованих паралельно один одному, причому між лунками залишається необроблена ділянка, а це буде несприятливо позначатися на роботі лапи сошника, стійка буде сприймати опір, відхилятися назад, цим порушуючи технологічний процес. Проаналізувавши недоліки запропонованих схем і враховуючи їх, запропоновано використовувати в конструкції сошника не один диск, а два. Виникає питання, як встановити диски, в якій послідовності. Проаналізуємо запропоновані схеми розміщення голчастих дисків (рисунок 1.5 в, г, д). при русі голчасті диски утворюють зону деформації у вигляді лунок, відповідно лівого і правого ряду, площа, що обробляється дисками, в два рази більше в порівнянні з раніше

запропонованими схемами. Відбувається розгрібання рослинних залишків у сторони, що забезпечує більш легку роботу стрілкової лапи.

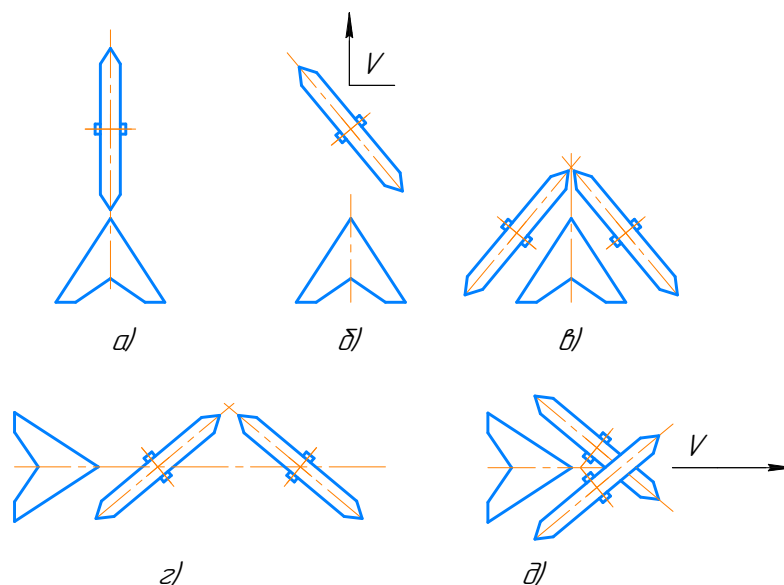


Рисунок 1.5 - Схеми можливих варіантів розміщення голчастих дисків.

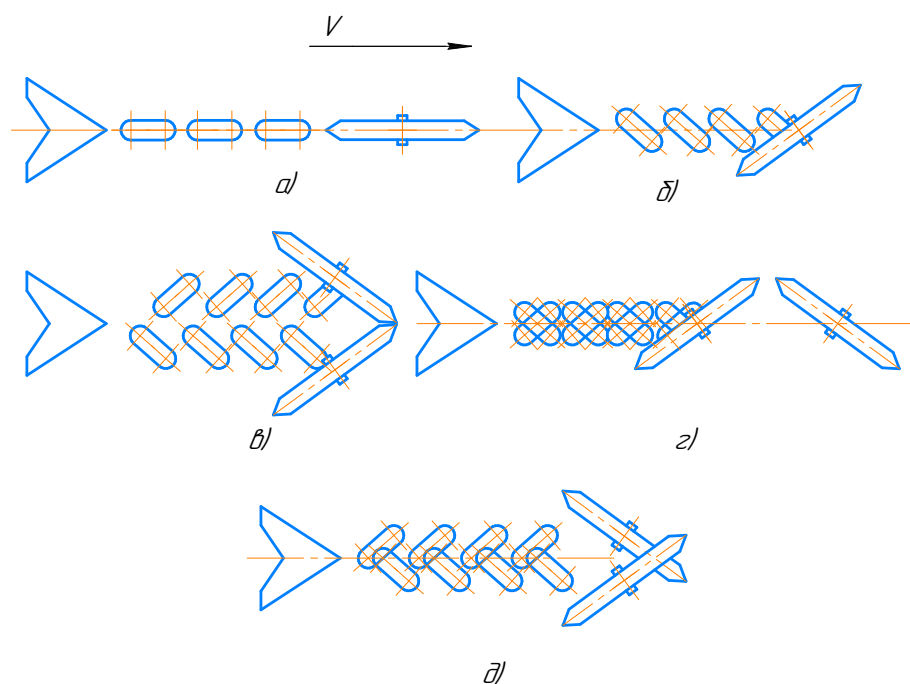


Рисунок 1.6 - Схеми роботи голчастих дисків.

Однак, як і раніше залишаються необроблені ділянки, а головне на ділянці між дисками (рисунок 1.5 в) утворюється гребінь необробленої ділянки поля, який не кращим чином буде позначатися на роботі лапи. Схема, запропонована на рисунку 1.5 г, дозволить усунути зазначені недоліки і по можливості знизити тяговий опір при роботі, однак установка

голчастих дисків видається важкою в конструктивному плані. Голчасті диски, встановлені під кутом рівним куту розведення лапи, і з'єднані між собою зі зміщенням голок на величину половини їх кроку на диску, дозволяють домогтися бажаного результату - зниження тягового опору (рисунок 1.5 д).

При взаємодії дисків з ґрунтом на поверхні ґрунту утворюються лунки лівого і правого ряду, перетин яких формує оброблену смугу ґрунту, розташовану перед стійкою сошника без рослинних залишків і розпушений на задану глибину. Дану схему розташування голчастих дисків щодо стійки сошника приймаємо за основу для створення конструкції сошника і подальших досліджень.

Виходячи з вищевикладених агротехнічних вимог до посіву на ґрунтах, схильних до вітрової ерозії, до робочих органів (сошників), нами розроблена і пропонується нова технологічна схема сошника для використання на стерньових сівалках (рисунок 1.7). Леміш складається з двох голчастих дисків 1 і 2, встановлених на стійці 3 за допомогою вилки 4, причому траєкторії обертання голчастих дисків в передній частині перетинаються, а в задній частині знаходяться на лінії обріза лапи. Голки на дисках по куту повороту зміщені на величину, рівну половині кроку голок на диску, і в такому положенні диски з'єднані між собою шарнірною (гнучким) ланкою 5.

Розробка нової ґрунтообробної машини, або робочого органу, базується на агротехнічних вимогах і детальному описі технологічного процесу. Так, процес взаємодії передбачуваної конструкції робочого органу з ґрунтом є два етапи - це розпушування стерні голчастими дисками з утворенням на поверхні ґрунту смуги, звільненої від рослинних залишків, і роботи стрілкової лапи, формує якісне насінневе ложе.

При заглибленні сошника голчасті диски взаємодіють з ґрунтом, отримують обертання і проводять його розпушування, а також видалення рослинних залишків і кореневої системи попередника в сторони від лобової поверхні, виключаючи при цьому так званий «Граблевий ефект».

Причому голка диска, що вступила в контакт з ґрунтом першою, за допомогою сполучної ланки повертає інший диск і так далі. При роботі лівого і правого дисків утворюється зона деформації ґрунту у вигляді лунок, перетин яких дозволяє отримати смугу без рослинних залишків, розпушений на задану глибину, перед лобовою поверхнею (рисунок 1.7). Тому при роботі геометричні параметри лобової поверхні практично не збільшуються, за рахунок обволікання стійки рослинними залишками і стійка сошника не сприймає додатковий опір і не відхиляється назад, тяговий опір при цьому не зростає. Стрілчаста лапа при русі в ґрунті підрізає очищений ґрунтовий пласт в горизонтальній площині і формує якісне насінневе ложе на заданій глибині.

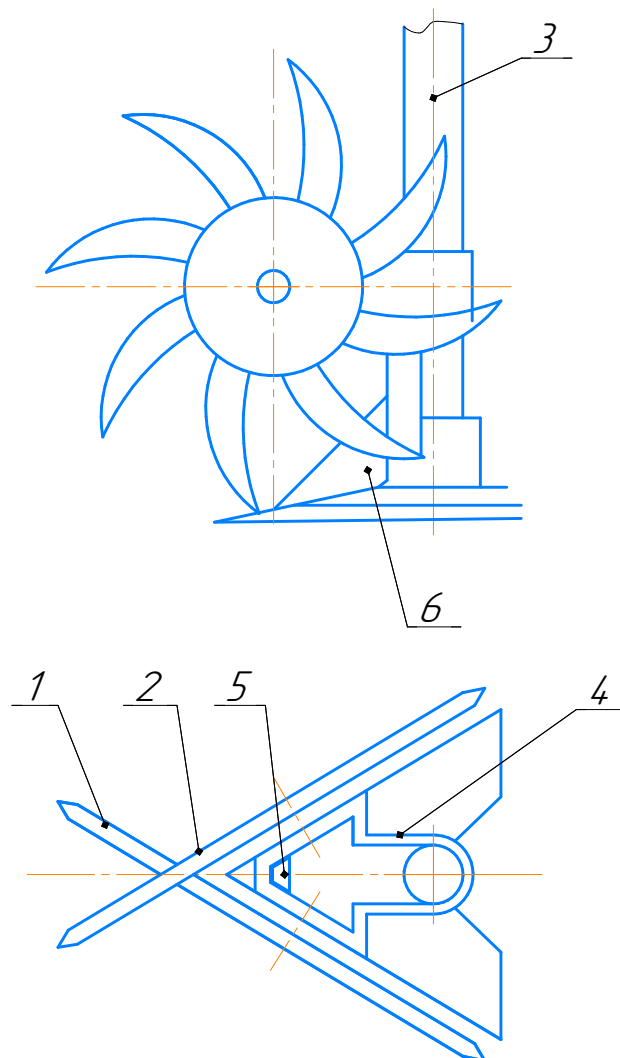


Рисунок 1.7 - Схема запропонованої конструкції сошника де 1 і 2 – голчасті диски; 3 -стійка сошника; 4 -вилка; 5 -шарнірна ланка; 6 - лобова поверхня.

Дана конструкція сошника з використанням голчастих дисків, при можливості перетину їх траєкторій обертання під кутом рівним кутку розчину лапи, і з'єднаних між собою шарнірним ланкою так, що голки на дисках зміщені по куту повороту на величину, рівну половині кроку голок на диску, має ряд переваг:

1. Різниця абсолютних швидкостей обертання дисків і руху агрегату сприяє інтенсивному заглибленню голок в ґрунт, а отже і якісному розпушуванню верхнього шару ґрунту з можливістю збереження стерні на поверхні поля.
2. Голчасті диски знижують ступінь обволікання лобової поверхні рослинними залишками до мінімуму і формують смугу перед стійкою сошника без стерні.
3. Застосування сошника даної конструкції дозволяє домогтися зниження тягового опору за рахунок зменшення обволікання сошника рослинними залишками і меншого вертикального зусилля, необхідного на впровадження голчастих дисків в ґрунт, в порівнянні з плоским диском, а отже зменшується металоємність машини.
4. Виключається необхідність боронування або луцення стерні з метою знищення ґрунтової кірки, забезпечується оперативність проведення польових робіт.
5. Економія енергетичних коштів, людських ресурсів, підвищення продуктивності.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз теоретичних досліджень взаємодії голчастих дисків а грунтом

Поява зубової борони в першому варіанті з дерев'яними, а згодом з металевими зубами, підвищила якість обробки ґрунту і дещо полегшило роботу по догляду за посівами. У період свого вдосконалення самі борони і їх зуби приймали найрізноманітніші форми.

На початку тридцятих років в нашій країні, США і ряді європейських країн на полях з'являються швидкісні зубові борони та ротаційні мотики. Однак ротаційні мотики забезпечували більш якісну обробку посівів сільськогосподарських культур по порівняно з зубовими боронами.

Проведений огляд літератури, її аналіз дозволяють зробити висновок, що агротехнічні показники ротаційних знарядь на обробці ґрунту під сільськогосподарські культури не гірше інших знарядь, а в деяких випадках краще [9-15].

При вивченні характеру руху голки в ґрунтовому шарі і кінематики голчастого диска, встановленого під кутом до напрямку руху, Вєтохін В.І [15] виходить з того, що голчастий диск є пасивним органом і водночас працює за принципом самообертання, здійснюючи складний рух. Точка на кінці голки при коченні з буксуванням описує подовжену циклоїду (трохоїда), при чистому коченні звичайну циклоїду і при коченні з ковзанням описує вкорочену циклоїду [15-20] рисунок 2.1 [20]. Траєкторію обертання кінця голки диска в ґрунті визначає кінематичний параметр K .

$$K = wR_i/V_n, \quad (2.1)$$

де w - кутова швидкість обертання; R_i - відстань від осі обертання до розглянутої точки; V_n – швидкість руху (переносна швидкість).

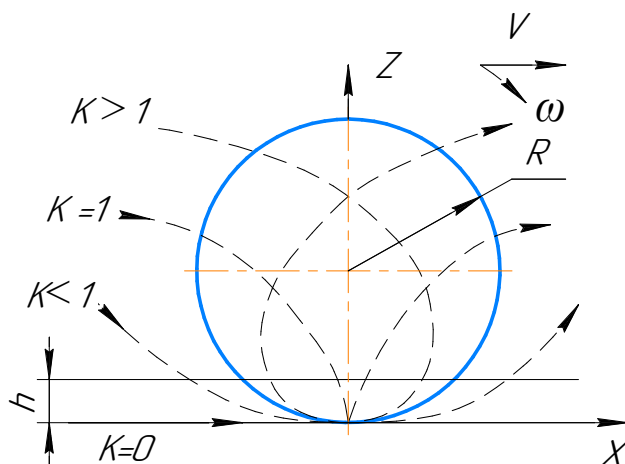


Рисунок 2.1 - Схема траєкторій руху кінця голки при різних кінематичних параметрах K .

Аналізуючи траєкторії руху кінця голки в різних випадках, можна відзначити, що час контакту голки з ґрунтом, форма лунки, її довжина і ширина залежать в першу чергу від способу руху голчастого диска в ґрунті, з

буксуванням або з ковзанням. В даному випадку відбувається більш інтенсивне розпушування поверхневого шару ґрунту, при $K > 1$. Отже, потрібно створювати необхідні умови, при яких диск буде рухатися з ковзанням.

При обробці ґрунту на робочий орган діє сила різання, яка є результатом пружних, пластичних та інших деформацій ґрунту, тертя ґрунту об поверхню робочого органу, тертя робочого органу по необробленому ґрунті на дузі різання і ін. На характер впливу сил впливають форма робочої поверхні і фізико-механічні властивості ґрунту. Сукупність діючих на робочий орган сил і визначає спосіб руху, голчастого диска в ґрунті.

Проаналізувавши роботи [15-20], ми з'ясували, що гальмування голчастих дисків не повинно здійснюватися силами внутрішнього тертя (наприклад, фрикційним або іншим гальмом), а гальмівним пристроєм, що працює від взаємодії з ґрунтом.

Запропонована нами конструктивна схема комбінованого робочого органу (див. рисунок 1.7), відповідає вищевикладеному висновку, оскільки

момент опору виникає від сусіднього диска, що обертається від взаємодії з ґрунтом. Рух диска з загальмуванням знижує енергоємність процесу обробки ґрунту та знижує загальний тяговий опір на 9 -12%.

Аналізуючи роботу голчастих дисків Вєтохін В.І. [15] приходять до висновку, що їх основними кінематичними характеристиками слід вважати коефіцієнт буксування, радіус диска і діаметр голки, які і визначають спосіб руху диска і характер деформації ґрунту.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що при обробці поверхні голка диска утворює лунку, створення якої за формою близько до еліпсу. Величина більшої осі цього еліпса може бути розрахована по:

$$L = \frac{2\sin\alpha \sqrt{(R_d^2 - (R_d - h)^2)}}{1 - y \sin(\alpha + j)}. \quad (2.1)$$

де α - кут атаки диска; R_d - радіус диска; h - глибина обробки; j - кут тертя об матеріал голки; y - коефіцієнт ковзання голки диска ($y = 0,013 \alpha + 0,15$).

Якщо величина більшої осі не залежить від геометричних параметрів голки, то величина малої осі еліпса істотно зростає зі збільшенням кривизни і товщини голки.

Рівняння ширини, довжини лунок, утворені дисками, що працюють під кутом атаки, запропоновані [20] мають вигляд:

$$B = 2R \sin w t \sin \alpha. \quad (2.2)$$

$$L = \frac{R}{\cos \alpha} \sqrt{4 \arccos^2 \frac{R-h}{R} + \left[\frac{1}{2} - 2 \frac{R-h}{R} \right] \sin^2 \alpha}. \quad (2.3)$$

$$L = \frac{r}{\cos \alpha} \sqrt{4 \arccos^2 \frac{1}{K} - \left[\frac{1}{2} - \frac{2}{K} \right] \sin^2 \alpha}. \quad (2.4)$$

Дані вирази показують, що параметри лунок залежать від глибини ходу голок, кута атаки, а також співвідношення швидкостей.

Технологічний процес розпушування ґрунту голчастими дисками полягає в скоєнні наколювання і зсуву ґрунту послідовно кожної голкою. При цьому слід очікувати, що агротехнічні показники роботи в основному

залежать від тривалості взаємодії голки з ґрунтом. Час контакту голки з ґрунтом можна визначити з виразу:

$$T = \frac{\pi}{90V_m} R \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right). \quad (2.5)$$

Тривалість контакту голки з ґрунтом залежить від швидкості руху осі і радіусу диска. Проведений аналіз теоретичних досліджень питання взаємодії голчастого диска з ґрунтом визначив наступне:

1. Агротехнічні показники ротаційних знарядь не гірше показників інших видів знарядь, вони мають хорошу прохідність по стерньових фонах, забезпечують якісне розпушування ґрунтів різного механічного складу, збереження стерньових залишків; не збільшують кількість ерозійно-небезпечних частинок в ґрунті.

2. Найбільшу зону деформації голчастий диск утворює при русі з ковзанням, яке найкращим чином досягається при використанні гальмівного пристрою, що працює від контакту з ґрунтом.

3. Більш інтенсивне заглиблення, а отже якісне розпушування ґрунту відбувається при постановці голки в положення «дзьобом».

4. Основними конструктивними і кінематичними параметрами є: діаметр диска, коефіцієнт гальмування, діаметр голки диска і кут атаки. Збільшення тривалості контакту голки з ґрунтом значно впливає на кінематику і процес їх взаємодії.

5. Недостатність теоретичних досліджень для визначення сили, необхідної на введення голки диска в ґрунт.

2.2. Кінематика голчастого диска, що працює під кутом до напрямку руху

Якщо площину обертання голчастих дисків утворює кут α з напрямком руху агрегату, то робоча поверхня дисків здійснює складний рух в просторі. Переміщення вертикального диска з положення 1 в положення 2 можна представити що складається з двох елементарних переміщень: кочення без

ковзання і поступального переміщення без обертання (рисунок 2.2). В цьому випадку шлях, пройдений диском за один оборот, дорівнює $L = \frac{\dot{L}}{\cos\alpha} = \pi D / \cos\alpha$.

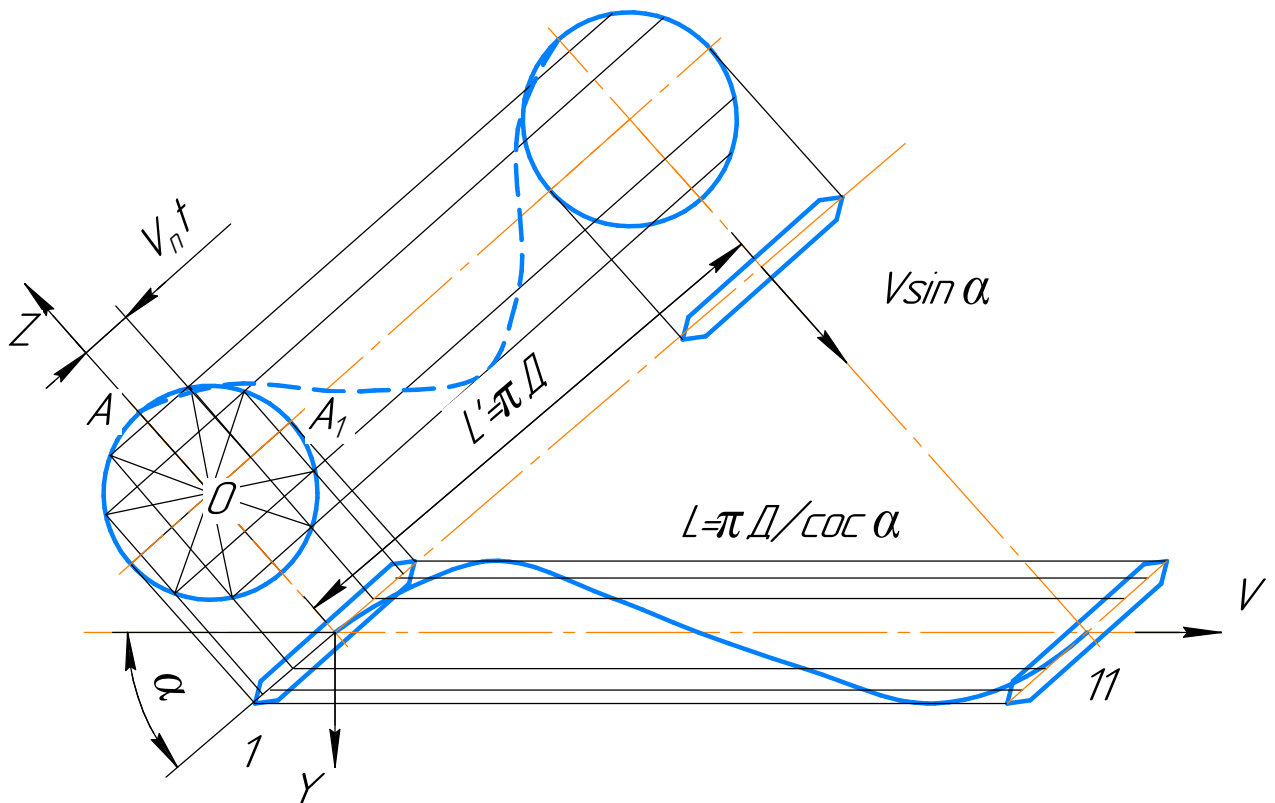


Рисунок 2.1 – Схема визначення траєкторії руху диска.

Швидкість руху будь-якої точки A леза голки може бути визначена геометричним складанням проєкцій швидкості поступального руху на вісь обертання диска $V_{\sin\alpha}$ і колової швидкості $V_{\text{кол}}$, обраної точки леза:

$$V_{\text{кол}} = \omega \rho_A = V_{\cos\alpha} \rho_A / R. \quad (2.6)$$

де ω - кутова швидкість при обертанні диска навколо миттєвого полюса Ω ; ρ_A - відстань від точки A до полюса; R - радіус диска.

Точка A за деякий проміжок часу t переміститься в точку A_1 на відстань $V_n t$, при цьому диск повернеться на кут $\varphi = \omega t$. Знайдемо координати точки A_1 . Припустимо, що обертання диска рівномірне з кутовою швидкістю ω , при проектуванні на координатні осі отримаємо:

$$\begin{cases} X = OO_1 \cos \alpha + R \sin \omega t \cos \alpha \\ Y = R \sin \omega t \sin \alpha \\ Z = R - R \cos \omega t \end{cases}$$

де $OO_1 = V_n t$, причому $V_n = \omega R / K$

$$\begin{cases} X = (\omega R / K) t \cos \alpha + R \sin \omega t \cos \alpha \\ Y = R \sin \omega t \sin \alpha \\ Z = R(1 - \cos \omega t) \end{cases}$$

Заключно маємо:

$$\begin{cases} X = R \cos \alpha \left(\frac{\omega t}{K} + \sin \alpha \right) \\ Y = R \sin \omega t \sin \alpha \\ Z = R(1 - \cos \omega t) \end{cases} \quad (2.7)$$

Отримали систему рівнянь, траєкторії руху кінця голки в просторі, встановленої під кутом до напрямку руху. Аналізуючи систему рівнянь видно, що на траєкторію руху кінця голки, а отже, на процес розпушування ґрунту впливає кут атаки α й кінематичний параметр K .

Про інтенсивність розпушування ґрунту диском можна судити по величині й напрямку абсолютної швидкості. Величину її знаходимо, про диференціювавши рівняння (2.7) по часу. Після деяких перетворень отримаємо:

$$V_a = \omega R \cos \alpha \left(\frac{1}{K} + \cos \omega t \right). \quad (2.8)$$

Кожна голка обробляє обсяг ґрунту, поперечний переріз якого є сегментом, обмеженим поверхнею поля і описуваної робочої частиною голки кривої - трохойда. Ступінь розпушування ґрунту, а отже профіль поперечного перерізу поля, буде залежати від величини перекриття ділянок, оброблених сусідніми голками (рисунок 2.3).

Довжину ділянки L , оброблену однією голкою, можна визначити як різницю абсцис точки, що характеризує момент входу голки в ґрунт $X_{\text{вх}}$ і точки моменту виходу голки з неї $X_{\text{вих}}$:

$$L = X_{\text{вих}} - X_{\text{вх}}. \quad (2.9)$$

$$\text{де } X_{\text{вих}} = R \cos \alpha \left(\frac{\omega t_{\text{вих}}}{K} + \sin \alpha \right);$$

$$X_{\text{вх}} = R \cos \alpha \left(\frac{\omega t_{\text{вх}}}{K} + \sin \alpha \right);$$

$$L = \frac{R \cos \alpha}{K} [(\omega t_{\text{ВИХ}} - \sin \omega t_{\text{ВИХ}}) - (\omega t_{\text{ВХ}} + \sin \omega t_{\text{ВХ}})].$$

Після перетворення отримаємо:

$$L = \frac{R \cos \alpha}{K} [(\omega t_{\text{ВИХ}} - \omega t_{\text{ВХ}}) - (\sin \omega t_{\text{ВИХ}} + \sin \omega t_{\text{ВХ}})].$$

де $\omega t_{\text{ВХ}} = \pi/2$,

$$\omega t_{\text{ВИХ}} = \arcsin \frac{R-h}{R},$$

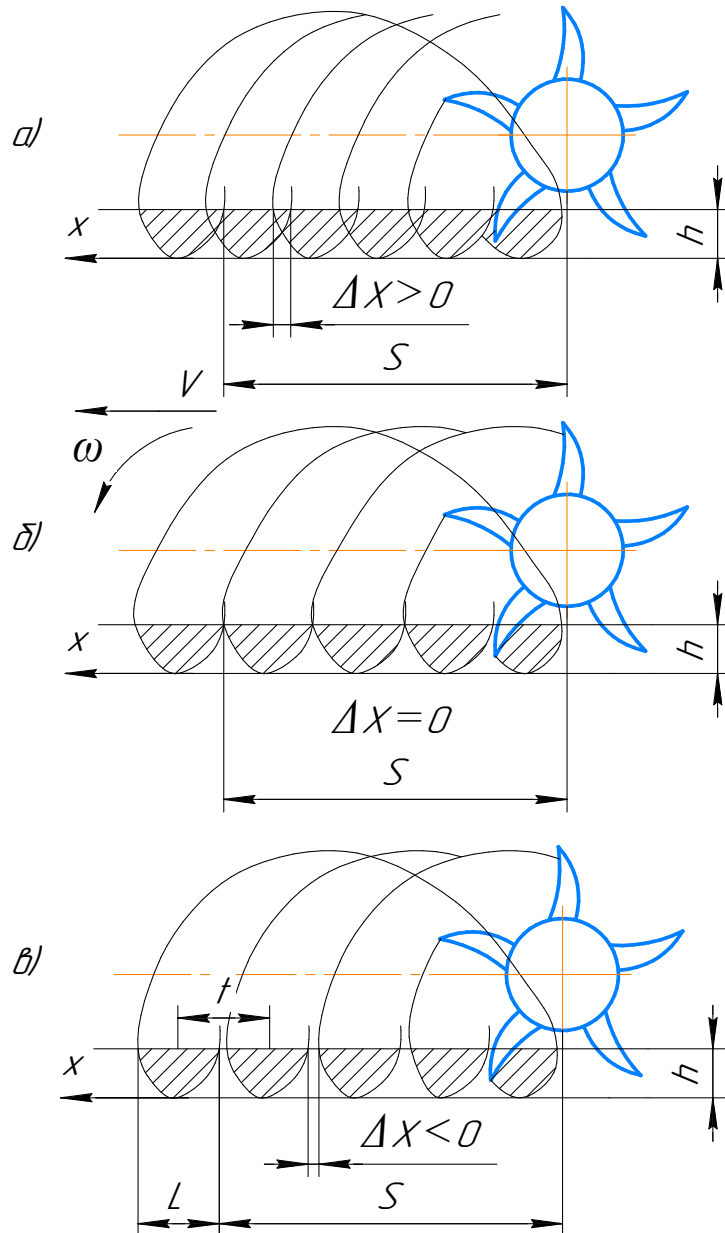


Рисунок 2.3 - Профіль поперечного перерізу поля, оброблений голчастим диском а) перекриття більше нуля ($\Delta X > 0$); б) перекриття одно нулю ($\Delta X = 0$); в) перекриття менше нуля ($\Delta X < 0$). де L - довжина лунки; ΔX - величина перекриття; S - шлях, пройдений диском за 1 оборот.

Тоді, після підстановки

$$L = \frac{R \cos \alpha}{K} \left[\left(\arcsin \frac{R-h}{R} - \pi/2 \right) - \left(\sin \arcsin \frac{R-h}{R} + \sin \pi/2 \right) \right].$$

остаточно отримаємо

$$L = \frac{R \cos \alpha}{K} \left[\left(\arcsin \frac{R-h}{R} - \pi/2 \right) + \sin \arcsin \frac{R-h}{R} - 1 \right] \quad (2.10)$$

Як зазначалося раніше, L являє собою довжину ділянки, оброблену однією голкою. Якщо кількість голок на одному диску одно n , загальна довжина ділянок, оброблених голками за один оборот диска, буде дорівнює L_n . шлях, пройдений агрегатом за час одного повного обороту диска, дорівнює:

$$S = VT \text{ або } S = V2\pi/\omega \quad (2.11)$$

де T - час одного повного обороту.

Різниця між S і L_n дає довжину сумарного перекриття за один оборот диска. Перекриття ділянок, оброблених двома сусідніми голками, визначимо з виразу:

$$\Delta X = L - S/n \quad (2.12)$$

Підставами в рівняння (2.12) значення L і S , отримаємо:

$$\Delta X = \frac{2V}{\omega} \left(\arcsin \frac{R-h}{R} - \pi/2 \right) + 2 \cos \arcsin \frac{R-h}{R} - V2\pi/n\omega \quad (2.13)$$

Як видно з рівняння величина перекриття є функцією кількох змінних - R, n, h, V, ω і при різному співвідношенні цих величин значення ΔX буде приймати різну величину.

З метою визначення параметрів сошника розглянемо характер залежності K від кожної змінної величини.

При постійному значенні $R, n, h, \omega = \Delta X$ буде тільки функцією V :
 $\Delta X = f_1(V)$.

Для зручності перетворення, рівняння (2.13) запишемо в наступному вигляді:

$$\Delta X = \frac{2V}{\omega} \left| \arcsin \frac{R-h}{R} - \pi \frac{(n+2)}{2n} \right| + 2R \cos \arcsin \frac{R-h}{R} \quad (2.14)$$

Так як R, n, h і ω - постійні, для стислості позначимо:

$$\left[\arcsin \frac{R-h}{R} - \pi \frac{(n+2)}{2n} \right] \frac{2}{\omega} = A,$$

$$2R \cos \arcsin \frac{R-h}{R} = B.$$

Рівняння (2.14) можна показати наступним виглядом:

$$\Delta X = AV + B \quad (2.15)$$

Рівняння показує, що ΔX і V перебувають між собою в прямолінійній залежності.

Для аналізу функції $\Delta X = f_2(h)$, перетворимо рівняння (2.14) до наступного вигляду:

$$\Delta X = \frac{2V}{\omega} \arcsin \frac{R-h}{R} + 2R \cos \arcsin \frac{R-h}{R} + \frac{\pi V}{\omega} \left(1 + \frac{2}{n} \right) \quad (2.16)$$

При постійних R, n, V і ω зміна ΔX буде залежати тільки від зміни h . Функції $\Delta X = f_3(R)$, і $\Delta X = f_4(n)$, аналогічні попередній.

Для аналізу функції $\Delta X = f_5(\omega)$, запишемо рівняння (2.16) в наступному вигляді:

$$\Delta X = \frac{V}{\omega} \left[\arcsin \frac{R-h}{R} - \pi \left(1 + \frac{2}{n} \right) \right] + 2R \cos \arcsin \frac{R-h}{R} \quad (2.17)$$

При роботі голчастого диска нерівність підшви ґрунту характеризується гребенями, які утворюються на стиках ділянок, оброблюваних сусідніми голками. Висота гребенів залежить від перекриття, тобто чим більше перекриття, тим нижче висота гребенів. Очевидно, якщо величина перекриття буде близька до L (Довжина лунки), то висота гребенів буде наближатися до нуля. Навпаки, якщо перекриття дорівнює нулю (рисунок 2.3), то висота гребенів буде дорівнює глибині обробітку ґрунту h .

З рівняння (2.7) висота гребенів становить:

$$C = R(1 \cos \alpha_c). \quad (2.18)$$

де α_c - кут, що характеризує поворот голки в ґрунтовому шарі; C - висота гребеня.

Друга координата вершини гребеня $X = L/2$ (рисунок 2.4).

Підставивши це значення в рівняння (2.7), замінивши $\omega t = \alpha_c$ отримаємо:

$$\frac{L}{2} = R \cos \alpha \left(\frac{\alpha_c}{K} + \sin \alpha_c \right)$$

Для малих значень кутів можна з невеликою похибкою прийняти $\sin \alpha_c \approx \alpha_c$. Підставляючи це значення, отримаємо:

$$\frac{L}{2} = R \cos \alpha \left(\frac{\alpha_c}{K} + \alpha_c \right), \text{ звідки } \alpha_c = \frac{L}{2R \cos \left(\frac{1}{K} + 1 \right)}$$

Тоді висота гребеня dna борозни, обробленої голчастим диском, буде дорівнює:

$$C = R \left(1 - \cos \frac{L}{2R \cos \left(\frac{1}{K} + 1 \right)} \right). \quad (2.19)$$

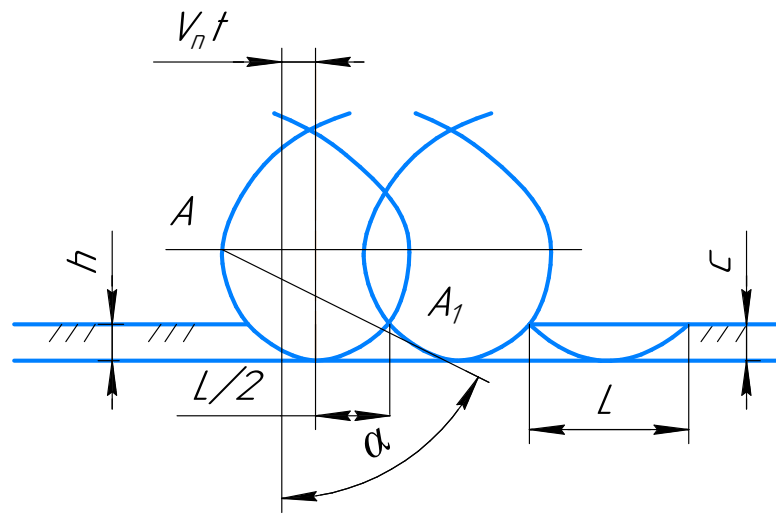


Рисунок 2.4 - Схема для визначення параметрів траєкторії голки.

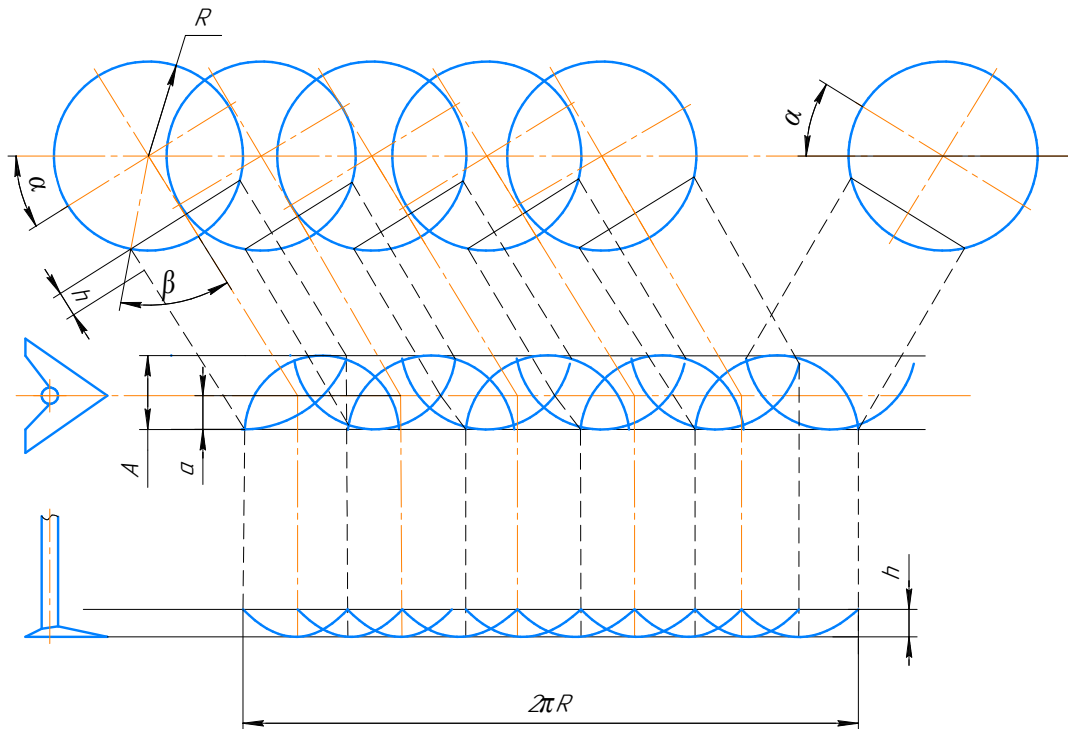


Рисунок 2.5 – Технологічний процес роботи сошника.

Особливість запропонованої конструкції сошника дозволяє зробити висновок, що для якісної роботи даного робочого органу досить виконання умови $C = h$.

Розглянемо технологічний процес роботи даного сошника і проаналізуємо умови утворення спільної висоти гребеня (рисунок 2.5). Голчастий диск, встановлений під деяким кутом α до напрямку руху, радіусом R здійснює переміщення з одного положення в інше на глибині h . В процесі руху на поверхні поля утворюється зона деформації у вигляді лунок довжиною L і шириною B . Відстань між лунками визначає висоту утвореного гребеня дна борозни, величина якої залежить від числа голок на диску. Зміна числа голок в більшу сторону призведе до збільшення маси сошника і значного впливу диска на ґрунтовий шар.

Запропонована нами схема розміщення голчастих дисків дозволяє меншим числом голок формувати ділянку, звільнену від рослинних залишків, що в повній мірі відповідає вимогам прямого посіву (формування на поверхні стерньового поля смуг для виконання посіву, причому загальна площа оброблюваної ділянки не повинна перевищувати 25% від загальної площі).

Другий диск сошника встановлений по куту повороту з зміщенням на величину, рівну половині кроку голок на диску, внаслідок чого при роботі диск буде формувати свої лунки між лунками від першого диска, спрямовані в іншу сторону. Перетин лунок відповідно одного і іншого диска формує на поверхні смугу, що знаходиться перед стійкою сошника і звільнену від рослинних залишків, це дозволяє домогтися меншого і постійного тягового опору за рахунок виключення можливості обволікання лобової поверхні, стійки сошника рослинними залишками.

Перетин лунок від двох дисків утворює загальну висоту гребеня дна борозни $C_{\text{заг}}$, що знаходиться перед стійкою сошника і за своїм значенням набагато менше заданої глибини обробки.

2.3 Робота голчастого диска при русі з гальмуванням

При русі голчастого диска відбувається його виглиблення, яке не кращим чином позначається на якості його роботи. Підвищення заглиблюваності голчастого диска шляхом уповільнення його обертання досліджувалася в роботі [21], в яких наголошується, що основним показником технологічного процесу роботи голчастого диска служить коефіцієнт гальмування робочого органу, який визначається відношенням поступальної і колової швидкостей.

Розглянемо вільний перекочування голчастого диска (рисунок 2.6) на прикладі окремої голки OK , виконаної у вигляді прямолінійного стержня, кінець K якого описує траєкторії AB і BC і заглиблюється в ґрунт на глибину h . На рисунку 2.6 видно, що голка OK переміщається нижче траєкторії ABC , знімаючи тильною стороною деяку площу ґрунту $авс$ (положення 11 рисунок 2.6). Зминанню перешкоджає сила реакції ґрунту R_r , вертикальна складова якої R_r^B ускладнює заглиблення робочого органу. Щоб виключити зминання ґрунту тильною стороною, голці надають форму, приблизно відповідну ділянці $DВ$ траєкторії руху.

З теорії різання ґрунтів [9] відомо, що стійкий хід знаряддя по глибині має місце в тому випадку, якщо задній кут різання ξ робочого органу (голки) не менше 10° , а на робочу поверхню діє результуюча сила $R_{рез}$ елементарних опорів ґрунту під кутом ψ до осі X так, щоб вертикальна складова прагнула заглибити робочий орган. За показник заглиблюваності робочого органу приймаємо кут

$$\psi = 90^\circ - (\beta + \varphi). \quad (2.20)$$

де β - кут кришення; φ - кут тертя робочого органу по ґрунту.

При позитивному значенні кута робочий орган заглиблюється, а при негативному - виглиблюється. Отже, вплив голчастого диска на ґрунт має бути таким, щоб в процесі руху забезпечувався задній кут різання, а на робочу поверхню діяла заглиблююча сила зрізаного пласта ґрунту. Бажане

досягається зміною форми траєкторії руху робочого органу за допомогою підбору співвідношення його поступальної і колової швидкостей.

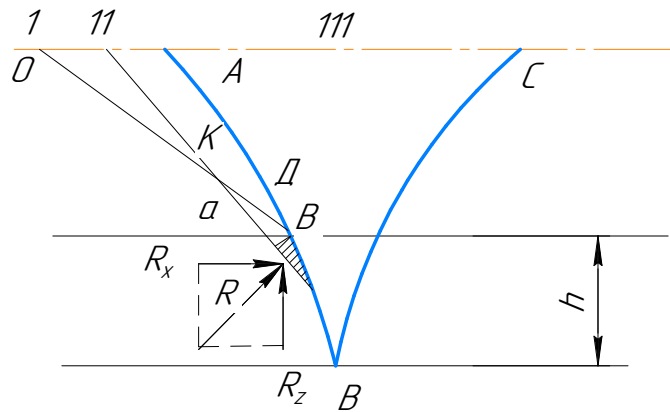


Рисунок 2.6 - Схема руху окремої голки.

Відношення має суттєвий вплив на форму траєкторії. Зі збільшенням відношення траєкторія руху має більш пологий (розтягнутий) вид і називається укороченою циклоїдою [3, 5, 9, 12-21]. рух робочого органу за скороченою циклоїді розглянемо на прикладі впливу на ґрунт голки зі змінним в процесі кутом кришення β (рисунок 2.7).

Введемо прийнятні параметри робочого органу для голчастого диска: задній кут різання ξ , утворений робочою гранню і дотичний до траєкторії кінця його руху (точка Д) в даний момент; кут кришення β утворений робочою гранню голки і горизонталлю; кут повороту голки ω від горизонталі; кут установки Q голки від радіуса диска; кут нахилу ν траєкторії руху леза голки до горизонту.

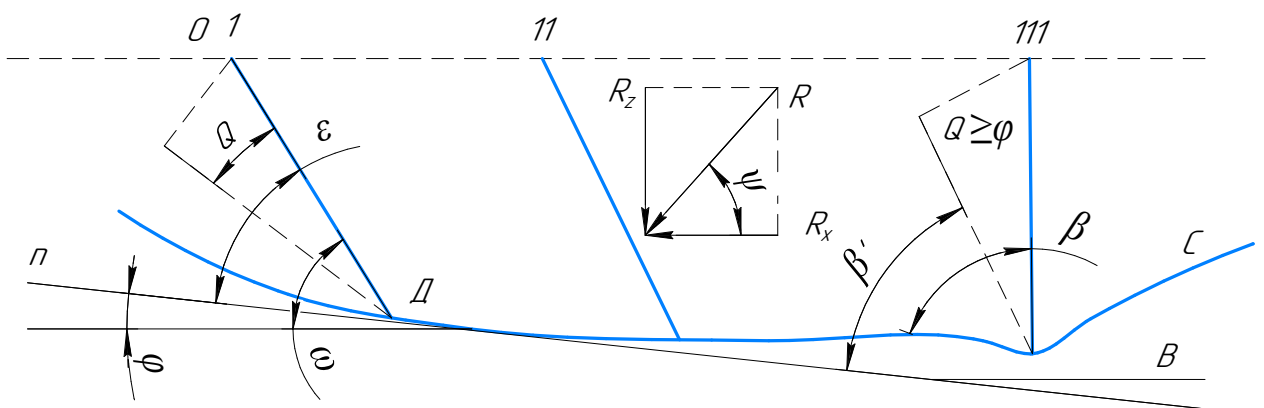


Рисунок 2.7 - Схема руху робочого органу з укороченою циклоїдою.

При русі на робочу поверхню голки діє результуюча сила $R_{рез}$ елементарних опорів ґрунту, яка відхилена від горизонталі на кут ψ (см. рисунок 2.7). Оскільки в процесі заглиблення кут кришення β безперервно збільшується від деякого мінімального значення в положенні 1 до максимального значення, рівного 90° (положення 11), $\psi = 90^\circ - (90^\circ + \varphi) = -\varphi$. Отже, в положенні 11 робочий орган виходить з ґрунту. З метою виключення цього відхилимо робочу частину голки від радіального положення в зворотну сторону на кут Q_{max} , щоб вона утворила з прямою, що з'єднує вісь обертання з кінцем голки, кут більше або дорівнює куту тертя φ сталі по ґрунту. Форма такої голки показана на рисунку 2.7, пунктирною лінією. Тоді кут кришення β' в положенні 111 складе $90^\circ - Q$, а $\psi = 90^\circ - (90^\circ - Q + \varphi)$. Отже, при відхиленні голки на кут $Q > \varphi$ голчастий диск під дією виштовхувальної реакції виходити не буде.

2.4 Обґрунтування співвідношення колової та поступальної швидкостей

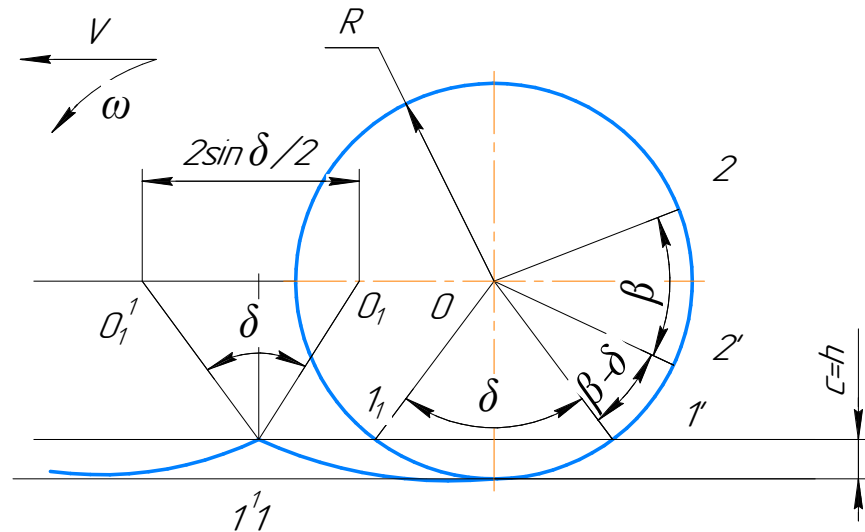
Визначення радіуса і числа голок диска За умови рівності глибини обробки h і висоти гребеня дна борозни C , в процесі роботи одного диска, справедливо наступне. Коли голка 1 повернеться на кут δ , наступна голка повернеться на цей же кут. Голка 2 повинна зайняти місце в точці 1_1 і повернутися при цьому на кут $(\beta - \delta)$ у відносному русі, а в переносному пройти шлях, рівний $2R \sin \delta/2$. Шлях може бути виражений як добуток швидкості машини V на кут $(\beta - \delta)$, тобто $V_M t = V_M (\beta - \delta) / \omega$ (рисунок 2.8),

$$\delta = 2 \arccos \left(\frac{R-C}{R} \right), \quad (2.20)$$

β - кут, що характеризує розташування голок на диску.

$$\text{Отже, } 2R = \sin \frac{\delta}{2} = V_M \frac{(\beta + \delta)}{\omega} \text{ або } K = \frac{(\beta + \delta)}{2 \sin \delta/2}$$

Замінивши $\delta/2$ з виразу (2.20), отримаємо [22-23].



$1_1 1$ - шлях точки голки в відносному русі; $1_1 1_1'$ - шлях голки в переносному русі; $1_1 1_1'$ - абсолютне переміщення; δ - кут, що характеризує висоту гребеня.

Рисунок 2.8 - Схема для обґрунтування співвідношення колової і поступальної швидкостей.

$$K = \frac{(\beta + \delta)}{\sin 2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right)} \text{ або } K = \frac{(\beta + \delta)}{\sin 2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right)} = \frac{2\beta}{\sin 2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right)} \quad (2.21)$$

У момент виходу голки 1 з ґрунту, з урахуванням рівності висоти гребеня і глибини обробки, отримуємо, що голка 2 повинна в цей момент почати впровадження в ґрунтовий шар, отже, кут δ , що характеризує висоту гребеня, дорівнює куту β , що характеризує розташування голок на диску:

$$\delta = \beta = 2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right), \quad (2.22)$$

Аналіз цього виразу показує, що при збільшенні глибини обробки або радіусу диска збільшується і кут β , отже, зменшується число голок і навпаки.

Розділивши 360° на кут β , отримуємо необхідну кількість голок для конкретного випадку:

$$n = \frac{360}{2 \arccos \left(\frac{R-h}{R} \right)} \quad (2.23)$$

Одним з параметрів, який визначає число голок, є радіус диска, визначимо його. При глибині обробки h і радіусу диска R голка стикається з

грунтом, перебуваючи під кутом φ до вертикальної осі диска. Тоді вираз, що зв'язує глибину обробки, радіус диска і кут матиме вигляд:

$$h = R(1 - \cos\varphi). \quad (2.24)$$

Звідки

$$R = h/(1 - \cos\varphi). \quad (2.25)$$

Глибина обробки різних посівів на ґрунтах, схильних до вітрової ерозії, практично постійна (5 - 6 см), отже, в нашому випадку радіус диска залежить від кута φ , оптимізація якого дозволить визначити радіус диска.

Аналіз теоретичних досліджень показує, що при малій поступальній швидкості деформація ґрунту відбувається під кутом внутрішнього тертя ρ . При збільшенні поступальної швидкості ґрунт деформується під кутом зсуву ψ , крім цього, виникає деформація відриву. Кути ρ і ψ характеризують фізико-механічні властивості ґрунтів [9]. Енергоємність і якість розпушування залежать від положення здвигаючого елемента голки по відношенню до твірної тіла ковзання. Тому зсувна частина голки в ідеальному випадку повинна бути направлена перпендикулярно до твірної, а для гарантованого зсуву і відриву тіла ковзання – під тупим кутом.

Уявімо диск, що котиться в ґрунті на глибині h (рисунок 2.9). Побудуємо профіль голки, що входить в ґрунт, і визначимо його кут заточки γ . Проведемо радіус диска в точку А. Отримана пряма буде ребром задньої грані голки. Як відомо [9, 21], для повного руйнування ґрунтової кірки голка повинна входити в ґрунт вертикально, тому проводимо перпендикуляр до поверхні поля з точки А і обмежуємо його точкою В, яка повинна лежати на поверхні поля при повному зануренні голки.

Отриманий відрізок є ребром передньої грані голки і хордою профілю криволінійної частини голки, а кут OAB - кутом заточки голки γ . Поєднавши точку О з В, отримаємо профіль прямолінійною частини голки. З рисунка 2.9 видно, що кут $\omega = \gamma$.

Робочий профіль голки повинен будуватися на межі ребра АВ, так як саме вона входить в ґрунт вертикально.

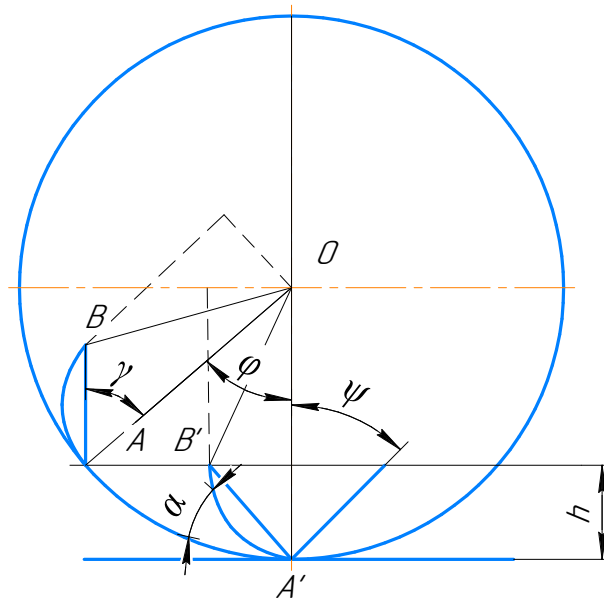


Рисунок 2.9 – Схема до визначення радіуса диска.

Перемістимо голку АОВ в нижнє положення. В цьому положенні почнеться зсув ґрунту під кутом Ψ і відрив тіла ковзання гранню ребра А'О. Але зсувна частина голки повинна бути перпендикулярна твірній, так як $\psi = 90^\circ$ не існує [21]. Тому зсувна частина голки повинна будуватися на межі ребра А'В, так як тільки вона може розташовуватися під прямим і тупим кутом до котра утворює. Таким чином, ми визначили межі довжини криволінійної частини голки і область побудови зрушуючої частини голки. Крім цього з рисунка 2.9 можна помітити, що

$$\varphi = \gamma = 90^\circ - \psi, \quad (2.26)$$

Або

$$\varphi = \gamma = 90^\circ - \rho, \quad (2.27)$$

З огляду на вищесказане, радіус голчастого диска визначимо з виразів:

$$R = \frac{h}{1} - \cos(90^\circ - \psi). \quad (2.28)$$

$$R = \frac{h}{1} - \cos(90^\circ - \rho). \quad (2.28)$$

У формулу входить параметр ψ , що характеризує фізико-механічні властивості ґрунту. Доцільно для кожного виду ґрунтів та технологічного процесу визначати свій оптимальний радіус голчастого диска.

2.5. Обґрунтуванням поперечного профілю голки диска

Проведений аналіз форм голок диска показав, що на практиці використовуються голки різної форми (плоскої, круглої, по формі букви Г і ін.). Слід очікувати, що якість розпушування різними за формою голками буде різною.

При виборі форми голки необхідно виходити з умови мінімальної гребнистої поверхні поля і розкиду ґрунтових частинок при роботі голки, величини зони деформації, тягового опору. Розглянемо різні форми голок і зробимо оцінку їх роботи. Рухомий робочий орган (деформатор) створює в ґрунті напружений стан, яке залежить від закону розподілу тиску по поперечному перерізі деформованого матеріалу. Так як закони деформації ґрунту близькі до законів лінійно деформованого середовища [9], то ґрунт можна вважати пружним середовищем.

Розподіл тиску по ділянці контакту двох стислих тіл виражається рівнянням:

$$P(x) = \frac{P + Aa^2 - 2Ax^2}{\pi\sqrt{a^2 - x^2}} \quad (2.30)$$

де $P(x)$ - тиск в довільній точці ділянки контакту; a - напівширина контакту; P - рівнодіюча зовнішніх сил; A - постійна, що залежить від геометричної форми стисливих тіл і їх пружних постійних V_1 і V_2 .

Постійна A в свою чергу визначається з рівнянь:

$$A = \frac{f_1^{11}(0) + f_2^{11}(0)}{2(V_1 - V_2)}. \quad (2.31)$$

де

$$V_1 = \frac{2(1 - \mu_1^2)}{\pi E_1}, \quad V_2 = \frac{2(1 - \mu_2^2)}{\pi E_2}$$

$f_1^{11}(0)$ і $f_2^{11}(0)$ - другі похідні [22-23] від рівнянь контурів поперечного перерізу взаємодіючих тіл в точці симетрії ділянки контакту $|x = 0|$;

μ_1^2 і μ_2^2 - модулі пружності деформатора і деформованого середовища.

Тиск на ділянці контакту і рівнодіюча стискаючих сил пов'язані рівнянням:

$$P = \int_{-a}^a P(x) dx \quad (2.32)$$

Що входить в рівняння (2.30) напівширину ділянки контакту визначимо з наступної умови: тиск $P(x)$ повинен мати кінцеві значення всюди, включаючи і край ділянки контакту, це можливо при $P = Aa^2$. В цьому випадку

$$a = \sqrt{\frac{2P(V_1+V_2)}{f_1^{11}(0)+f_2^{11}(0)}} \quad (2.33)$$

При деформації ґрунту деформатор можна вважати абсолютно жорстким, а рівняння контакту ґрунту в площині контакту при $a = 0$ можна представити у вигляді півпростору з постійною ординатою ($y = f_2(x) = const$). Це припущення приводить рівняння (2.31) до більш простого виду, так як $V_0 = 0 (E_1 = \infty)$ і $f_2^{11}(0) = 0$.

Розглянемо розподіл тисків по контакту для перетинів елементарних форм (кругла, плоска, клиноподібна). Круглий деформатор радіуса R (рисунок 2.10) описується рівнянням $X^2 + Y^2 = R^2$. після подвійного диференціювання рівняння і рішення виразу (2.30) отримаємо рівняння розподілу тисків на ділянці контакту круглого деформатора з ґрунтом.

$$P(x) = \frac{2P}{\pi a^2} \sqrt{a^2 + x^2} \quad (2.34)$$

де $a = \sqrt{2RPV^2}$.

Очевидно, що максимальний тиск розвивається в точці початкового контакту, тобто при $x = 0$ і дорівнює

$$P(0) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2P}{RV^2}} \quad (2.35)$$

Плоский деформатор утворює ділянку контакту, обмеженою шириною деформатора $2a$ (рисунок 2.10 б). В цьому випадку розподіл тиску виражається рівнянням:

$$P(x) = \frac{P}{\pi(a^2+x^2)} \quad (2.36)$$

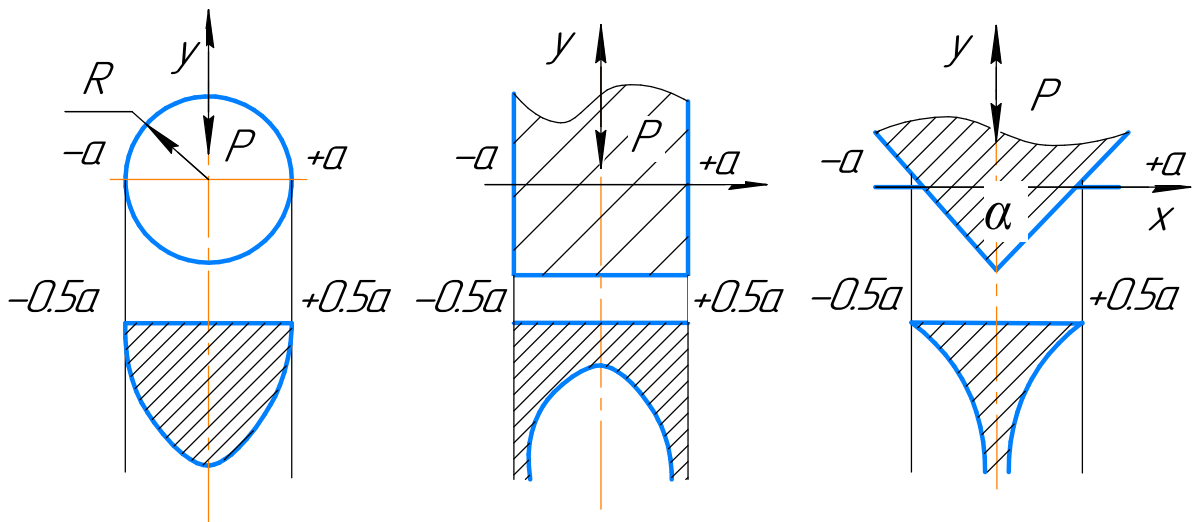


Рисунок 2.10 - Епюри тисків на ґрунт різними деформаторами.

Аналізуючи рівняння (2.36), неважко помітити, що тиск на краях плоского деформатора при $X = \pm a$ максимально і прямує до нескінченності. Для клинчастого деформатора зона деформації залежить від глибини входження в ґрунт (рисунок 2.10 в). Рівняння конфігурації клина можна виразити в наступному вигляді:

$$Y_2 = f_2(x) = A(x). \quad (2.37)$$

Так як при $X = 1, Y = A$, то $A = 1/\operatorname{tg}\alpha$.

Для клинчастого деформатора розподіл тиску виражається рівнянням:

$$P(x) = \frac{P}{\pi a} \ln \frac{a - \sqrt{(a^2 + x^2)}}{|x|} \quad (2.38)$$

де напівширина контакту рівна $a = \frac{\pi P V_2}{2A}$

З рівняння (2.38) видно, що максимальний тиск, що дорівнює нескінченності, розвивається у носка клину при $X = 0$. Проведені аналітичні дослідження дозволяють висунути таку робочу гіпотезу. Процес тріщиноутворення в ґрунті залежить від характеру розподілу тисків на ділянці контакту з деформатором, отже, первинні тріщини повинні виникати в точках максимальних тисків.

При прийнятих нами припущеннях (ґрунт – лінійно деформоване середовище, деформатор абсолютно жорсткий), в момент взаємодії з ґрунтом

круглого деформатора розподіл тисків більш рівномірний, в порівнянні з плоским і клиноподібним, на що вказує максимум в центрі ділянки контакту.

Такий розподіл тиску повинно викликати утворення декількох тріщин одночасно з більш розвиненою центральною тріщиною, що найбільшою мірою відповідає якійс роботі сошника з голчастими дисками і сприяє формуванню обробленої смуги перед стійкою сошника на заданій глибині.

2.6 Аналітичне визначення величини критичної сили впровадження голки диска в ґрунт

Ставлення корисної роботи впровадження голки $A_{\text{введ}}$, необхідної безпосередньо для введення в ґрунт, до всієї роботи, що витрачається при входженні, з урахуванням роботи $A_{\text{ст}}$ (стиснення), може характеризувати раціональність введення голки в ґрунт і за своїм змістом іменуватися коефіцієнтом корисної роботи [21].

$$\lambda = \frac{A_{\text{введ}}}{A_{\text{введ}} + A_{\text{ст}}}; \quad A_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{кр}}}{2}$$

З виразу видно, що входить в знаменник робота стиснення $A_{\text{ст}}$ залежить від величини $P_{\text{кр}}$, що змінює своє значення в залежності від глибини h . При поглибленні в ґрунт на величину $h_{\text{ст}}$, на голку діє сила $P_{\text{різ}}$, спрямована вгору (опір руйнування матеріалу) (рисунок 2.11). Сили $P_{\text{обм}}$ - обтискання маси, мають горизонтальний напрямок і діють на бічні грані леза, виникають від розширення ґрунтового шару, викликаного введенням в нього голки диска, сила $P_{\text{ст}}$ – опір шару стиску, спрямована вгору.

Таким чином, на голку діє сила N , що є сумою проєкцій сил $P_{\text{обм}}$ і $P_{\text{ст}}$ на напрямок нормалі.

$$N = P_{\text{ст}} \sin \beta + P_{\text{обм}} \cos \beta \quad (2.39)$$

Від нормальної сили N на голку діє сила тертя

$$T_2 = Nf \quad (2.40)$$

де $f = \operatorname{tg} \varphi$ - коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу голки;

φ - кут тертя.

Нормальну силу N можна виразити і через кут тертя в наступному вигляді:

$$N = \sqrt{P_{\text{обм}}^2 + P_{\text{ст}}^2} \cos\varphi \quad (2.41)$$

Аналогічна сила тертя T_1 виникає на іншій грані голки від сили $P_{\text{обм}}$.

$$T_1 = P_{\text{обм}} f \quad (2.42)$$

Сила T_1 спрямована вертикально вгору, а T_2 – під кутом β . Вертикальна проекція сили T_2 дорівнює $T'_2 = T_2 \cos\beta$.

Підставивши значення N , отримаємо

$$T'_2 = f(P_{\text{ст}}/2 \sin 2\beta + P_{\text{обм}} \cos^2 \beta) \quad (2.43)$$

в момент початку входження голки в ґрунт критична сила $P_{\text{кр}}$, прикладена до голки, повинна подолати суму всіх сил, що діють у вертикальному напрямку, тобто

$$P_{\text{кр}} = P_{\text{введ}} + P_{\text{ст}} + T_1 + T'_2, \quad (2.44)$$

Силу $P_{\text{введ}}$ можна визначити як похідну площі леза $F_{\text{л}}$ на руйнуючі напругу δ_p :

$$P_{\text{введ}} = F_{\text{л}} \delta_p = \sigma \Delta S \delta_p \quad (2.45)$$

де σ - товщина леза; ΔS - довжина леза.

Залежність величин сил $P_{\text{ст}}$ і $P_{\text{обм}}$, що входять в вираз (2.44), від інших параметрів процесу аналітично можна визначити наступним чином.

Розглянемо дію елементарних сил $dP_{\text{ст}}$ і $dP_{\text{обм}}$ на голку при введенні в ґрунт з боку елементарних вертикального і горизонтального стовпців, виділених з ґрунтового шару (рисунок 2.11 б). Відносне стиснення ε будь-якого вертикального стовпчика в межах голки на відстані X від вершини леза рівне

$$\varepsilon = h_{\text{ст.х}}/h \quad (2.46)$$

Для багатьох матеріалів справедлива залежність, що відбиває закон пропорційності (закон Гука), діючий між відносним стисненням ε і напругою δ .

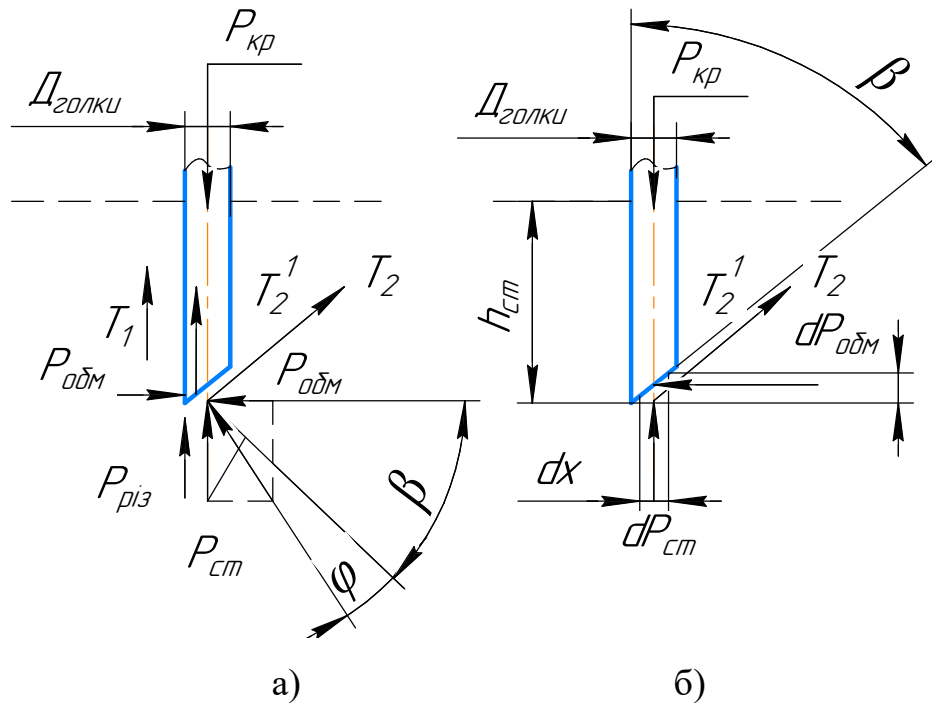


Рисунок 2.11 - Схема для обґрунтування залежності коефіцієнта λ корисної роботи від h глибини.

$$\varepsilon = \delta/E \quad (2.47)$$

де E – модуль пружності.

У нашому випадку залежність між ε і δ в межах попереднього стиснення $h_{ст}$ підпорядковується вказаному закону. З [21]:

$$h_{ст} < b/tg\beta \quad (2.48)$$

де b - товщина голки. Площа F_x , на яку діє сила $P_{ст}$, зростає за законом

$$F_x = \Delta S h_{ст} tg\beta \quad (2.49)$$

Таким чином, якщо силу $P_{ст}$ відносити до площі F_x , то залежність між ε і δ підпорядковується не закону пропорційності, а степеневому закону, який застосуємо для більшості матеріалів. Оскільки в даному випадку завданням є виявлення закономірності зміни $P_{ст}$ в залежності від зміни величини відносного стиснення ε , в якості напруги приймаємо відношення $P_{ст}$ до

первісної площі, подібно до того, як це приймають при визначенні залежності розтягування або стиснення $\varepsilon = f(\delta)$. Зазначене допущення в нашому випадку зводиться до того, що ми в вираженні статичної залежності

$$\varepsilon F = \delta^n. \quad (2.50)$$

приймаємо показник ступеня $n = 1$.

Прийнявши таке припущення, елементарну силу стиснення $dP_{\text{ст}}$, що діє з боку стовпчика площею dF , довжиною, що дорівнює одиниці, і шириною d_x , представимо в наступному вигляді:

$$dP_{\text{ст}} = E\varepsilon d_x = E\varepsilon dh_{\text{ст}} \text{tg}\beta, \quad (2.51)$$

Підставимо значення ε отримаємо:

$$dP_{\text{ст}} = E \frac{h_{\text{ст}}}{h} dh_{\text{ст}} \text{tg}\beta \quad (2.52)$$

$$P_{\text{ст}} = \frac{E}{h} \text{tg}\beta \int_0^{h_{\text{ст}}} h_{\text{ст},x} dh_{\text{ст}} = \frac{E}{2h} h_{\text{ст}}^2 \text{tg}\beta \quad (2.53)$$

Таким чином, необхідна сила $P_{\text{ст}}$ для стиснення шару ґрунту голкою знаходиться в квадратичній залежності від величини $h_{\text{ст}}$.

Якщо в горизонтальному напрямку відносна деформація дорівнює ε_1 , то елементарну силу обтиску $dP_{\text{обм}}$ визначимо наступним чином:

$$dP_{\text{обм}} = \varepsilon_1 E dh_{\text{ст}}. \quad (2.54)$$

Відносну деформацію ε_1 в горизонтальному напрямку можна виразити через відносну деформацію ε у вертикальному напрямку залежністю [9]:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon \mu \quad (2.55)$$

де μ - коефіцієнт Пуассона ($\mu = 0,08 - 0,1$).

Підставляючи значення ε з виразу (2.46) в вираз (2.55), отримаємо

$$\varepsilon_1 = \mu \frac{h_{\text{ст},x}}{h} \quad (2.56)$$

Елементарна сила, що діє з боку горизонтального стовпчика, дорівнює

$$dP_{\text{обм}} = \varepsilon_1 E dh_{\text{ст}} = \mu \frac{h_{\text{ст},x}}{h} E dh_{\text{ст}}$$

Силу, обжимаються голку, визначимо виразом

$$P_{\text{обм}} = \mu \frac{E}{h} \int_0^{h_{\text{ст}}} h_{\text{ст},x} dh_{\text{ст}} = \mu \frac{E}{2} \frac{h_{\text{ст}}^2}{h}, \quad (2.57)$$

Якщо врахувати, що коефіцієнт Пуассона має малі значення, можна сказати, що $P_{обм}$ становить незначну частку від величини $P_{ст}$. Підставляючи значення всіх сил, протидіючих $P_{кр}$, отримаємо її значення для довжини леза $\Delta S = 1$.

$$P_{кр} = \sigma \delta_p + \frac{E h_{ст}^2}{2 h} tg\beta + \frac{f \mu E}{2} \frac{h_{ст}^2}{h} + f \left(\frac{E h_{ст}^2}{4 h} tg\beta \sin 2\beta + \frac{\mu E}{2} \frac{h_{ст}^2}{h} \cos^2 \beta \right) \quad (2.58)$$

Перетворивши, отримаємо:

$$P_{кр} = \sigma \delta_p + \frac{E h_{ст}^2}{2 h} [tg\beta + f \sin^2 \beta + \mu(f + \cos^2 \beta)] \quad (2.59)$$

З виразу (2.59) перший доданок, що визначає $P_{введ}$, знаходиться в прямій залежності від постійних параметрів умов введення σ і δ_p . Другий доданок формули (2.59) враховує по суті всі шкідливі опори $P_{оп}$, пов'язані з деформацією ґрунтового пласта, і тертя голки в шарі ґрунту при введенні. Для величини $P_{оп}$ (другий доданок) велике значення набувають фізико-механічні властивості оброблюваного шару.

3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень передбачає проведення лабораторних і лабораторно-польових експериментів. Для проведення експериментальних досліджень по вивченню якісних характеристик прийнятої конструкції сошника, що містить два голчастих диска і культиваторну лапу, необхідно перш за все її спроектувати і виготовити. При цьому необхідно виконати такі конструктивно-технологічні параметри, які дозволяють проводити монтаж сошника на раму серійної моделі сівалки СЗС-2,1 без зміни базової конструкції, з умовою установки комбінованого робочого органу, що виконує посів сільськогосподарських культур по стерні.

На стадії лабораторних дослідів визначити кінематичні та динамічні характеристики голчастих дисків, процес параметри і умови спільної роботи голчастих дисків і стрілкової лапи, що забезпечують стійкість їх ходу в вертикальній і горизонтальній площині.

Для повноцінної перевірки якості посіву доцільно було б провести посів зернових культур, за допомогою пропонованої конструкції сошника.

Провести порівняння з серійним варіантом робочого органу сівалки моделі СЗС-2,1 і при цьому виконати агротехнічну і енергетичну оцінки роботи сошників.

Для цих цілей, а також для вивчення взаємозв'язку процесів, що протікають і контролю достовірності показань приладів заміряти наступні параметри: довжину лунки; ширину лунки; відстань між лунками; тяговий опір; врожайність.

На лабораторно-польових експериментах застосувати методи досліджень у відповідності до загальноприйнятої методикою (ОСТ 70.4.2-80

Випробування с.-г. техніки. Машина та знаряддя для поверхневої обробки ґрунту. Програми і методи випробувань).

3.2 Експериментальна установка та обладнання

Для проведення досліджень нами спроектований і виготовлений експериментальний робочий орган, конструкція якого дозволяє змінювати його параметри, такі як: діаметр диска; число голок на диску; форму голки і її діаметр.

Дослідження, спрямовані на визначення способу установки голчастих дисків, оптимальних кінематичних значень, а також вивчення процесу лункоутворення проводилися на площі присадибного фермерського господарства автора роботи.

Переміщення сошника відбувалось за допомогою мотоблока ЗУБР потужністю 12 к.с. Вимірювання опору поступальному рухові проводилось за допомогою універсального програмованого мікроконтролера Arduino UNO та тензометричної ланки, дані записувались на переносний персональний комп'ютер (ноутбук).

Установка експериментального сошника на мотоблок проводилась за допомогою навіски. Конструкція навіски передбачає наявність бруса квадратного перерізу, щоб зімітувати механізм кріплення сошника на сівалці СЗС-2.1 Тензометричний датчик фіксувався на стінці причіпного механізму, що безпосередньо сприймає навантаження від сошника в процесі руху. При вимірі тягової характеристики нами використовувалися тензорезистор, рисунок 3.1 з максимальним навантаженням 100 кг. В якості підсилювача сигналу використовувався аналогово-цифровий підсилювач 24-бит АЦП НХ711 (рисунок 3.2)[24], схема підключення якого показана на рисунку 3.3.

Отримання числових значень тягового опору сошника сівалки СЗС-2.1 (рисунок 3.4) з голчастими очищувачами рядка відбувалось за допомогою написаної програми (додаток А) [25-28].



Рисунок 3.1 – Тензорезистор.

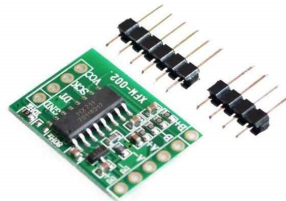


Рисунок 3.2 – Тензорезисторний підсилювач 24-бит АЦП HX711.

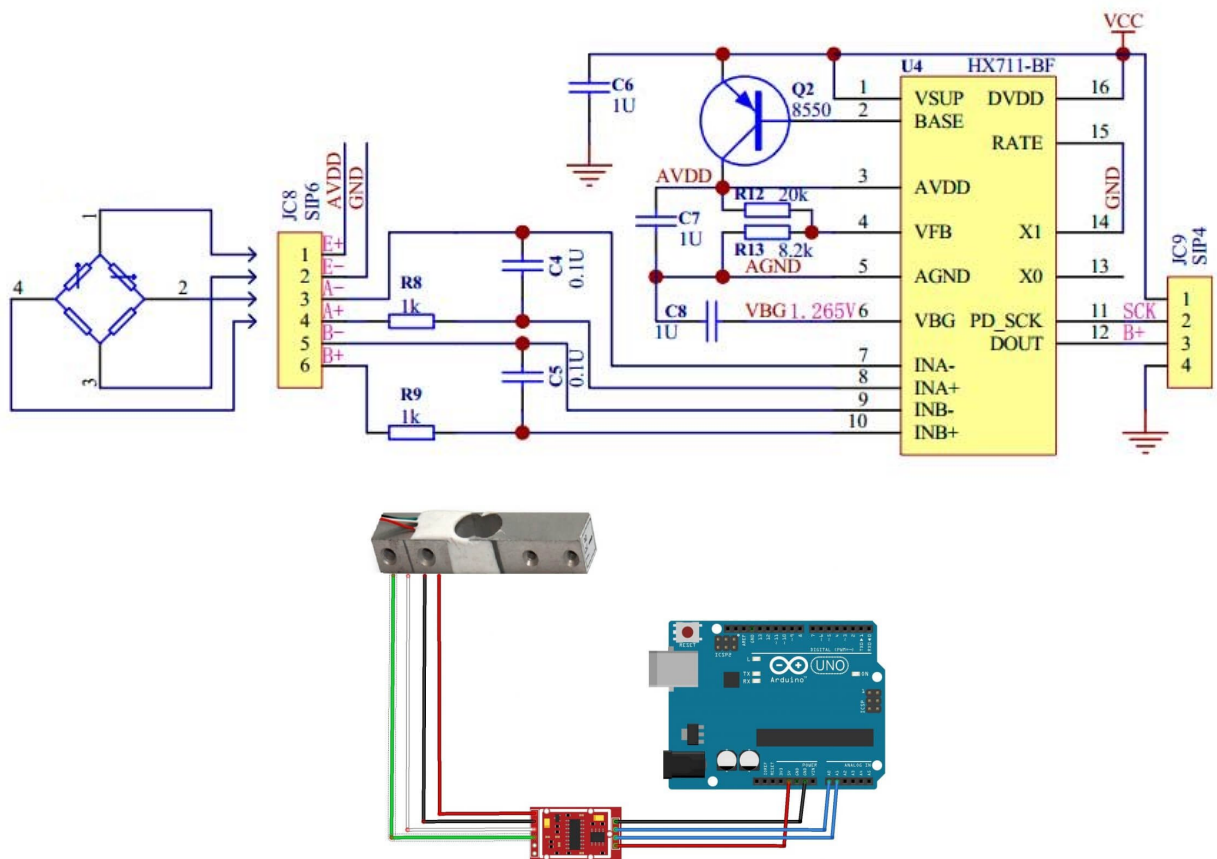


Рисунок 3.3 – Схема підключення підсилювача 24-бит АЦП HX711 до програмованого мікроконтролера Arduino Uno.

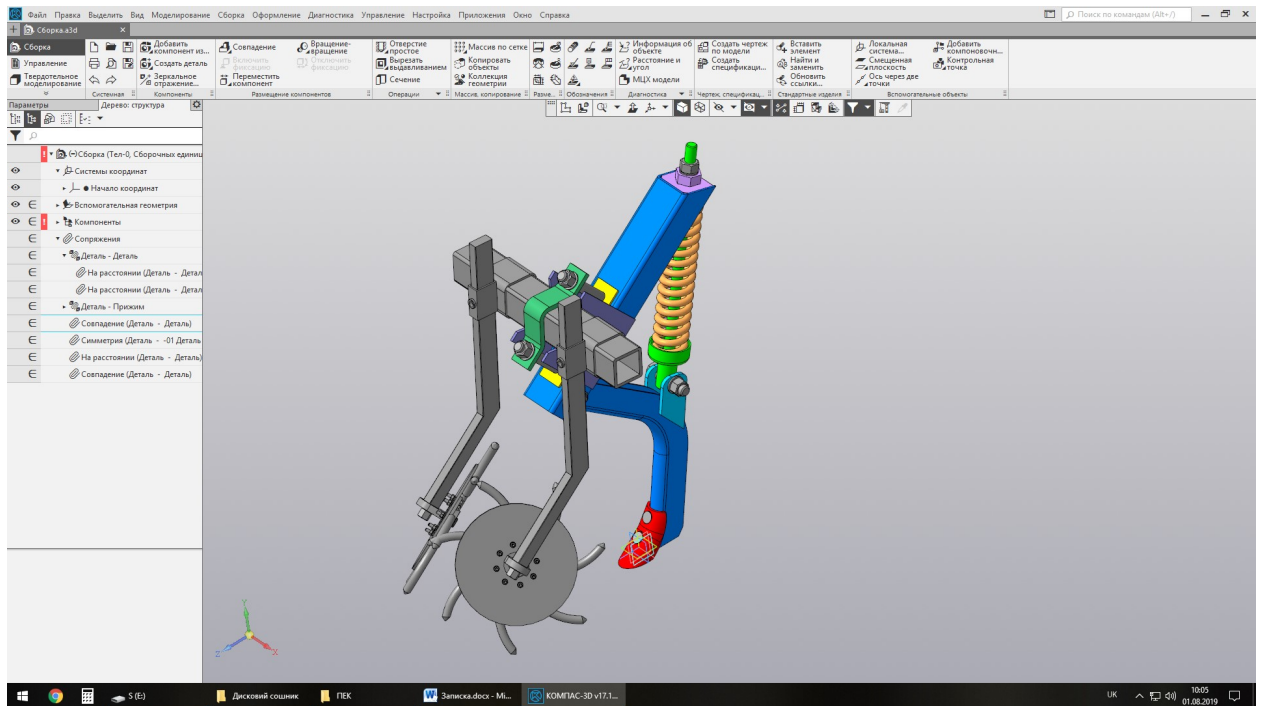


Рисунок 3.4 – Наральниковий сошник сівалки СЗС-2.1, 3 D модель.

Перед використанням тензодатчика його необхідно відкалібрувати. Завантажуємо на плату Arduino написаний скетч (додаток А). Відкриваємо монітор послідовного порту, при цьому на датчик не повинно створюватись тиску. Потім ставимо вантаж відомої маси (наприклад гирі) і дивимось значення вихідного сигналу. Якщо вони недостовірні, необхідно поміняти значення змінної `float calibration_factor`, поки для використаної ваги не будуть виводитись правильні дані, з відхиленням не більше 3%. Для нашого датчика 1 кг - підібрано `calibration_factor = 64.80`. Відхилення отриманих значень (див. рисунок 3.5).

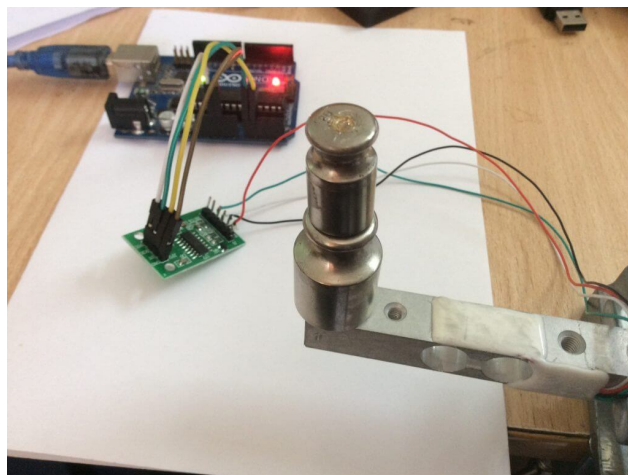


Рисунок 3.5 – Калібрування тензорезистора.

Після проведення калібрування тензорезистора, проводимо його установку на навіску мотоблока, безпосередньо до тензорезистора прикріплюється сошник, за допомогою хомута та болта, сошник не повинен доторкатись до інших деталей металоконструкції.

Після проведення всіх налаштувань, проводимо безпосередні вимірювання, на першому етапі встановлюємо сошник без голчатих очищувачів ряду, відміряємо дослідний гон довжиною 20 м, для вимірювання швидкості руху мотоблока використаємо відому шкільну формулу, за якою знаючи відстань та час її проходження визначимо швидкість руху агрегату. Час проходження відстані заміряємо секундоміром на смартфоні. Дослід проводиться на неочищеній від бур'янів та не обробленій ділянці, кратність дослідів 10. Після дослідження стандартного сошника СЗС-2.1 аналогічно проводимо дослідження запропонованого сошника.

Для отримання точних результатів дослідження необхідно знати твердість та вологість ґрунту. При визначенні твердості використовували прилад ВИСХОМ (рисунок 3.6) [29]. Прилад складається з трубчастої стійки 1, укріпленої на опорній плиті, рухомої каретки 2, механізму протягування стрічки 4 з самописця 3 і штока зі змінними пружинами 5. У комплект входять три пари змінних пружин зусиллям 25, 50 і 100 кг.



Рисунок 3.6 – Твердомір конструкції ВИСХОМ.

Вологість ґрунту також визначали за допомогою стандартної методики, за найбільш поширеним та доступним методом ваговим методом. В основу його покладено висушування зразків ґрунту. Відібраний зразок ґрунту масою 30-40 г переносять у заздалегідь зважений сушильний бюкс, швидко закривають кришкою і зважують з точністю до 0,01 г. Бюкси з відкритими кришками ставлять у сушильну шафу і сушать до постійної маси при температурі 100-105 °С. Піщані й супіщані ґрунти можна сушити при температурі 150-160 °С. Через 5-6 годин бюкси виймають із сушильної шафи, закривають кришками і ставлять для охолодження в ексикатор. Після цього їх зважують, відкривають кришки і ставлять на контрольне сушіння. Через 1-2 год їх виймають із шафи, охолоджують і зважують. Розходження в масі після контрольного сушіння повинно бути не більше 0,05 г.

3.3 Варіанти експериментальних голчастих дисків

Тяговий опір і агротехнічні показники роботи сошника залежать від геометричних параметрів, швидкості руху і умов роботи - типу ґрунту, вологості, твердості і ін. З огляду на те, що призначення стерньових сівалок і терміни виконання посіву обумовлюють умови їх роботи, зниження тягового опору і поліпшення якісних показників комбінованого сошника можна досягти тільки за рахунок оптимізації геометричних параметрів та режимів роботи.

Значення геометричних параметрів розглянутих робочих органів пов'язані між собою аналітичними залежностями (2.10, 2.23, 2.28). Зміна величини одного з параметрів тягне за собою зміну інших. У зв'язку з цим, а також зі складністю процесів, що відбуваються в ґрунті під впливом сошника, не можна проводити дослідження і вибір оптимальних параметрів робочого органу тільки аналітичним шляхом, але і експериментальним. При проведенні експериментальних досліджень змінювати тільки один параметр, залишаючи інші постійними, що не є можливим. У зв'язку з цим необхідно

оцінити вплив кожного геометричного параметра і режиму роботи сошника на якісні показники його роботи.

Результати теоретичних досліджень показали, що мінімальне зусилля на введення голки в ґрунтовий шар забезпечується при певних значеннях геометричних параметрів, що змінюються в широких діапазонах. При цьому найменше тяговий опір і найкраща заглиблюваність в одних випадках може забезпечуватися при нижніх межах значень параметрів, а в інших – при верхніх. У зв'язку з цим для проведення експериментальних досліджень були розроблені і виготовлені три варіанти голчастих дисків, голки поперечного перерізу яких мають круглу плоску і клиноподібну форми (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Варіанти голчастих дисків.

Діаметр диска, мм	Діаметр голки, мм	Радіус кривизни голки, мм	Число голок на диску, шт.	Форма поперечного перерізу голки
300	12	120	5	1. Кругла
340	14	160	6	2. Плоска
380	16	180	7	3. Клиноподібна

3.4 Методика оцінки якості роботи експериментальних сошників

Оцінка якості роботи сошників проводилася по ступеню збереження стерні на поверхні поля і розпилення верхнього обробленого шару ґрунту (0 ... 5 і 5..10 см), по твердості і вологості ґрунту.

Збереження стерні на поверхні поля визначали ваговим способом. До проходу агрегату в десяти місцях його облікового проходу накладалася рамка (1м²). В межах рамки стерню зістригали і збирали в мішечки, забезпечені етикетками, на яких вказувалися: варіант робочого органу, повторність дослідів і дата проведення випробувань.

Після проходу посівного агрегату рамку накладали поруч з місцем, на якому вона розташовувалася до проходу. Стерню, що знаходиться в межах рамки, збирали і поміщали в мішечки з відповідними етикетками. У лабораторних умовах стерню з кожної ділянки зважували з точністю до 1 г і визначали відсоток залишеної стерні на поверхні поля по кожній повторності і середній за ним.

Помилка досліду не перевищувала 4-6%. Розпилення ґрунту комбінованими сошниками визначалася нами відповідно до загальноприйнятої методикою, по якій знаходили процентний вміст маси ерозійно-небезпечних частинок (<1мм) в шарі 0,05 м до і після проходу посівного агрегату. Різниця між ними і дасть збільшення або зменшення ерозійно-небезпечних частинок в ґрунті після проходу посівного агрегату. Проби на розпорошення брали спеціальним пробником, які мають обмеження по глибині.

Їх обережно висипали в спеціальні картонні скриньки, в яких вони підсихали до повітряно-сухого стану. Після цього визначали загальну масу. Потім за допомогою набору ґрунтових сит відокремлювали частки менше 1 мм і зважували. Визначення маси частинок (<1 мм) проводилося з точністю до 1г. Вимірювання твердості і вологості ґрунту необхідно для визначення моменту фізичної її стиглості при оптимальному виборі термінів проведення сільськогосподарських робіт, а також для прогнозування витрат пального, контролю якості виконаної роботи і прийняття своєчасних заходів у боротьбі з ерозією ґрунту.

Твердість визначали приладом ВИСХОМ (рисунок 3.6), який дозволяє отримати дані про твердість ґрунту на різних горизонтах. Твердомір встановлювали на підготовлений майданчик. Стоячи на дерев'яній платформі, обертанням рукоятки плавно занурювали плунжер в ґрунт на задану глибину. З моменту руху плунжера вниз по шляху S'_o і до зіткнення його з ґрунтом на діаграмній стрічці записується крива S_o відхилення від початкового положення на $2f$. Це відхилення обумовлено дією всіх сил

тертя, що виникають в твердомірі. На кривих отримуємо ділянки K_1 і K_2 , які при обробці кривої з'єднуємо прямою лінією, прийнятою за нульову.

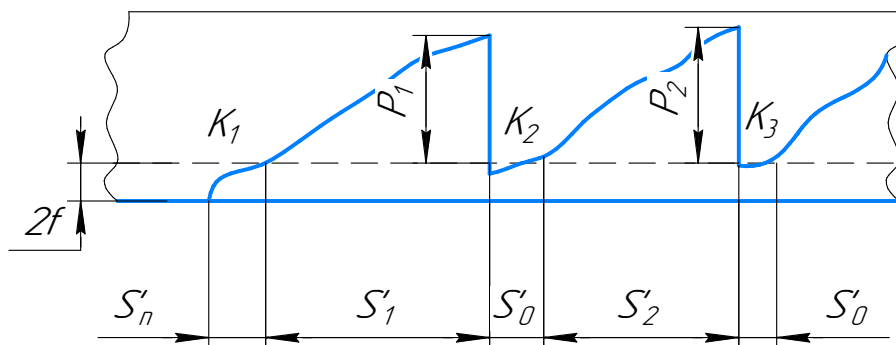


Рисунок 3.7 – Діаграма вимірювання твердості ґрунту.

Середню твердості ґрунту P обчислюємо за формулою:

$$P = hn/S \quad (3.1)$$

де h - значення середньої ординати, обчисленої по діаграмі; n - жорсткість пружини, Н/м; S – площа поперечного перерізу плунжера, м.

Твердість ґрунту визначали не менше 5 разів. Вологість ґрунту визначали за загальноприйнятою методикою. Необхідна кількість (число) повторностей при визначенні вибирали в процесі роботи так, щоб максимальне відхилення від середнього значення не перевищувало 5..7%.

Рівномірність глибини загортання насіння визначили два рази: після проходу посівного агрегату і після появи сходів. За даними вимірів визначали середню арифметичну величину, яка є середньою глибиною загортання насіння. Рівномірність глибини закладення визначали тільки на контрольних ділянках при сталому русі агрегату. Рівномірність глибини закладення визначали тільки на контрольних ділянках при сталому русі агрегату.

3.5 Визначення біологічної врожайності

Показник врожайності дає можливість оцінити вплив окремих прийомів агротехніки [7-8]. По діагоналі дослідної і контрольної ділянок в

десяти місяцях зрізали рослини з 1 м^2 і пов'язували в снопки. В лабораторних умовах проводили обмолот колосків кожної рослини. Підраховували кількість колосків на 1 м^2 і кількість зерен в кожному колоску, визначали вагу зерен кожного колоска, загальна вага зерна з 1 м^2 і вагу тисячі зерен дослідної і контрольної ділянок.

Дані обробляли методами математичної статистики, визначали середнє арифметичне значення і його похибку, встановлювали відхилення і коефіцієнт варіації.

Результати аналізу рослин за елементами структури врожаю посівів і їх обробку оформляли у вигляді в таблиць. За результатами аналізу отриманих даних визначали середню кількість зерен в колосі, середню вагу зерен в колосі і загальну вагу 1000 зерен. За цими даними визначили біологічну урожайність за формулою.

$$Y = B0,1 \quad (3.2)$$

де Y - врожайність, ц/га; B - вага зерна з 1 м^2 , г.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати теоретичних і лабораторних досліджень

Проведений аналіз літературних джерел, наукових публікацій, а також результатів власних спостережень по питанню виконання посіву в районах прояву вітрової ерозії, визначив напрямки наших досліджень.

За результатами дослідницької діяльності встановили, що в умовах вітрової ерозії доцільно застосовувати мінімальні технології, спрямовані на збереження максимально можливої кількості стерньових залишків на поверхні поля. На нашу думку, одним з перспективних напрямків ведення сільськогосподарського виробництва на ґрунтах, схильних до впливу вітрової ерозії, є технологія прямого посіву. Для виконання посіву по стерньових фонах, заводами сільськогосподарського машинобудування випускається комплекс машин, однак спостереження показують, що робочі органи стерньових сівалок (сошники) не в повній мірі відповідають агротехнічним вимогам. Робочі органи збільшують розкидання ґрунту, він сильно кришиться і засинає стерню. Причина небажаного явища - залипання ґрунтом робочих органів, особливо стійок, які стають товщі. В процесі роботи відбувається збільшення лобової поверхні, а як наслідок - збільшення тягового опору за рахунок налипання ґрунту і обволікання стійки сошника рослинними залишками, що в свою чергу призводить до відхилення стійки сошника тому, підвищеного зносу лапи сошника і нерівномірного розподілу насінневого матеріалу в ґрунтовому горизонті, збільшення ширини міжрядь.

Залипання відбувається шляхом утворення наросту ґрунту на лобовій і бічних поверхнях стійки: він приймає різну форму і залежить від конструкції стійки, стану ґрунту і швидкості руху. За рахунок лобового ґрунтового наросту перед робочим органом при його русі утворюється ущільнене ґрунтове ядро, яке створює додатковий опір.

Ґрунтові межі клина лобової поверхні збільшують коефіцієнт тертя який як відомо [9], майже в 2 рази вище коефіцієнта тертя ґрунту по металу.

Беручи до уваги недоліки конструкцій існуючих сошників, а також агротехнічні вимоги до них, нами створена конструкція сошника прямого посіву з голчастими дисками, що володіє меншим і постійним тяговим опором за рахунок виключення обволікання стійки сошника рослинними залишками і налипання ґрунту.

4.2 Результати визначення оптимальних параметрів сошникової групи

За результатами теоретичних досліджень виготовлений дослідний зразок сошника сівалки прямого посіву, проведені лабораторні дослідження.

На стадії лабораторних досліджень, для визначення оптимальних параметрів сошника з голчастими дисками, було проведено ряд дослідів за отриманими даними яких побудовано графічні залежності, що дозволяють визначити оптимальні параметри конструктивних елементів сошникової групи.

Після обробки експериментальних даних методами варіаційної статистики і теорії ймовірності з використанням електронних таблиць Microsoft Excel 2000 з пакету Microsoft Office, за визначенням конструктивних параметрів сошника сівалки прямого посіву, впливають на стійкість і тяговий опір сівалки, побудовано графічні залежності характеризуючи ширини a борозенки перед стійкою сошника від діаметра диска, кількості голок на диску, діаметра голки.

На основі проведеного аналізу побудованих графічних залежностей (рисунок 4.1-4.5). Можна відзначити, що характер поверхонь не має максимального значення, з збільшенням факторів збільшується і показник a . Оптимальні параметри більшою мірою залежить від числа і діаметра голок.

На основі проведеного аналізу отримані наступні оптимальні параметри сошника сівалки прямого посіву з голчастими дисками: діаметр

диска $D_d = 340 - 360$ мм; число голок на диску $n = 5$ шт; діаметр голки диска $D_{\text{голки}} = 14-16$ мм.

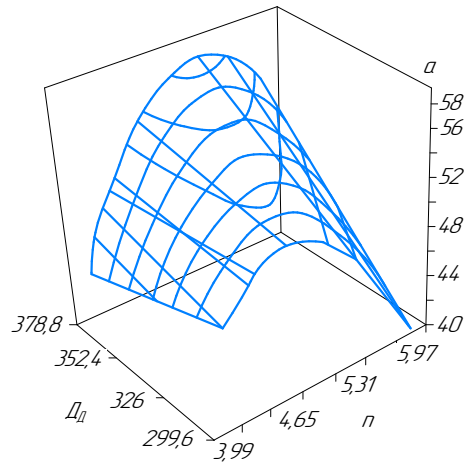


Рисунок 4.1 – Графік залежності смуги перед стійкою сошника в від діаметра голчатого диска D_d і числа голок на диску n .

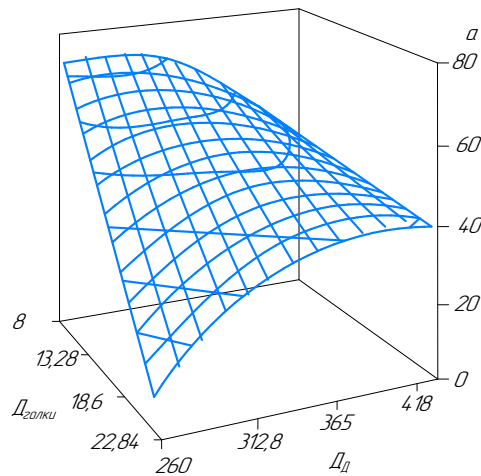


Рисунок 4.2 – Графік залежності смуги перед стійкою сошника в від діаметра голчатого диска D_d і діаметра голок на диску $D_{\text{голки}}$.

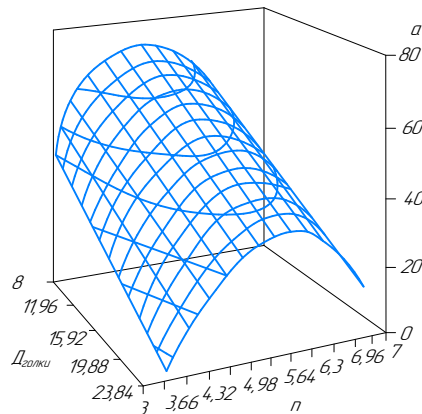


Рисунок 4.3 – Графік залежності смуги перед стійкою сошника від кількості голок на диску n і діаметра голок на диску $D_{\text{голки}}$.

4.3 Агротехнічна оцінка роботи сошника сівалки прямого посіву

При проведенні експериментів було доведено: доцільність застосування сошника з голчастими дисками; найкраща установка голчастих дисків на стійці сошника, рівна кутку розчину стрілкової лапи, причому диски з'єднані між собою шарнірною ланкою так, що голки по куту повороту зміщені на величину половини кроку голок на диску; якісна робота голчастого диска забезпечується при частковому його пригальмовуванні; постановка голки в положення «дзьобом» забезпечує краще виконання і дотримання агротехнічних вимог; диск повинен обертатися на підшипнику; оптимальна кількість голок на диску $n = 5$ шт; оптимальний діаметр голчастого диска $D_d = 340-360$ мм, діаметр голки в поперечному перерізі $D_{\text{голки}} = 14-16$ мм, радіус кривизни голки диска $r = 110 - 120$ мм, найкращі умови роботи досягаються від застосування голок круглої форми.

У даному пункті роботи наведено заключний польовий експеримент по визначенню впливу на агротехнічні показники: робочої швидкості агрегату; термінів проведення посіву; геометричних параметрів сошникової групи.

Результати експерименту представлені в таблиці 4.1. Аналіз результатів показує, що сошник з голчастими дисками забезпечує рівномірний рух по глибині, копіювання рельєфу, за рахунок виключення обволікання стійки сошника рослинними залишками і ґрунтом.

Польові випробування підтвердили нашу гіпотезу - голчастий диск в положенні «дзьобом» має кращу заглиблюваність, ніж диск в положенні «потилицею». Однак з збільшенням швидкості руху спостерігається виглиблення сошника (обидва варіанти), в наслідок збільшення тягового опору і скорочення часу контакту голок з ґрунтом.

В силу того, що на сівалці СЗС-2,1 встановлені прикочуючі котки, гребенистість поверхні поля після посіву не має суттєвої різниці за всіма варіантами випробувань. При русі голчасті диски формують перед стійкою сошника оброблену смугу (зона максимального кришення ґрунту) без

рослинних залишків, розпушену на глибину закладки насінневого матеріалу, де подрібнення ґрунту становить 82 - 93% фракцій менше 5 см в разі постановки диска в положення «дзьобом».

Таблиця 4.1

Агротехнічна оцінка сошників при посіві пшениці.

Показник	Значення показника (Сошник)								
	Базовий			Експериментальний (диск в положенні)					
				Клювом			Затилком		
	Робоча швидкість, км/год								
	4	6	8	4	6	8	4	6	8
Глибина обробки, см	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Відхилення від заданої глибини, см	0,68	0,78	0,89	0,64	0,76	0,8	0,62	0,77	0,82
Гребенистість, см	5,81	5,78	5,77	5,74	5,75	5,81	5,73	5,82	5,79
Кришення ґрунту, %	33,1	36,4	42,8	34,2	34,8	35,1	34,6	34,8	35
Вміст ерозійно-небезпечних частин, %	19,9	20,6	21,2	20,1	20,4	20,5	20	20,5	20,9
Наявність стерні, г/м ²									
До посіву	54,4	54,3	54,3	54,3	54,3	54,35	54,4	54,3	54,3
Після посіву	53,7	52,4	50,9	52,4	52	1,3	52,6	52	51,2
Врожайність, ц/га	28	28	27,8	31,5	31	31	30,4	30,4	29,8

При постановці диска в положення «потилицею» величина кришення становить 76 - 81% фракцій менше 5 см. Пояснюється, по-перше, характером руху голки диска в ґрунтовому шарі, по-друге : різні точки голки диска діють на ґрунт з різними швидкостями і прискореннями, що і викликає переміщення ґрунтових частинок, по-третє, величиною і напрямком абсолютної швидкості кінця голки.

Зміст ерозійно-небезпечних частинок в шарі 0 - 5 см має незначний характер, як між варіантами, так і в порівнянні з базовою конструкцією сошника. Зона максимального розпушування становить не більше 5 см (20%) від загальної ширини захвату посівного агрегату, інша частина поля залишається практично без впливу голчастих дисків.

Необхідно відзначити, що після проведення посіву вологість і твердість ґрунту в шарі 5 -10 см збільшилися, а в верхньому зменшилися. Це пояснюється підґрунтовим ущільненням, яке формують голчасті диски і стрілчаста лапа, в результаті капілярна вода з нижчих шарів надходить у верхні горизонти розташування насінного матеріалу і розвитку кореневої системи (див. таблицю 4.2).

Таблиця 4.2

Характеристика дослідної ділянки при посіві пшениці.

Найменування показника	Значення показника		
	Сошник в положенні		
	Затилком	Клювом	Базовий
Тип ґрунту	Чорнозем	Чорнозем	Чорнозем
Вологість, % до посіву на глибині, см			
0-5	22,4	22,4	22,4
5-10	23,7	23,7	23,7
Вологість, % після посіву на глибині, см			
0-5	20,6	20,5	20,9
5-10	23,9	24	23,8
Твердість ґрунту, Мпа до посіву на гл., см			
0-5	0,2	0,2	0,2
5-10	0,37	0,37	0,37

Продовження таблиці 4.2			
Твердість ґрунту, Мпа після посіву на гли., см			
0-5	0,18	0,18	0,19
5-10	0,41	0,41	0,4
Вміст ерозійно- небезпечних частин в шарі 0-5 см, %			
До посіву	19,8	19,8	19,8
Після посіву	20	20,1	19,9

4.4 Енергетична оцінка

Результати енергетичної оцінки роботи сошника наведені в таблиці 4.3. З метою отримання достовірних результатів контрольні заміри проводили при встановленому русі посівного агрегату і обов'язковому порівняно з серійним варіантом сошника за умови порівнянності випробувань. Для з'ясування впливу голчастих дисків на збереження стерні досліди проводили на стерні, на глибині 4 - 5 і 6 - 8 см. Твердість ґрунту в шарі 0 ... 5 см склала 0,2 МПа, абсолютна вологість - 22,1%, кількість стерні на поверхні ґрунту в межах 52-68 г/м². Аналіз таблиці 4.3 показує, що сошник, оснащений голчастими дисками, володіє меншим тяговим опором і значення в процесі роботи практично не змінюється. Однак з підвищенням швидкості руху значення тягового опору збільшується, голчасті диски забезпечують більш інтенсивне розпушування ґрунту, і як наслідок цього знижується ступінь збереження стерньових залишків. Характер зміни тягового опору і кількості стерньових залишків різний при постановці голки диска в положення «Дзьобом» або «Потилицею», це пояснюється способом руху (рух з буксуванням або з ковзанням). оптимальним робочим режимом сошника, з урахуванням агротехнічних складових, є швидкість близько 5-7 км/год, що

підтверджується меншим тяговим опором і максимальним меншим тяговим опором і максимальною кількістю збережених стерньових залишків на поверхні ґрунту 88,4%, після проходу сівалки. При підвищенні швидкості до 8 км/год збереження стерні різко знижується до 77%.

Розрахунки та експериментальні дослідження показують, що при обробці ґрунтів різних за механічним складом необхідно вибирати голки різної форми (кругла, плоска, клиноподібна). Отже, для повнішого використання тягової потужності трактора і отримання високої якості робіт при посіві представляється доцільним мати сімейство голчастих дисків з голками різної форми.

Таблиця 4.3

Енергетична оцінка сошника з голчастими дисками при глибині обробки 5 см

	Робоча швидкість, км/год	Збереження стерні, %	Питомий тяговий опір, Н/см ²
Базовий	2	92,8	1,2
	4	91,4	1,3
	6є	88,7	1,5
Дослідний сошник в положенні клювом	2	91,3	1,3
	4	88,4	1,4
	6	86,5	1,4
Дослідний сошник в положенні затилком	2	92	1,3
	4	88,3	1,3
	6	87,3	1,4

4.5 Результати досліджень врожайності

Дослідження оцінки врожайності на ділянках застосування сівалки прямого посіву з сошниками, оснащеними двома голчастими дисками,

показали, що врожайність сільськогосподарських культур (пшениця, ячмінь) на ділянках роботи сівалки з новими робочими органами, в порівнянні з базовою сівалкою моделі СЗС-2,1 вище в середньому на 9,5% (табл.4.4). Випробування проводили в фермерському господарстві.

Таблиця 4.4

Біологічна врожайність, ц/га.

Варіант	2018 р	
	Базовий	Дослідний
Пшениця	28,8	29,2

Аналіз результатів досліджень зерна виявив, що кількість сформованих зерен, їх маса більше на ділянках застосування сошників з голчастими дисками, що служить основою отримання більш високого врожаю. Спостереження показали більш рівномірне дозрівання зерна, як по всій ділянці, так і в колосі, що в свою чергу забезпечить можливість застосування прямого комбайнування, ранніх строків збирання, скорочення втрат зерна.

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Основне завдання економічної оцінки полягало в визначенні ефективності роботи сошника сівалки прямого посіву [31].

Джерела утворення ефекту полягають в наступному: підвищення врожайності за рахунок підвищення якості посівних робіт; зниження витрати палива на проведення посіву; підвищення продуктивності.

Розрахунок виконаний за даними, отриманими при посіві пшениці в фермерському господарстві на площі 0,3 га.

Основним показником економічної ефективності застосування нової техніки є річний економічний, який визначається з урахуванням приросту валового обсягу продукції за формулою:

$$E_p = (S_6 + E_n K_6) - (S_n + E_n K_n) + (C_n - C_6) A_n, \quad (5.1)$$

де S_6 , S_n - собівартість одиниці продукції / роботи / по базовому і новому варіантам, грн/га; K_6 , K_n - питомі в розрахунку на одиницю продукції / одиницю напрацювання / капітальні вкладення, грн/га; E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що дорівнює 0,15; A_n - обсяг застосування в розрахунковому році в натуральних одиницях, га; C_n , C_6 - вартість / ціна / одиниці продукції нового і базового варіантів, грн/га.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності наведені в таблиці 5.1. Розрахунок проведемо для площі в 100 га.

Визначимо питомі експлуатаційні витрати грошових коштів на одиницю напрацювання як суму наступних елементів:

$$S_a = S_{рен} + S_{то,зб} + S_{пмм} + S_{зп} \quad (5.2)$$

де $S_{рен}$ - питомі затрати на реновацію всіх елементів МТА, грн/га; $S_{то,зб}$ - питомі затрати на ремонт, ТО і зберігання, грн/га; $S_{пмм}$ - питомі затрати на паливо і мастильні матеріали, грн/га; $S_{зп}$ - питомі витрати на оплату праці робітників обслуговуючих МТА, грн/га.

Питомі витрати на реновацію (відновлення) всіх елементів МТА визначається як:

$$S_{\text{рен}} = \frac{Bb_{\text{рен}}}{100A_{\text{н}}} \quad (5.3)$$

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності.

Показник	Базовий варіант	Запропонований варіант
Ціна, тис. грн	15	15,5
Коефіцієнт, середньої затрати на транспортування, збут	1,1	1,1
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1	1
Розряд роботи	8	8
Тарифна ставка грн/люд.-год	82,6	82,6
Норма амортизації, %	12,5	12,5
Продуктивність, га/год	1,2	1,4
Норма відрахувань на ТО і зберігання грн/га	258	258
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності	0,15	0,15

де B - балансова вартість, руб; $b_{\text{рен}}$ - норми річних відрахувань на реновацію, %; $A_{\text{н}}$ - річне завантаження трактора, сільськогосподарської машини, га.

Відрахування на технічне обслуговування, зберігання всіх елементів МТА визначимо, скориставшись залежністю:

$$S_{\text{то,зб}} = \frac{S_e W_e}{W_r} \quad (5.3)$$

де S_e - норми річних відрахувань на ремонт, технічне обслуговування, зберігання трактора і сільськогосподарської машини, грн/у.е..га; W_e - еталонна норма напрацювання трактора, у.ет.га; W_T - годинна продуктивність МТА, га/год.

Питомі витрати на паливно-мастильні матеріали. Питома витрата палива (кг / га) приймався розрахунковий:

$$g = N_e g_e i / W_T \quad (5.5)$$

де N_e - номінальна потужність двигуна, кВт; g_e - питома витрата пального, кг/кВт год; i – коефіцієнт використання потужності двигуна.

Питомі витрати на оплату праці робітникам, обслуговуючим МТА, визначали за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n A_i Z_i K_d / W_T \quad (5.6)$$

де A_i - кількість обслуговуючого персоналу 1-го тарифного розряду, люд; Z_i - годинна тарифна ставка 1-го розряду, грн/люд.-год; K_d - коефіцієнт підвищення розцінок за виконання плану і нарахувань на заробітну плату; 1 - розряд роботи.

Результати розрахунків питомих експлуатаційних витрат за варіантами наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Структура витрат на обробку 1 га.

Показник	Базовий варіант	Запропонований варіант
Заробітна плата, грн/га	99,12	115,64
Витрати на реновацію, грн/га	17,1	17,6
Витрати на ТО і зберігання, грн/га	11,2	11,3
Вартість ПММ, грн	257,5	238,9
Експлуатаційні витрати, грн	311,1	295,2
Питомі капіталовкладення, грн/га	14,2	12,1
Вартість додаткової продукції, грн		5270 за 1 тону 105400

Капітальні вкладення на одиницю роботи (грн/га), виконувану МТА, визначали як:

$$K = \frac{1}{W_T} \left(\frac{B_T}{T_T} + \frac{B_M}{T_M} \right) \quad (5.7)$$

де T_T, T_M - нормативна річна завантаження трактора і машини, година.

Вартість (ціна) додаткової продукції (грн) складе:

$$Ц = УС \quad (5.8)$$

де $У$ - урожайність, ц/га; $С$ - закупівельна ціна, грн/т, $С = 5270$ за пшеницю 2 класу.

Термін окупності сівалки, обладнаної комбінованими сошниками з голчастими дисками.

$$T_{ок} = B_M / E_p \quad (5.9)$$

Основні техніко-економічні показники застосування сівалки прямого посіву, оснащеної комбінованими сошниками з голчастими дисками, наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Економічні показники.

Показник	В порівнянні з базовим
Прибавка врожайності, ц/га	1,5
Річна економія експлуатаційних затрат, грн/га	15,9
Вартість додаткової продукції, грн	105400
Збільшення продуктивності, га/год	0,2
Вартість окупності, років	0,7
Річний економічний ефект,	1,95

Висновки

Актуальне завдання зниження затрат енергії на обробіток ґрунту та посів, що може бути вирішена при встановленні відповідності між малоенергомісткою деформацією ґрунтового шару і формою робочої поверхні сошника.

Застосування сошника з двома голчастими дисками є перспективним технічним рішенням, що дозволяє комплексно реалізувати всі пред'явлені до стерньових посівів агротехнічні вимоги. Конструкція сошника дозволяє досягти меншого і постійного тягового опору в процесі роботи.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що якісне виконання технологічного процесу голчастими дисками забезпечується при їх русі з буксуванням ($K > 1$) і умови загальмування. З метою зменшення виштовхуючої реакції ґрунту, кут установки голки Q повинен бути більше або дорівнювати куту тертя робочого органу по ґрунту ($Q \geq \varphi$).

На основі досліджень розроблена модель функціонування комбінованого сошника, за допомогою якої визначено оптимальні параметри, що забезпечують мінімальну його енергоємність: число голок на диску $n = 5$ шт; діаметр диска $D_d = 340-360$ мм; радіус кривизни голки диска $r = 110-120$ мм; діаметр голки в поперечному перерізі на відстані 5 см від нижньої частини голки $D_{гол} = 14-16$ мм. Найкращі умови роботи досягаються при використанні голок, поперечний переріз яких має круглу форму.

Якісне виконання агротехнічних вимог сошником досягається при вологості ґрунту від 16 до 25%, твердості в інтервалі від 0,2 до 1,4 МПа і швидкості руху агрегату від 5 до 7 км/год.

Результати енергетичної та експериментальної оцінок нового сошника показали, що питомий тяговий опір знижується на 1,0-1,1 кН/см² витрата палива на 2,5 кг/га.

Сумарний річний економічний ефект від використання сівалки з новими сошниками склав 105400 грн на одну машину в цінах 2019 року. Термін окупності 0,7 роки.

Список використаних джерел

1. Галушкіна Т. П., Грановська Л. М. Пріоритети енергозбалансованого природокористування як ідеологічної платформи національної екологічної доктрини України // Збалансоване природокористування та природовідновлення. – К.: ВЕЛ, 2008. – С. 2-5.
2. Серeda Л.П., Зінев М.В., Олійник В.В. Мульчування в системі землеробства No-Till // Матеріали VII щорічної науково-технічної студентської конференції факультету механізації сільського господарства. «Перспективи розвитку сільськогосподарської техніки» ВНАУ, 2013 С.113-115.
3. Серeda Л.П., Зінев М.В., Сорочан В.О. Програмування рівномірності обробітку ґрунту пружно закріпленими ґрунтообробними дисковими робочими органами // Матеріали VII щорічної науково-технічної студентської конференції факультету механізації сільського господарства. «Перспективи розвитку сільськогосподарської техніки» ВНАУ, 2013 С.115-117.
4. Почвы Украины и повышение их плодородия. Экология, режимы и процессы, классификация и генезиснопроизводственные аспекты / Под ред. Н.И. Полупана. – К.: Урожай, 1988. – С. 128-137.
5. «Спосіб обробітку ґрунту» Патент № UA 18250. Автори: Гарькавий А,Д., Гуков Я.С., Серeda Л.П., Рейпаші В.О., Зінев М.В., Орел Б.О.
6. Греков В. О., Дацько Л. В., Жилкін В. А., Майстренко М. І., Дацько М. О. і ін. Методичні вказівки з охорони ґрунтів. Держ. наук.- технол. центр охорони родючості ґрунтів Мінагрополітики та продовольства. Київ. 2011, 108 с.
7. Перспективи і напрямки розвитку сучасного механізованого сільськогосподарського виробництва (Частина I «Сучасні напрямки розвитку технологій в рослинництві»): Методичні вказівки по вивченню дисципліни та

- виконанню практичних робіт / Середя Л.П., Зінев М.В.– Вінниця РВВ ВНАУ, 2014 104 с.
8. ГОСТ 26711-89 Сівалки тракторні. загальні технічні вимоги. - Изд. Офіційного. - М.: Стандартіздат, 1990р., 10 с.
 9. Горячкин В.П., Собрание сочинений, т. 5, Сельхозгиз, 1940.
 10. Машины та обладнання в сільськогосподарській меліорації: Підручник / Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, М.М. Бондар, В.М. Пришляк, С.М. Бондар. – К.: Хай-Тек Прес, 2011. – 488 с.
 11. Машины та обладнання в сільськогосподарській меліорації [Текст]: підруч. / Г. М. Калетнік, М. Г. Чаусов, М. М. Бондар [та ін.]; Вінниця. нац. аграр. ун-т. - К.: Хай-ТекПрес, 2011. - 488 с.
 12. Технічна механіка [Текст]: підруч. для студентів ВНЗ / Г. М. Калетнік, В. М. Булгаков, О. М. Черниш [та ін.]. - К.: Хай-Тек Прес, 2011. - 340 с.
 13. Технічна механіка [Текст]: підруч. для студентів ВНЗ / Г. М. Калетнік, В. М. Булгаков, О. М. Черниш [та ін.]. - К.: Хай-Тек Прес, 2011. - 340 с.
 14. Коптев А.В. О движении игольчатого диска в почве.// Механизация и электрификация с.-х. производства. - зерноград, 1989г., с. 49-58.
 15. Ветехин В.И. Применение системы поверхностей с переменной кривизной при создании серии рабочих органов. - Тракторы и с.-х. Машины, 1993г., № 9, с. 8-10.
 16. Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного знаряддя //Вісник Державного агроєкологічного університету. – Житомир, 2002. – №1. – С.133-137.
 17. Булгаков В.М., Цурпал І.А., Шелудченко Б.А. Факторно технологічна модель динаміки ґрунтових структур та її аналіз // Наук. вісник НАУ. – 1998. - №3. – с. 139-143.

18. Булгаков В.М., Шелудченко Б.А. Самоорганізація ґрунтових структур. – Київ: Видавництво НАУ, 1998. – 58с.
19. Булгаков В.М., Шубенко В.О., Обґрунтування міцності конструкцій ротаційного кільцевого робочого органу // Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том V. “Сучасні проблеми механізації сільського господарства”. – К.:НАУ, 1999. – с.356-359.
20. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. – К.:Урожай, 1994. – 448с.
21. Седнёв Н.А. Юшематика игольчатого диска при движении с затормаживанием. – Тракторы и с.-х. машины, № 6 , 1979г., с. 18-19.
22. Луценко, Ю.Л. Вища математика: метод. розробки практ. занять. Індивідуальні завдання. Розділ 7 : Неозначений інтеграл / Ю.Л.Луценко, М.В.Миронюк; М-во сільського господарства і продовольства України; ВДАУ. - Вінниця: ВДАУ, 1998. - 44 с.
23. Луценко, Ю. Л. Прикладна математика: підруч. для студ. аграр. вузів / Ю. Л. Луценко, П. К. Ніколюк, В. М. Чубатюк ; М-во аграр. політики України, ВДАУ. - Вінниця: ВДАУ, 2003. - 283, [1] с
24. Інтернет ресурс: Рекламна інформація // Режим доступу: <https://freedelivery.com.ua/arduino-100/moduli-137/24-bit-acp-hx711-dlya-tenzodatchikov-vesov-arduino-2881.html>
25. Паладійчук Ю.Б. Перспективи використання відкритого програмного комплексу arduino для вивчення технічних дисциплін / Ю.Б. Паладійчук, В.С. Руткевич, М.В. Зінев, І.О. Лісовий // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету «Техніка в сільськогосподарському виробництві, машинобудування автоматизація». 2018 вип 31, с 158-164.
26. Кривонос О.М. Огляд та перспективи використання платформи ARDUINO Nano 3.0 у вищій школі / О.М. Кривонос, Є.В. Кузьменко, С.В.

Кузьменко / Інформаційні технології і засоби навчання – К. : Атіка, 2016. Том 56 №6 с. 79-87.

27. Заїка В.І. Застосування платформи ARDUINO для навчання, практична реалізація проектів автоматизації / В.І. Заїка, О.В. Макєєв, М.О. Машенцов // Матеріали Науково-методичного Internet-семінару «Актуальні проблеми підготовки фахівців з автоматизації виробництва», 27 квітня 2015 р. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2015 р. – 55 с. – Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>. с 38

28. Brian W. Evans. Arduino Programming Notebook / Brian W. Evans / California USA 2007 – 40 p.

29. Спірін А.Г., Коптєв А.В. , Грицук М.І. Агротехнічна ефективність ротаційних голчастих знарядь. В кн. Механіко-технологічні основи захисту ґрунтів від ерозії. - К .: 1983р., С. 57-67).

30. Методичні рекомендації написання та оформлення дипломних робіт для студентів денної та заочної форм навчання факультету механізації сільського господарства освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» / [Середа Л.П, Швець Л.В, Гунько І.В, Пришляк В.М.]. – Вінниця.: 2015. – 23 С.

31. Калетнік Г.М., Скорук О.П., Токарчук Д.М. Інженерний менеджмент. Методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів факультету механізації сільського господарства спеціальності 8.091902 „Механізація сільського господарства” форма навчання денна і заочна – Вінниця: ОЦ ВДАУ, 2009. – 68 с

Додатки

Додаток А

```
#define DOUT A1
#define CLK A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("ADC значення читання: ");
  Serial.println(balanza.read());
  Serial.println("не кладіть нічого на ваги");
  Serial.println("Destarando...");
  Serial.println("...");
  balanza.set_scale(439430.25); // Ми встановлюємо масштаб
  balanza.tare(20); //поточна вага з Tara.

  Serial.println("Готово до вимірювання");
}

void loop() {
  Serial.print("Вага: ");
  Serial.print(balanza.get_units(20),3);
  Serial.println(" kg");
  delay(500);
}
```