

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра машин та обладнання сільськогосподарського виробництва

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри МОСГВ
д. т. н., проф. Н.Р. Веселовська

«__» _____ 2019 р.

**Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва

**ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ СІВАЛКИ ДЛЯ СІВБИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР**

Виконав: студент групи 61МК маг
_____ Д.О. Сторожук
(ініціали та прізвище)

Керівник: к.т.н., проф.
_____ М.І. Іванов
(ініціали та прізвище)

2019 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ANNOTATION.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1.СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	10
1.1. Особливості технологій вирощування зернових культур.....	10
1.2. Основні вимоги до прямого посіву та технічних засобів для їх здійснення.....	15
1.3. Конструктивні особливості сівалок і сошників для прямого посіву.....	21
1.4. Аналіз науково-дослідних робіт з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сівалок.....	29
1.5. Висновки, мета і завдання дослідження.....	36
РОЗДІЛ 2.РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ПОСІВНОЇ СЕКЦІЇ.....	37
2.1. Обґрунтування конструктивної схеми і основних параметрів посівної секції.....	37
2.2. Обґрунтування процесу формування насінневого ложа.....	39
2.3. Обґрунтування форми і параметрів важкого котка.....	49
2.4. Модель процесу взаємодії посівної секції з ґрунтом.....	53
2.5. Постановка початкових і граничних умов функціонування моделі.....	57
2.6. Результати теоретичного дослідження математичної моделі по обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів посівної секції.....	67
2.7. Висновки.....	71
РОЗДІЛ 3.МЕТОДИКА РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ.....	72
3.1. Використання програмного комплексу FlowVision для вирішення складних інженерних задач.....	72
3.2. Реалізації математичної моделі посівної секції у програмному комплексі FlowVision.....	73

3.3. Висновок.....	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

АНОТАЦІЯ

Сторожук Д.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сівалки для посіву насіння зернових культур. – Рукопис.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено конструктивну схему секції для посіву насіння зернових культур по нульовій технології обробітку ґрунту, яка складається з диска, анкерного сошника і адресного важкого котка, що дозволяє закладати насіння в нижні вологі шари ґрунту, закривати їх шаром ґрунту необхідної товщини та прикочувати.

Розроблено математичну модель процесу формування посівного ложа анкерним сошником і прикочуючим котком, що дозволяє оцінити щільність ґрунту дна борозни і ґрунту над насінням і прогнозувати відповідність посівного ложа пропонованим вимогам. Встановлено, що процесом формування посівного ложа можна управляти за рахунок зміни стиснення пружини гвинтовим механізмом паралелограмного механізму посівної секції.

Ключові слова: ґрунт, сівалка, коток, сошник, технологія, секція, коткування, щільність, насіння, борозна, швидкість.

ANNOTATION

Storozhuk D. Substantiation of structural and technological parameters of the seeder for sowing of seeds of grain crops. – Manuscript.

In the master's qualification work the design scheme of section for sowing of seeds of cereals on the zero technology of cultivation of the soil, consisting of a disk, an anchor coulter and an address heavy cat is developed that allows to lay the seeds in the lower moist layers of soil, cover them with a layer of soil and the necessary soil.

A mathematical model of the process of forming a sowing bed with an anchor coulter and a trailing roller has been developed, which allows to estimate the density of the soil of the furrow floor and the soil above the seeds and to predict the suitability of the sowing bed to the proposed requirements. It is established that the process of forming the sowing bed can be controlled by changing the compression of the spring by the screw mechanism of the parallelogram mechanism of the sowing section.

Keywords: soil, seeder, cat, coulter, technology, section, anchoring, density, seeds, furrow, speed.

ВСТУП

При вирощуванні сільськогосподарських культур істотне зниження експлуатаційних витрат можливо при впровадженні енергозберігаючих технологій, однією з різновидів яких є нульова технологія обробітку ґрунту. При нульовій технології експлуатаційні витрати при вирощуванні зернових культур знижуються до 40 % в порівнянні з класичною технологією [1, 2]. Однак це відбувається в основному за рахунок зменшення кількості операцій - виключаються такі енергоємні технологічні операції з обробітку ґрунту як оранка, боронування і культивація. Якщо при класичній технології підготовка ґрунту під посів здійснюється декількома технологічними операціями, то при нульовій - безпосередньо в процесі посіву. Тому при нульовій технології підготовки ґрунту і створення сприятливих умови для зростання і розвитку висіяного насіння необхідно звернути особливу увагу. А це можливо тільки за рахунок вдосконалення конструктивно-технологічних параметрів робочих органів сівалок.

До теперішнього часу накопичено великий теоретичний і практичний матеріал з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів сівалок. Ці роботи направлені в основному на розробку і вдосконалення технічних засобів, що використовуються в традиційних і мінімальних технологіях, де відбувається попередня обробка та підготовка ґрунту під посів. Але, наявність рослинних залишків, стерні, підвищена твердість і связаність ґрунту перед посівом істотно впливають на процеси кришення ґрунту, утворення насінневого ложа, розподілу, закриття і ущільнення насіння, які необхідно враховувати при розробці та вдосконаленні робочих органів сівалок.

Рішення такого завдання вимагає обґрунтування конструктивно технологічної схеми робочого органу, розгляду процесу його взаємодії з ґрунтом і дослідження впливу конструктивних параметрів на якість посіву. У зв'язку з цим підвищення ефективності прямого посіву зернових культур за рахунок удосконалення конструктивно технологічної схеми і параметрів

сошника є актуальною науково-технічним завданням.

Мета роботи – підвищення ефективності сівалки для прямого посіву зернових культур шляхом вдосконалення конструктивно-технологічної схеми і параметрів посівної секції.

Об'єкт дослідження–технологічний процес взаємодії робочих органів комбінованої посівної секції з ґрунтом.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії робочих органів посівної секції з ґрунтом, зміни агротехнічних і енергетичних показників роботи в залежності від її конструктивно технологічних параметрів.

Методика досліджень. Теоретичні дослідження виконані з використанням положень і методів механіки суцільних середовищ і класичної механіки.

Наукова новизна.

1.Розроблена математична модель процесу формування насінневого ложа комбінованої посівної секції з урахуванням її конструктивно-технологічних параметрів.

2. Отримано аналітичні вирази для визначення щільності ґрунту насінневого ложа і над насінням, що дозволяють враховувати конструктивні параметри сошника, важкого котка та властивостей ґрунту.

Теоретична значимість досліджень полягає в розробці методик обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комбінованої посівної секції, що складається з декількох робочих органів, а також в розробці математичних моделей їх взаємодії з ґрунтом і процесу формування насінневого ложа.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Особливості технологій вирощування зернових культур

Залежно від ґрунтово-кліматичних умов і біологічних особливостей сільськогосподарської культури в даний час використовуються наступні три технології обробітку зернових культур [1-4]:

- традиційна (відвальна) технологія;
- мінімальна технологія;
- нульова технологія.

Традиційна (відвальна) технологія вирощування сільськогосподарських культур передбачає щорічну або періодичну осінню оранку ґрунту з оборотом пласта і весняну передпосівну підготовку ґрунту.

Методи відвальної оранки, безперервно удосконалюються (гладка, дрібна, з ґрунтопоглиблення), незмінним залишається тільки принцип роботи плугового корпусу – відвалювання і оборот пласта в відкриту сусідню борозду. З агрономічної точки зору переміщення верхнього більш родючого, але «безструктурного» шару на місце нижнього створює сприятливі умови для зростання і розвитку сільськогосподарських рослин. Одночасно відбувається забивання рослинних і пожнивних залишків, стерні і насіння бур'янів на глибину оранки, де відбувається їх поступове розкладання. Подальшому знищенню бур'янів і розпушення ґрунту сприяють також весняні обробки ґрунту, спрямовані до того ж на створення насінневого ложа для насіння. Отримана при цьому мілкогрудкова структура ґрунту дозволяє використовувати при посіві легші конструкції сошників і їх кріплень до рами сівалки, до того ж утворене насінневе ложе не вимагає додаткових зусиль для його створення. Основна задача полягає в забезпеченні контакту насіння з ґрунтом, що забезпечується, в основному, додатковою операцією коткуванням посівів.

У таблиці 1.1 представлені основні переваги та недоліки технологій

обробітку зернових культур з технічної точки зору з аналізу літературних джерел і експертного аналізу думок виробників сільськогосподарської техніки [3-10].

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз технологій обробітку зернових культур

Технологія обробітку	Позитивні сторони	Негативні сторони
1. Традиційна (відвальна) технологія	<ol style="list-style-type: none"> 1. Якісна підготовка ґрунту під посів на найрізноманітніших фонах і типах ґрунтів. 2. Закладення поживних залишків, знищення бур'янів, личинок шкідників і хвороб сільськогосподарських культур механічним шляхом без застосування гербіцидів. 3. Простота конструкцій і мала металоємність робочих органів сівалок 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока енергоємність обробки ґрунту (до 50-80 кВт / м) і мала продуктивність знарядь. 2. Ущільнення дна борозни. 3. Незадовільна злитість і вирівняність поверхні ріллі. 4. Велика кількість проходів знарядь і воздействий робочих органів і рушіїв на ґрунт. 5. Ущільнення нижніх горизонтів ґрунту. 6. Ризик виникнення дефляції і ерозії ґрунту.
2. Мінімальна технологія: а) з основною обробкою ґрунту; б) з передпосівної обробкою ґрунту; в) прямий посів без попередньої обробки ґрунту.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Скорочення кількості проходів знарядь і впливів робочих органів і рушіїв на ґрунт. 2. Попередня підготовка ґрунту і насінневого ложа. 3. Знищення бур'янів механічним шляхом. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Забивання робочих органів рослинними і поживними залишками. 2. Збільшується кількість обробок гербіцидами для знищення бур'янів. 3. Підвищений знос робочих органів культиваторів і сівалок. 4. Підвищене навантаження на робочі органи, які взаємодіють з ґрунтом
3. Нульова технологія	<ol style="list-style-type: none"> 1. Відсутність проходів знарядь і впливів робочих органів і рушіїв на ґрунт. 2. Скорочення експлуатаційних витрат (до 50%) при обробленні культури (5). 3. Скорочення водної та вітрової ерозії ґрунту. 4. Підвищення родючості ґрунту природним шляхом. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Велика кількість обробок хімічними засобами захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб. 2. Велика кількість рослинних залишків і подрібненої соломи на поверхні. 3. Необхідність подрібнення і рівномірного розподілу соломи по поверхні поля. 4. Високе навантаження на робочі органи, які взаємодіють з ґрунтом. 5. Повільне прогрівання ґрунту через закритість поверхні поля мульчею.

Всі ці операції збільшують кількість проходів машинно-тракторних агрегатів по полю і вплив робочих органів на ґрунт, що призводить, з одного боку до ущільнення, а з іншого - до дефляції і ерозії ґрунту.

Мінімальна технологія, на відміну від традиційної, дозволяє забезпечити зменшення кількості проходів знарядь по полю і механічного впливу ґрунтообробних машин на ґрунт і ущільнену дію їх ходових систем. Необхідно розрізнити три види мінімальної технології:

- з основною обробкою ґрунту;
- з передпосівною обробкою ґрунту;
- прямий посів без попередньої обробки ґрунту.

Характерною особливістю мінімальної технології з основною обробкою ґрунту є заміна відвальної оранки безвідвальною обробкою ґрунту (обробка глибокородпушувачами, чизельними плугами і культиваторами та інше). В цьому випадку в обов'язковому порядку здійснюється весняна передпосівна підготовка ґрунту, що дозволяє використовувати сівалки традиційної технології.

Особливістю мінімальної технології з передпосівною обробкою ґрунту полягає в повній відмові від осінньої обробки ґрунту за рахунок весняної підготовки ґрунту культиваторами, дисковими боронами, дискаторами або комбінованими знаряддями. В цьому випадку для посіву можуть використовуватися традиційні сівалки.

При прямому посіві без обробки ґрунту операції по підготовці ґрунту не здійснюються, тому використовуються спеціальні стерньові сівалки, так звані сівалки прямого посіву. Робочими органами таких сівалок є лапові сошники, що дозволяють провести одночасно суцільну обробку і подрібнення ґрунту, підрізання бур'янів, підготовку насінневого ложа, розподіл насіння і їх закриття шаром ґрунту. Прямий посів може здійснюватися і комбінованими машинами, що складаються з культиваторної і посівної частин на загальній рамі або закріплених один за другим. У будь-якому випадку при мінімальній технології здійснюється суцільна обробка і

розпушування ґрунту.

Застосування мінімальної технології дозволяє знизити експлуатаційні витрати в порівнянні з традиційною до 40 % [6].

Переваги та недоліки мінімальною технологією представлені в таблиці 1.1. Основною проблемою даної технології, яку необхідно враховувати при розробці і проектуванні сівалок, є наявність пожнивних і рослинних залишків на поверхні поля, що приводить до забивання сошників, опорних коліс і прикочуючих коліс.

Нульова технологія передбачає також прями́й посів насіння в ґрунт, без будь-якої попередньої механічної обробки [6]. Відмінною особливістю нульової технології від мінімальної з прями́м посівом є відсутність суцільного розпушування ґрунту [6]. Знищення бур'янів при цьому здійснюється хімічним шляхом обприскуванням гербіцидами до посіву і в період вегетації.

Для створення мульчуючого шару з рослинних залишків під час прибирання солома подрібнюється і розкидається по поверхні поля. З агрономічної точки зору утворина при цьому мульча поступово розкладається, перетворюється в живильне середовище для рослин. З технічної точки зору рослинні залишки разом з ґрунтом забивають стійки робочих органів, ріжучі кромки сошників, прикочуючі котки і утворену борозну, що веде до порушень технологічного процесу посіву. При цьому підвищується нерівномірність висіву по глибині, зменшується задана глибина посіву через виглиблення сошників, порушується процес закриття насіння ґрунтом і ущільнення посівних борозен. Особливо ці процеси проявляються у вологих суглинистих і глинистих ґрунтах. Наявність мульчуючого покриву на поверхні поля з одного боку знижує випаровування вологи з ґрунту, але з іншого боку перешкоджають прогріванню ґрунту, що розтягує початок посіву [10; 11].

При нульовій технології відсутність попередньої обробки ґрунту перед посівом і наявністю в поверхневому шарі коренів культурних і бур'янистих

рослин підвищує опір ґрунту деформацій робочими органами і прикочуючими котками. В.В. Кацигіним [13] встановлена функціональна залежність між напруженням стиснення σ_{cm} ґрунту і деформацією стиснення h клиноподібним робочим органом

$$\sigma_{\bar{n}\delta} = p_0 \operatorname{tg} \frac{q}{p_0} h, \quad (1.1)$$

де p_0 – межа несучої здатності ґрунту, Па;

q – коефіцієнт об'ємного стиснення ґрунту, Н/см³.

У таблиці 1.2 представлені дані за коефіцієнтами p_0 і q для різних типів ґрунтів і агрофона [13].

Таблиця 1.2 – Несуча здатність і коефіцієнт змінання різних типів ґрунтів

Тип ґрунту за механічним складом	Агрофон	Вологість ґрунту, %	Несуча здатність p_0 , МПа	Коефіцієнт об'ємного стиснення q , Н/см ³
Супіщаних	Цілина	14–16	1,29–1,43	83–100
	Стерня зернових	11–13	0,81–0,90	68–82
	Зоране поле	12–14	0,45–0,60	41–65
Суглинна легка	Цілина	13–14	2,42–2,58	136–166
	Стерня зернових	12–13	1,43–2,09	109–174
	Зоране поле	12–13	0,96–1,16	73–97
Суглинна середня	Цілина	10–11	2,74–3,10	111–119
	Стерня зернових	12–14	1,68–2,27	107–174
	Зоране поле	16–17	0,68–1,09	61–108
Суглинна висока	Цілина	19–20	1,88–2,47	98–174
	Стерня зернових	13–16	3,23–4,62	127–207
	Зоране поле	12–15	1,29–1,91	83–47

З даних таблиці 1.2 видно, що несуча здатність і коефіцієнт стиснення, що визначають здатність ґрунту чинити опір деформації, на стерні зернових культур в 1,5–2,5 рази вище в порівнянні з ораним полем. Ці показники зі збільшенням в ґрунті глинистої фракції також ростуть. Для середньосуглинного ґрунту коефіцієнти p_0 і q вище навіть в порівнянні з цілиною.

Дана обставина виключає можливість застосування сівалок,

використовуваних для традиційної технології. Для подолання підвищеного опору ґрунту і впровадження сошників в ґрунт необхідні додаткові зусилля, а також вжити заходів щодо підвищення стійкості їх ходу по глибині. Високий опір ґрунту підвищує також зону деформації ґрунту, що може сприяти вивертання нижніх вологих шарів на поверхню.

Таким чином, застосування нульової технології при вирощуванні сільськогосподарських культур дозволить значно знизити виробничі витрати, кількість проходів знарядь по полю і впливу робочих органів на ґрунт. Однак існуючі сівалки для цього не використовуються. При розробці та вдосконаленні сівалок для прямого посіву зернових культур необхідно враховувати наявність рослинних залишків на поверхні і в верхньому шарі ґрунту, а також її високий опір деформацій.

1.2. Основні вимоги до прямого посіву та технічних засобів для їх здійснення

В даний час відсутні науково-технічна документація, регламентує основні вимоги до посіву за нульовою технологією. При цьому, багато агротехнічних вимог, що ставляться до посіву по традиційній технології, повинні дотримуватися і при прямому посіві.

До посіву зернових культур за традиційною технологією ставляться такі основні агротехнічні вимоги [14]:

1. Посів слід проводити в строки, оптимальні для даної культури в даному районі.

2. Відповідно до встановленої нормою висіву сівалки повинні рівномірно розподіляти насіння по площі в рядах, закладати їх у вологий шар ґрунту на задану глибину і одночасно вносити при посіві добрива до встановленої норми.

3. Відхилення від заданої норми висіву насіння не повинно перевищувати ± 3 , а норми висіву мінеральних добрив ± 10 %.

4. Середня нерівномірність висіву насіння в рядках, окремими

висіваючими апаратами не повинно перевищувати ± 3 , зернобобових ± 4 , а трав $\pm 8\%$.

5. Пошкодження насіння при посіві зернових культур робочими органами посівних машин не повинно перевищувати 0,3 %, зернобобових – 1 %, кукуруза – 1,5 %.

6. Насіння повинно бути рівномірно розміщене по всій площі в рядках і закладене на оптимальну глибину.

7. Глибина загортання насіння не повинна відхилятися більш ніж на ± 15 %, що приблизно складає для зернових колосових ± 1 см, кукурудзи ± 2 см.

8. Під час сівби повинні бути строго витримані ширина основних і стикових міжрядь, а також прямолінійність рядків.

9. При посіві не допускаються огріхи і перекриття, а також на поверхності поля незасипане насіння.

Додатково для нульової технології повинні ставитись агротехнічні вимоги:

- рівномірний розподіл рослинних залишків на поверхні ґрунту в процесі збирання;
- при посіві рослинні залишки не повинні проникати в насіннєве ложе;
- після посіву рослинні залишки повинні рівномірно покривати ґрунт;
- посів необхідно проводити під деяким кутом (близько 30 °) по відношенню до раніше вирощеної культури.

Особливості нульової технології ставить і певні вивання до сівалок. С. Бейкер ставить вимоги до сівалок в наступному вигляді, вказуючи, що ці вимоги повинні виконуватися в ідеалі [15]:

1. Сошники сівалок повинні формувати профіль насіннєвого ложа, сприяти збереженню вологи і кращому проростанню насіння. Насіннєве ложе повинно забезпечити захист зерна від висихання (в посушливих ґрунтах) і кисневого голодування (у вологих ґрунтах).

2. При створенні борозен сошники не повинні перемішувати землю,

втягуючи всередину рослинні залишки, слід уникати вдавлення (захвату) рослинності в канавку. Правильно сформована борозенка повинна зберігати необхідний рівень вологості.

3. Сівалка і сошники не повинні при роботі забиватися рослинними залишками.

4. Сошники повинні захищати насіння від контакту з рослинними залишками.

5. Сошники не повинні переущільнювати ґрунт.

6. Кожен сошник повинен сам закривати насіннєве ложе без використання додаткових пристосувань.

7. Кожен сошник повинен ефективно розділяти зерно і добриво так, щоб вони не контактували один з одним.

8. Кожен сошник повинен максимально забезпечувати копіювання поверхні ґрунту і рівномірний посів при зміні профілю поверхні.

10. Повинен забезпечуватися постійний кут входження в ґрунт для забезпечення постійної глибини посіву при русі по нерівномірному рельєфу.

11. Як можна більше функцій сівалки повинні бути самонастроюючими в залежності від зносу і зміни стану ґрунту. При переході від одного стану ґрунту і рослинності до іншого регулювання повинні бути мінімальними.

Агротехнічні вимоги і вимоги до сівалок прямого посіву за нульовою технологією повинні враховуватися при розробці і удосконаленні посівних машин і їх робочих органів.

Особливі вимоги при посіві ставляться до формування насіннєвого ложа. Обробітком ґрунту повинні бути створені умови з оптимальним поєднанням необхідних для нормального проростання насіння факторів: води, кисню і тепла. Наявність в ґрунті доступних води і повітря являється найважливішою умовою дружного появи сходів. З іншого боку, ці фактори антагоністичні і залежать від щільності ґрунту: пухкий ґрунт містить більше повітря і менше утримує вологу, щільна - навпаки. Агрономічні дослідження свідчать про те, що найкраще поєднання зазначених чинників досягається

лише при розташуванні насіння в ґрунті на кордоні двох шарів – нижнього (вологого) щільного і верхнього пухкого (рисунок 1.1).

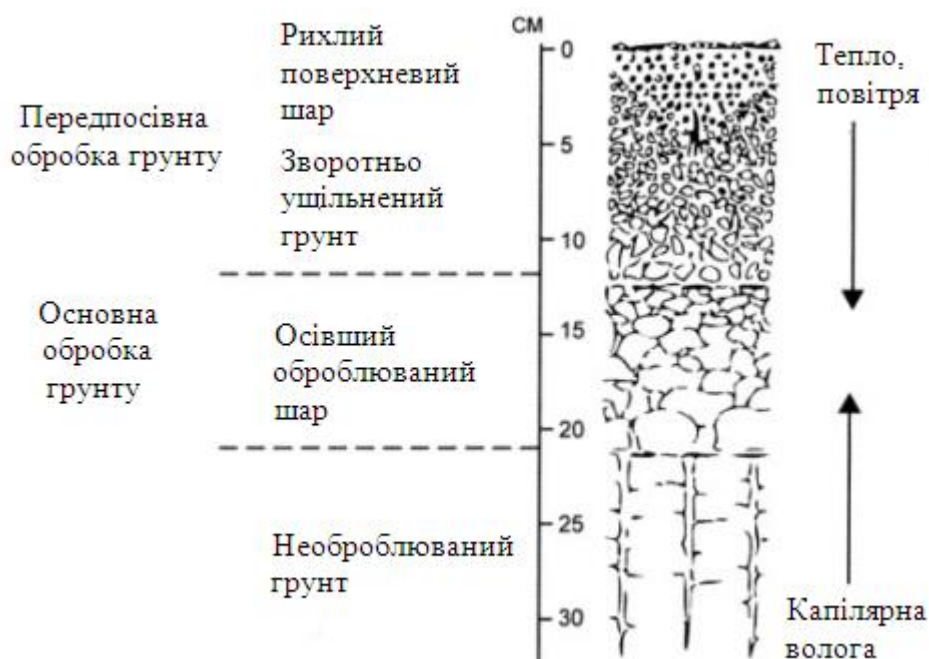


Рисунок 1.1 – Схема ідеального насінневого ложа

У нижній шар ґрунту проникають коріння рослини, в ньому добре ростуть капіляри, і рослини забезпечуються вологою, не залежно від формуючих після посіву погодних умов. Верхній мульчуючий шар захищає щільне ложе від випаровування вологи і осушення, через нього відходить повітрообмін і надходження тепла. Дослідженнями встановлено, що межа щільного вологого і пухкого шарів повинна знаходитися на глибині залягання вузла куштиння, у злаків - 1–4 см. Для цього шар ґрунту, розташований нижче глибини загортання насіння, повинен бути ущільнений. У ущільненому шарі в найкоротші терміни відновлюється капілярна система, в результаті чого забезпечується підведення вологи до висіяного насіння [15].

В даний час на практиці застосовуються різні способи підготовки суцільного насінневого ложа. Найбільш відомими з них є: ущільнення ґрунту при передпосівній обробці; ущільнення ґрунту після посіву; ущільнення ґрунту при передпосівній обробці і після посіву. Ущільнення ґрунту перед посівом і після посіву характерні для традиційної і мінімальної технологій.

При нульовій технології формування насінневого ложа відбувається під час посіву і тому повинні виконуватися робочими органами сівалок [16, 18].

Однак при переущільненні насінневого ложа сповільнюється проростання і початковий ріст рослин, які не можуть розвиватися при обмеженій аерації. В таких умовах в проростках злаків відбувається накопичення етилового спирту в результаті анаеробного дихання і відбувається їх загибель.

Відзначається також зменшення обсягу кореневої системи і поглинання нею поживних речовин. Особливо негативна роль переущільнення має місце на важких суглинних і глинистих ґрунтах. Численними агрономічними дослідженнями встановлено, що оптимальна щільність насінневого ложа для зростання і розвитку хлібних злаків на різних типах ґрунтів знаходиться в межах $1,1-1,55 \text{ г/см}^3$ [16, 18].

Щільність ґрунту над насінням змінюється шляхом післяпосівного прикочування. При оптимальній щільності ґрунту над насінням збільшується дружність і повнота сходів. Основний ефект пояснюється посиленням контакту насіння з ґрунтом, сприятливим гідротермічним режимом ґрунту в зоні вузла кущення, більш рівномірним розміщенням насіння по глибині. Але дослідженнями встановлено, що найбільш дружно і повно з'являються сходи при щільності верхнього шару ґрунту $0,95-1,0 \text{ г/см}^3$. Підвищення щільності шару ґрунту над насінням більш 1 г/см^3 призводить до зниження врожаю висіваємої культури. Особливо негативно позначається переущільнення на важких за механічним складом ґрунтах [16, 18].

Формування оптимального по складанню і будовою насінневого ложа залежить від багатьох факторів - типу ґрунту і наявності в ній вологи, строку сівби і метеорологічних умов, застосовуваної техніки і ін. В зв'язку з цим в останнє десятиліття стали застосовуватися на практиці більш ефективні і надійні способи підготовки насінневого ложа. Принципова відмінність їх полягає в тому, що ущільнене ложе формується не суцільне, а лише в рядках під насінням. Такий спосіб має ряд переваг перед суцільним формуванням

ложа в частині більш надійної і стабільної підтримки водно-повітряного режиму для країн, що розвиваються рослин. Прикочування борозенки забезпечують підведення вологи до насіння з низлежачих шарів ґрунту, а пухкі міжряддя покращують повітрообмін ґрунту, викидаючи з неї вуглекислого газу і надходження кисню до кореневої системи. Поліпшується також проникнення атмосферної вологи в ґрунт.

При нульовій технології, як було зазначено в попередньому розділі, затягується процес прогрівання і дозрівання ґрунту, в зв'язку з чим, посів починається набагато пізніше в порівнянні з традиційною технологією. За спостереженнями дозрівання ґрунту відбувається на 2–3 тижні пізніше. У засушливих умовах за цей час вологість ґрунту в верхніх шарах за рахунок випаровування знижується. При посіві на необхідну глибину насіння, наприклад 3–5 см для зернових злакових культур, вони потрапляють в сухий ґрунт, що негативно позначається в їх проростанні, відповідно і урожайності. А при збільшенні глибини висіву витрачається більше енергії проростання насіння для виходу листя на поверхню.

На підставі вищевикладеного можна сформулювати основні вимоги до технологічного процесу і робочих органів формування насінневого ложа, які необхідно враховувати при розробці конструкцій сошників для нульової технології:

- посівна борозенка повинна створюватися з щільним дном, оскільки вона передбачає підведення вологи по капілярах до висіяного насіння;
- повинен забезпечуватися контакт насіння з вологим дном насінневої бороздки, що визначає швидкість їх набухання і проростання;
- вологий ущільнений ґрунт з насінням повинна бути закрита шаром пухкого ґрунту, що знижує випаровування вологи;
- конструкція сошника повинна забезпечувати потрапляння насіння у вологий шар ґрунту, при цьому вони повинні закриватися вологим пухким шаром ґрунту, необхідним для проростання товщини;
- конструкція сівалки повинна забезпечувати рівномірне розміщення

насіння по площі поля, закладення їх на однакову глибину, суворо вимагаючи норму висіву, проведення сівби в найкращі агротехнічні терміни стосовно ґрунтово-кліматичних умов.

1.3. Конструктивні особливості сівалок і сошників для прямого посіву

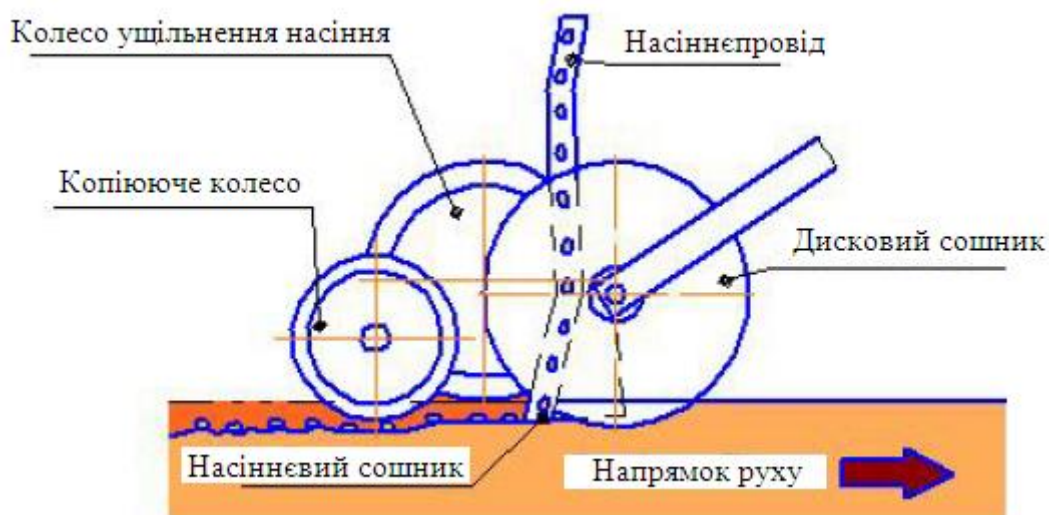
При нульовій технології єдиним робочим органом, безпосередньо взаємодіючим з ґрунтом, є сошник. Тому до них при прямому посіві ставляться серйозні вимоги.

При технології прямого посіву в залежності від кліматичних і ґрунтових умов використовуються стерньові сівалки з різними видами сошників - дисковими, лаповими, анкерними, комбінованими.

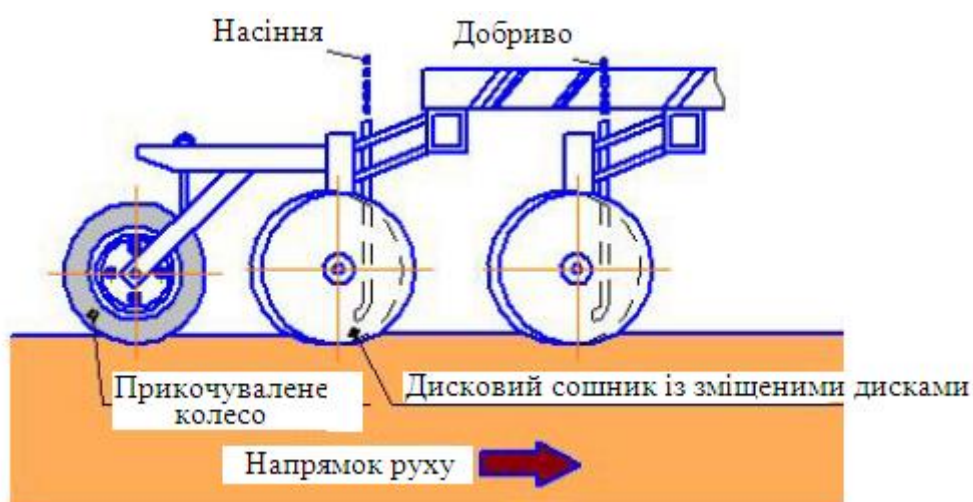
Найбільшого поширення на практиці отримали дискові сошники. Дискові сошники при взаємодії з ґрунтом утворюють в ньому V – подібні щілини. Вони можуть бути одно-, дво-, і трьохдискові (рисунок 1.2 а, б, в).

Основними перевагами дискових сошників є менший тяговий опір через перехід частини сил тертя ковзання в тертя кочення при вільному обертанні дисків. Крім цього за рахунок реактивного обертання дисків відбувається їх самоочищення, тому вони менше забиваються навіть при підвищеній вологості ґрунту і великій кількості пожнивних залишків. Дискові сошники надають мінімальний рихлячий вплив на ґрунт, що сприяє кращому збереженню ґрунтової вологи.

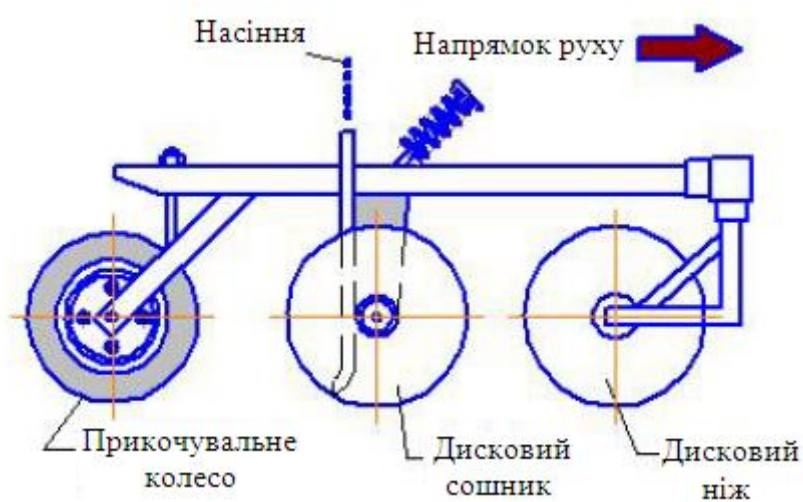
До недоліків дискових сошників можна віднести недостатнє ущільнення дна борозни і осипання пухкого ґрунту в простір між дисками, що не дозволяє утворювати насінневе ложе, відповідно вимог, викладеним в пункті 1.2. На пухких і вологих ґрунтах, дискові ножи, так звані турбодиски, і дводискові сошники часто не перерізають стерню і соломі, а вдавлюють їх у посівні борозенки, в зв'язку з чим, частина насіння укладається не на дно борозни, а на рослинні залишки, в результаті чого порушується контакт насіння з ґрунтом, що призводить до зниження польової схожості насіння, зрідження сходів і, в кінцевому підсумку, зниження врожайності [20].



а)



б)



в)

Рисунок 1.2 – Конструктивні схеми дискових сошників прямого посіву:

- а – однодисковий сошник, б – дводисковий сошник з сошником для роздільного внесення добрив, в – трьохдисковий сошник

Крім того, дискові ножі і сошники таких сівалок погано заглиблюються в ґрунт, особливо при її високій твердості і щільності. Для підвищення заглиблюючої здатності, сівалки необхідно значна маса, тому посівні машини даного виду мають високу питому металоємність, яка може становити від 700 до 1300 кг на 1 м ширини захвату. Для порівняння, питома металоємність сівалок з сошниками зі стрілочастими лапами становить 650–900 кг на 1 м ширини захоплення [20].

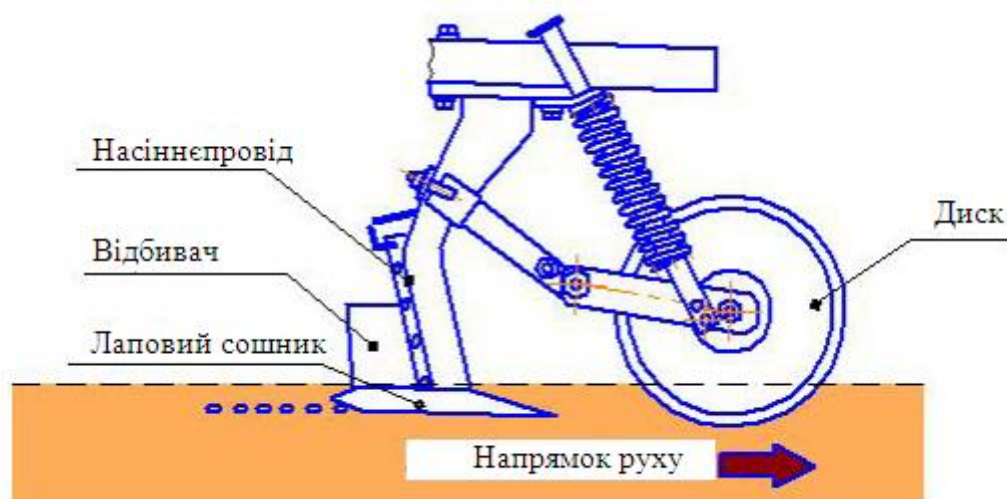
Дискові сошники використовуються в сівалках і посівних комплексах John Deere 1895, Bourgault 5725-30, Morris Never Pin, John Deere 750A, Kuhn SD3000P (4000P; 6000P), Gaspardo Gigante 900, Great Plains STA-4000, СС-6 «Бастер», СЗК-4,5, «Берегиня», СПП-4,2, СЗС-400, МПК-12, Crucianelli PIONERA III / IV, DolbiFX 7000, Amazone Citan.

Лапові сошники (рисунок 1.3, а) широке застосування знаходять при мінімальній технології, де проводиться суцільне розпушування ґрунту формування насінневого ложа. При деякій зміні їх конструкції – зменшенні ширини захоплення вони використовуються і для нульової технології (рисунок 1.3 б, в).

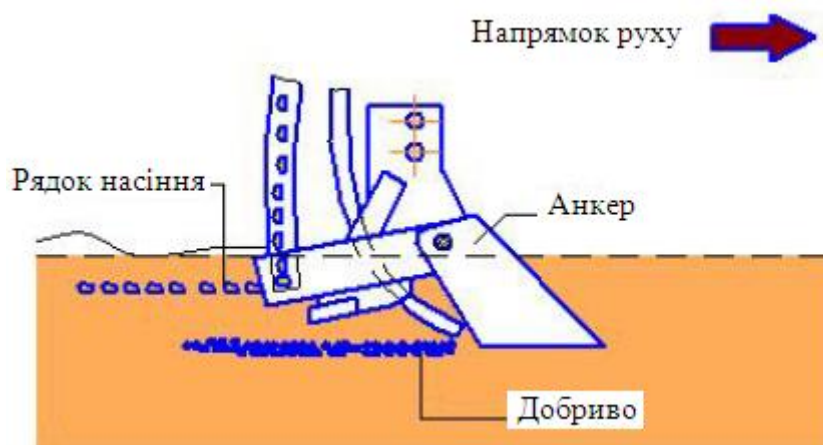
До переваг лапових сошників можна віднести формування ущільненого насінневого ложа і підрізання бур'янів в зоні обробки. До недоліків можна віднести вивертання вологих шарів ґрунту на поверхність і широку зону деформації сошника. Збільшення зони деформації ґрунту сошниками такого типу звужує можливості їх використання в технології прямого посіву.

Лапові сошники використовуються у посівних комплексах СКП-2,1 "Омичка", СКП-2,1-01, Обь-4, John Deere 730, John Deere 1820 (1830, 1840), Bourgault 8810, Morris Maxim II, Horsch ATD 12.30, Horsch-Агро-Союз ATD 11.35 (ATD 18.35), Flexi Coil ST 820, Flexi Coil (CASEIH) ATX 400, Flexi Coil 5000, Agromaster-6,6(-7,3;-8,5;-9,8;-11,0;-12,2), Кузбас ПК-8,5(-9,7;-12,2). З великого різномаяття сівалок з лаповими сошниками для нульового посіву можуть використовуватись лише посівні комплекси Bourgault, обладнанні вузькими лаповими сошниками типу

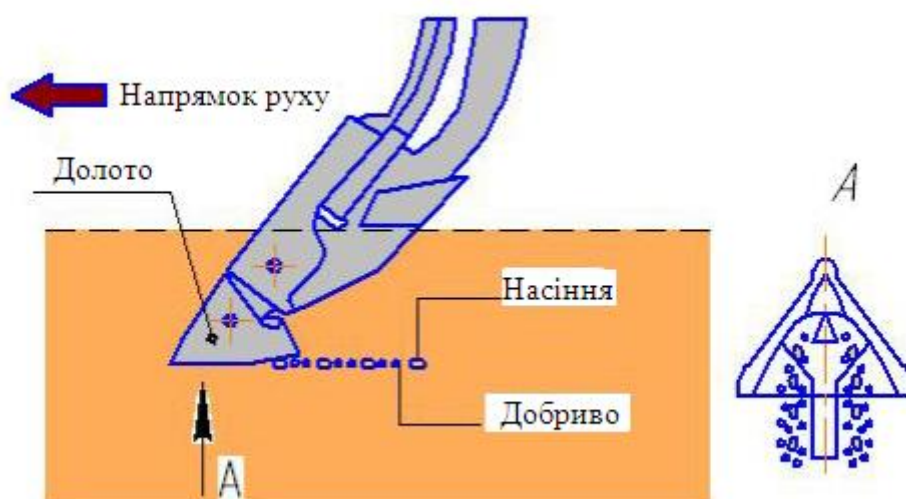
«Stealth» (рисунок 1.3, б).



а)



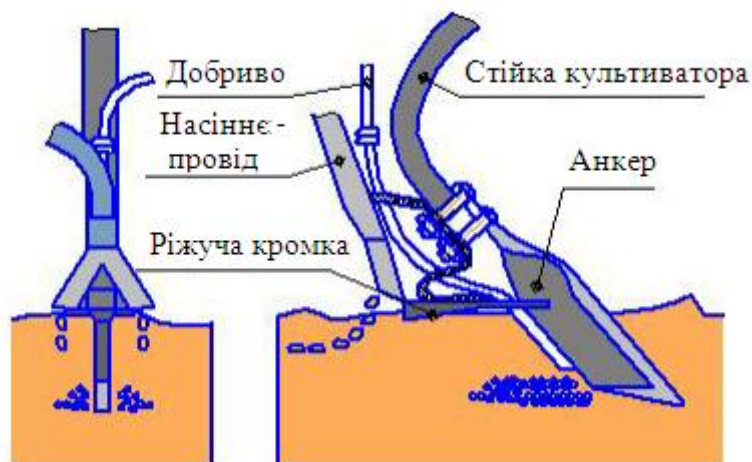
б)



в)

Рисунок 1.3 – Конструктивні схеми лапових сошників: а – комбінований лаповий сошник, б – сошник сівалки Horsh, в – сошник типу «Stealth» сівалок Bourgault

У деяких сівалок для прямого посіву утворення посівних борозен і висіву насіння в них здійснюються робочими органами анкерного типу (рисунок 1.4), з обробленням та подальшим ущільненням ґрунту прикочуючими котками.



а)



б)

Рисунок 1.4 – Конструктивні схеми анкерних сошників: а) сошник для пошарового внесення добрив і посіву насіння, б) посівна секція Bourgault з анкерним сошником

Анкерні сошники інтенсивніше розпушують ґрунт, ніж дискові, що призводить до більш суттєвих втрат ґрунтової вологи при посіві, тому такі сівалки краще для умов з більш високим зволоженням. При наявності великої кількості рослинних залишків анкерні сошники схильні до забивання

грунтово-рослинною масою, для підвищення прохідності на таких сівалках застосовують багаторядна розстановка робочих органів, що супроводжується зростанням габаритів сівалки. Але для заглиблення анкерних сошників не потрібно настільки значне вертикальне навантаження, як для дискових, тому сівалки такого виду мають більш низьку в 1,5–2 рази питому металоємність, ніж машини з дисковими робочими органами. До переваг анкерних сошників відноситься також формування ущільненого насінневого ложа по агротехнічним вимогам.

Анкерні сошники встановлюються на сівалках і посівних комплексах наступних марок: Bourgault 8810 (5710), Morris Maxim II (Maxim III), Morris Concept 2000, Horsch ATD 12.30, Flexi Coil5000, Ezee On7550, Rogro, Haybuster 8000, Amazone Primera DMC-601, Amazone NT-375. В останні роки анкерні сошники почали встановлюватися і на російських сівалках і посівних комплексах Агромастер і Кузбас.

Як було зазначено вище (пункт 1.2) важливе значення при посіві має формування насінневого ложа. В даний час в залежності від назначення за умовами застосування (типу ґрунту, агрофон, системи обробітку ґрунту, рельєфу та ін.), можна виділити чотири різні варіанти підготовки насінневого ложа і посіву [16; 11].

Перший варіант підготовки насінневого ложа здійснюється агрегатами Pronto AS (DC) фірми Horsch (Німеччина), Maxidrille TW фірми Roger та Reguline фірми Sulku (Франція), Vitasem фірми Pottinger (Австрія), Accord фірми Kverneland (Норвегія). Технологічний процес роботи включає наступні операції: розпушування посівного шару ґрунту; ущільнення його колісними або котковими ґрунтоущільнювачами перед кожним сошником; укладка насіння в борозенки, розкриті сошниками; коткування борозенок з насінням, обгумованими коточками, ширина обода яких в декілька раз більша ширини дна борозенки, завдяки чому насіння повністю закривається обтисненим ґрунтом; закриття прикатаних борозенок пухким ґрунтом пружинними борінками (загортачами за сошниками). Переваги варіанта:

хороші контакт насіння з ґрунтом і забезпеченість вологою; прикочувальний ґрунт до посіву підвищує стійкість ходу сошників і рівномірність укладки насіння по глибині; прикочувальний ґрунт в борозенках зменшує товщину шару залягання насіння, підвищує рівномірність їх закладення по глибині; смугове прикочування посівного шару, в порівнянні з суцільним прикочуванням, забезпечує кращий повітрообмін ґрунту; заповнені пухким ґрунтом борозенки уповільнюють процес випаровування вологи з ущільненого шару ґрунту з насінням. Основний недолік варіанта: накочується прикочується практично весь об'єм розпушеного ґрунту, що може негативно позначатися на нормальному повітрообміні і життєдіяльності виростаючих рослин у вологий період і особливо на середніх і важких суглинних і глинистих ґрунтах.

Другий варіант підготовки насіннєвого ложа здійснюється агрегатами Mega Seed і Mega Drill фірми Rabe (Німеччина), Terrasem фірми Pottinger (Австрія), Maximaster фірми Tume (Норвегія), Demeter Multiseed фірми Kongskilde (Данія), Rapid фірми Vaderstad (Швеція). Технологічний процес другого варіанту близький до першого, відрізняється від нього лише тим, що насіння, укладене в розкриті сошниками борозенки, прикочуються стрічково, одним широким котком або колесом на 2 борозенки. Переваги варіанта: ті, ж, що і першого. Недоліки варіанта: малий об'єм неприкочуваного ґрунту може бути не достатнім для нормального повітро обміну і життєдіяльності виростаючих рослин у вологий період і особливо на середніх і важких суглинних і глинистих ґрунтах.

Третій варіант підготовки насіннєвого ложа здійснюється агрегатом Cirrus фірми Amazone (Німеччина). Технологічний процес роботи включає розпушування та вирівнювання посівного шару ґрунту, ущільнення його з одночасним утворенням клинчатих борозенок, укладання насіння в борозенки сошниками, закриття борозенок з насінням пухкого ґрунту за допомогою загортачів типу «ластівчин хвіст». Переваги варіанта: попередньо утворенні борозенки підвищують стійкість ходу сошників і

рівномірність укладання насіння по глибині; чергування через 125 мм ущільнених борозенок і пухких міжрядь найбільш оптимально забезпечує водно-повітряний режим в ґрунті; заповнені рихлим ґрунтом борозенки затримують процес випаровування вологи з ущільненого шару ґрунту. Недолік варіанта: неприкочене насіння в борозенках мають недостатній контакт з ґрунтом, що може знижувати інтенсивність їх зростання в суху погоду, особливо на легких ґрунтах.

Четвертий варіант підготовки насінневого ложа здійснюється на агрегатах ґрунтообробно-посівних «Zirkon + Solitair» фірми Lemken (Німеччина) і АПП-6А, АПП-6П ВАТ «Лідагропромаш». Технологічний процес роботи, подібно третім варіантом, включає розпушування і вирівнювання посівного шару ґрунту, ущільнення його з одночасним утворенням клинчатих борозенок, укладання насіння в борозенки сошниками, прикатування борозенок з насінням обгумованими котками, закриття при необхідності прикочувальних борозенок пухким ґрунтом (за допомогою загортача).

Переваги варіанта: має всі кращі переваги третього варіанту і усуває його недолік – прикочування борозенок з насінням підвищує їх рівномірність закладення по глибині, створює хороший контакт насіння з ґрунтом, що забезпечує більш дружні їх сходи в будь-яку післяпосівну погоду. Недолік – не підходить для нульової технології, тому що робочі органи здійснюють суцільне розпушування ґрунту.

Аналіз конструкцій сошників застосовуваних для прямого посіву сільськогосподарських культур дозволяє встановити, що жоден тип сошників повністю не задовольняє агротехнічним вимогам і вимогам по формуванню насінневого ложа. Найбільш бажаними можуть бути комбіновані конструкції плугів, що поєднують в собі переваги кожного типу.

1.4. Аналіз науково-дослідних робіт з обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сівалок

Одним з основних напрямків наукових досліджень по обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів сівалок є питання рівномірного розподілу насіння по площі живлення в процесі посіву.

Питаннями рівномірності розподілу насіння займалися, такі вчені як В.В. Василенко [22], С.А. Івженко, Д.В. Пологий, М.П. Набатян, О. С. Писарев [23], В. А. Артамонов [24] та ін.

Дослідженнями технологічного процесу розподілу насіння і кінематикою руху насіння займалися такі дослідники, як Н.І. Любушко, М.К. Малеев, Н. І. Гужин [25], А.А. Кіров [26], Е. М. Михальця [27].

Одним з основних показників роботи сошників є тяговий опір, який залежить від конструктивно-технологічних параметрів робочих органів. Для зниження тягового опору необхідно оптимізувати параметри сошника, що в свою чергу вимагає вивчення процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом.

Розробкою технічних засобів для посіву займалися чимало дослідників Г.М. Бузенков [28], С.А. Ма [29], Н.І. Любушка [30], А.П. Іофінов [31], Вахитов Н.У., Давлетшін М.М. [5] і багато інших.

Дослідженнями процесу взаємодії ґрунтообробних машин з ґрунтом займалися В.П. Горячкин [3], А.П. Іофіна [6], Г.Н. Синьооку [9], І.М. Панов, М.Х. Пигулевский. Проектуванням робочих органів займалися М.З. Циммерман [42] та ін. Обґрунтуванню параметрів робочих органів сівалок прямого посіву присвячені роботи Косьяненко В. П. [43], Пихтіна А.В. [44], Писарева О.С.[45], Мачкаріна А.В. [46], Мерецького С.В. [47], Небавского В.А. [48).

В розроблених ними сівалках використовуються різні види сошників, в тому числі і комбіновані, через особливості їх конструкцій вони підходять в основному для мінімальної технології з прямим посівом.

Наукові дослідження Мухаметдінова А.М. присвячені дослідженню і обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів комбінованого сошника для прямого посіву [9]. Розроблений ним сошник дозволяє вносити добрива анкерним долотом нижче глибини висіву насіння, здійснюваних стрічковим способом лаповим сошником [15]. Однак лаповий сошник в даному випадку виробляє суцільне рихлення ґрунту, що не підходить для нульової технології.

Робота Небавського В.А. [18] присвячена обґрунтуванню і розробці високоефективних ресурсозберігаючих технологічних процесів і технічних засобів для обробітку основних сільськогосподарських культур на основі «нульової» обробки ґрунту. Ним розроблені методики розрахунку і обґрунтування технологічних схем і параметрів машин для внесення безводного аміаку, універсального обприскувача польових культур, зернової і кукурудзяної сівалок прямого посіву. Розроблена на основі його досліджень сівалка СЗК-4,5 обладнана сошниками лапового типу і тому може використовуватися тільки для прямого посіву за нульовою технологією.

Аналіз наукових досліджень з обґрунтування параметрів сівалок і їх робочих органів дозволяє встановити, що в основному ці роботи направлені на зниження енергоємності процесу посіву, зокрема на зниження тягового опору сошників. Процеси взаємодії сошників з ґрунтом для правильного формування насінневого ложа в цих роботах не розглядаються.

Аналіз теоретичних досліджень дозволив встановити, що для опису роботи сошників в основному використовуються методи класичної механіки, які не дозволяють описати напружено-деформований стан ґрунту в процесі взаємодії з сошником. При теоретичному описі роботи сошника не розглядаються процеси формування насінневого ложа і переміщення ґрунтових грудок при закритті насіння після проходу робочого органу.

Підвищення якості роботи ґрунтообробних та посівних машин шляхом вдосконалення їх конструктивно-технологічних параметрів на основі

моделювання технологічного процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом запропоновані С.Г. Мударісовим [15], С.М. Каповим [74]. Також питаннями моделювання процесу обробки ґрунту займалися А. Кулен, Х. Куіперс [25].

Для опису взаємодії робочих органів з ґрунтом С.Г. Мударісовим застосований метод гідромеханічного моделювання, а в якості об'єкта прийняте суцільне деформоване середовище. Це дало можливість поглибленого вивчення процесів взаємодії з ґрунтом робочих ґрунтообробних машин і встановлення внутрішнього характеру протікання процесів кришення, перемішування ґрунтових частин, зміни тягового опору з метою визначення оптимальних параметрів робочих органів.

Мударісовим С.Г. встановлено, що при моделюванні технологічного процесу обробки ґрунту початкові умови моделювання повинні визначатися фізико-механічними властивостями ґрунту, а граничні умови технологічними параметрами робочих органів.

Застосування методів суцільних середовищ, які використовуються в роботах Мударісова С.Г., стосовно сошників дозволить обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочого органу. При цьому оптимізовані параметрами стосовно сошників прямого посіву повинні бути зменшення тягового опору, зниження виносу нижніх вологих шарів ґрунту на поверхню, формування ущільненого насінневого ложа, якісне закриття утворилася після проходу робочого органа борозни і створення оптимальної щільності ґрунту над насінням. Складність конструкції сошника для прямого посіву при цьому вимагає уточнення граничних умов функціонування моделі процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом з урахуванням процесу ущільнення ґрунту сошником і реактивного обертання дисків.

В результаті аналізу наукових досліджень, розгляду конструкцій сошників і спостережень встановлено, що всі існуючі сошники сівалок не здатні утворювати борозенки з необхідною щільністю дна. Для формування насінневого ложа з необхідними параметрами найкраще підходять анкерні сошники. Однак анкерні сошники мають більший

тяговий опір в порівнянні з дисковими і зону деформації ґрунту.

Другий висновок можна зробити на вимогу контакту насіння з щільним вологим дном посівної борозенки. Потрапляючи в посівну борозенку, насіння не завжди мають хороший контакт з вологими частинками ґрунту, навіть якщо стінки борозенки не обсипаються. Закриття насіння ґрунтом у анкерних сошників здійснюється за рахунок само осипання ґрунту, що не дозволяє створити необхідний контакт насіння з ґрунтовими грудочками. Вимога по забезпеченню контакту може бути найкращим чином здійснено шляхом вдавнення насіння в дно ущільненої борозенки спеціальним котком, прямуючим за сошником.

Третій висновок зроблено за рівномірності загортання насіння. Високий і стійкий урожай може бути сформований тільки за умови максимальної однорідності рослин. Навіть невеликі відмінності по глибині загортання насіння, пов'язані з неякісною підготовкою посівного шару, призводять до розтягнутим в часі сходам, нерівномірного стеблестою, пригнічення і загибелі частини менш розвинених рослин. Для запобігання цьому робочий орган розподіляє насіння повинен мати стійкий хід по горизонталі.

Четвертий висновок полягає в зниженні тягового опору робочих органів і деформації ґрунту. Для нульової технології зменшення впливу робочих органів на ґрунт відіграє ключову роль, тому що в цьому і полягає суть технології. Аналіз сошників і наукових досліджень дозволив встановити, що реактивні робочі органи - диски мають менший тяговий опір і вплив на ґрунт.

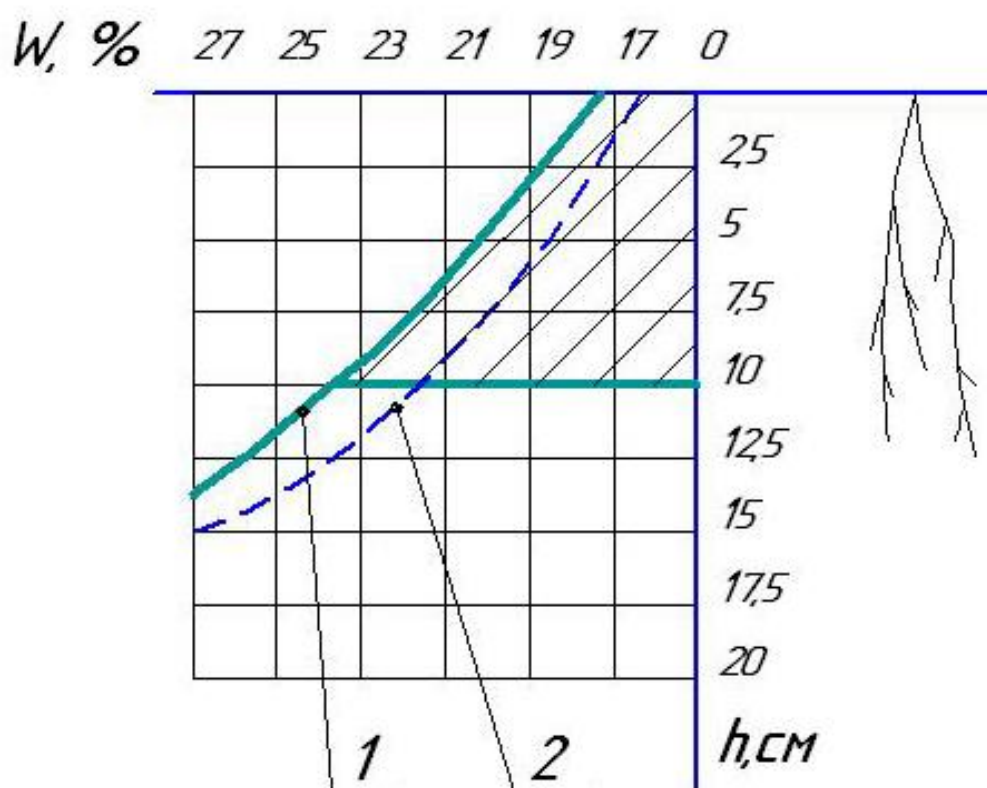
На основі вищевикладених висновків нами пропонується наступна робоча гіпотеза: попереднє утворення щілини реактивним робочим органом, встановленим перед анкерним сошником, дозволить знизити тяговий опір і вплив на ґрунт посівної секції, а також сформувати насіннєве ложе.

При розробці конструкції посівної секції необхідно забезпечити потрапляння насіння у вологий ґрунт. Нами було проведено аналіз вологості

грунту в Україні в період посіву. Результати цих дослідів наведені в таблиці 1.3 і на рисунку 1.5.

Таблиця 1.3 – Зміна вологості ґрунту по глибині

Тип ґрунту по механічному складу	Глибина, см				
	0	2,5	5	7,5	10
Суглинок	17,1	18,9	20	21,3	24
Супіщанок	15,3	17,1	18,6	20	22,3



1 – суглинний ґрунт, 2 – супіщаний ґрунт

Рисунок 1.5 – Зміна вологості ґрунту по глибині

З графіка (рисунок 1.5) видно, що зі збільшенням глибини вологість ґрунту збільшуватися. Оптимальна вологість ґрунту для зростання і розвитку зернових культур 20–25 %, що відповідає згідно з графіком (рисунок 1.5) глибині посіву 8–12 см. Однак при такій глибині посіву енергії проростання насіння може просто не вистачити для виходу паростків на поверхність. Для виходу з даної ситуації нами для нульової технології пропонується наступний

спосіб посіву (рисунок 1.6), де насіння закладаються в нижні вологі шари ґрунту і закриваються шаром ґрунту, товщиною достатній точної для їх проростання. При цьому утворюється борозенка, що дозволяє накопичувати вологу і захистити паростки від палючих променів сонця і вітру.

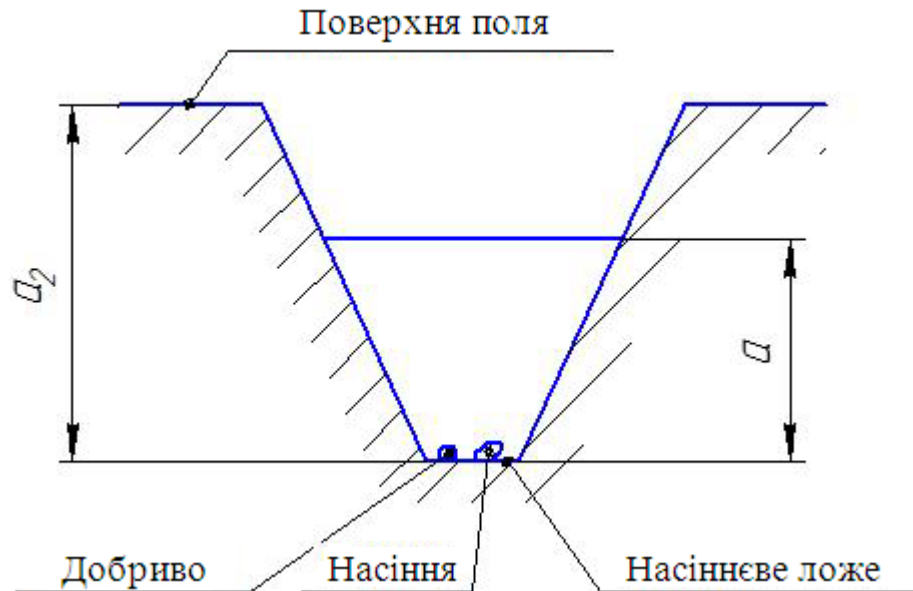
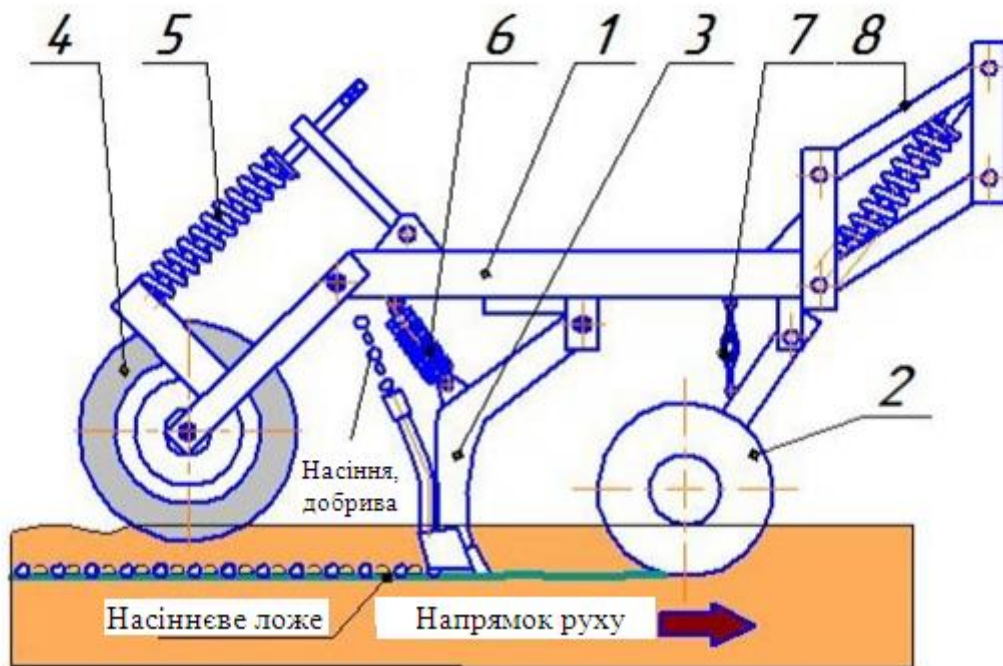


Рисунок 1.6 – Схема посіву насіння у вологий шар ґрунту

Для реалізації даної схеми посіву, зниження впливу робочих органів на ґрунт, формування щільного насіннєвого ложа і ущільненого шару ґрунту над насінням нами пропонується наступна конструктивна схема посівної секції (рисунок 1.7).

Рекомендована посівна секція працює наступним чином. Впереді встановлений диск 2 розрізає ґрунт, утворюючи в ньому щілину, анкерний сошник 3, переміщаючись по утворенній щілині, формує борозну і насіннєве ложе, укладає в нього насіння і добрива, вузький прикочуючий коток, переміщаючись по борозні слідом за сошником, ущільнює обсипаючий ґрунт над насінням.

Надалі необхідно обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри посівної секції для забезпечення технологічного процесу у відповідності до агротехнічних вимог і вимогами по формивання насіннєвого ложа.



- 1 – рама сівалки; 2 – дисковий ніж; 3 – анкерний сошник; 4 – ущільнюючий коток; 5 – пружина котка; 6 – пружина підвіски анкерного сошника; 7 – механізм регулювання положення дискового ножа; 8 – паралелограмний механізм

Рисунок 1.7 – Технологічна схема посівної секції

Отже, при нульовій технології посіву зернових культур по необробленому полю необхідно поєднувати за один прохід знаряддя кілька технологічних операцій: розпушування ґрунту, підготовка насіннєвого ложа, укладання насіння, закриття насіння шаром ґрунту і прикочування.

1.5. Висновки, мета і завдання дослідження

Проведений аналіз конструкцій і наукових досліджень показав, що існуючі конструкції сошників і пропонувані технічні рішення щодо їх вдосконалення не в повній мірі задовольняють агротехнічні вимоги, що ставляться до посіву. До того ж при обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів сошників не враховуються процеси формування насінневого ложа, необхідної конфігурації за структурою і будовою ґрунтового шару. При нульовій технології посіву зернових культур по необробленому полю необхідно поєднувати за один прохід знаряддя кілька технологічних операцій: розпушування ґрунту, підготовка насінневого ложа, укладання насіння, закриття насіння шаром ґрунту та прикочування.

Для обґрунтування параметрів сошника необхідно розробити узагальнені математичні моделі процесів його роботи з урахуванням процесу формування насінневого ложа і фізико-механічних властивостей ґрунту.

На підставі проведеного аналізу стану питання і для досягнення поставленої мети в даній роботі необхідно вирішити наступні задачі досліджень:

1. Обґрунтувати конструктивну схему і параметри комбінованої посівної секції для посіву насіння зернових культур за нульовою технологією обробітку ґрунту.

2. Розробити математичну модель технологічного процесу роботи посівної секції та обґрунтувати процес формування нею насінневого ложа.

3. Обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри комбінованої посівної секції.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ ПОСІВНОЇ СЕКЦІЇ

2.1. Обґрунтування конструктивної схеми і основних параметрів посівної секції

Згідно із запропонованою технологічною схемою (рисунок 1.7) основні робочі органи посівної секції, які взаємодіють з ґрунтом, розташовуються послідовно один за одним. Для якісного виконання технологічного процесу необхідно обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри секції та робочих органів. При цьому необхідно усунути забивання ґрунту і рослинних залишків між робочими органами, забезпечити формування насінневого ложа, рівномірний розподіл насіння по дну борозни, закриття їх вологим ґрунтом та прикочування.

Для усунення забивання ґрунту і рослинних залишків між робочими органами секції зони деформації ґрунту кожного з них не повинна перетинатися один з одним. Деформація в ґрунті під дією робочого органа з кутом кришення α поширюється під кутом [31].

$$\Theta = \alpha + \varphi, \quad (2.1)$$

де α – кут установки долота анкерного сошника, град;

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Для обґрунтування відстані між робочими органами прийmemo і позначимо наявні параметри згідно з розрахунковою схемою (рисунок 2.1).

Відстань між центром турбодиска і носком долота анкерного сошника визначається наступним чином

$$L_1 = l_1 + l_2 \quad (2.2)$$

де l_1 – відстань між носком долота анкерного сошника і диском, мм;

l_2 – відстань від центру диска до зони деформації ґрунту сошником, мм.

Відстань між носком долота анкерного сошника і диском

$$l_2 = \alpha_2 \cdot \operatorname{tg} \theta, \quad (2.3)$$

де a_2 – глибина ходу анкерного сошника, мм;

θ – кут поширення деформації в ґрунті (кут поширення випереджаючої тріщини).

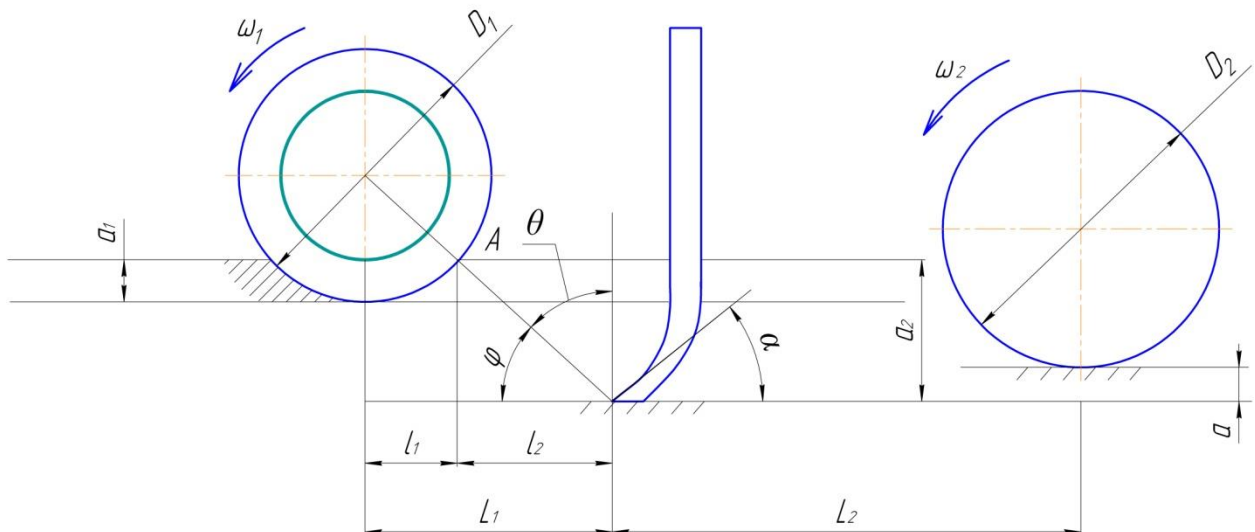


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема обґрунтування відстані між робочими органами

Тоді з урахуванням формули (2.1)

$$l_2 = a_2 \cdot \operatorname{tg}(a + \varphi) \quad (2.5)$$

Для зменшення металоємності конструкції необхідно домогтися, щоб лінія розвитку тріщини на поверхні ґрунту (т. А, рисунок 2.1) дійшла до леза диска. При такому розташуванні робочих органів дана лінія буде проходити через центр диска. Тоді відстань l_1 , визначиться як половина хорди диска з кутом обхвату 2θ .

$$l_1 = R_1 \sin \theta, \quad (2.6)$$

де R_1 – радіус диска, мм.

Відповідно з формулою (2.1)

$$l_1 = R_1 \sin(a + \varphi), \quad (2.7)$$

Діаметр диска D_1 вибирається відповідно до заданої глибини обробки по залежності [8]

$$D_1 = k \cdot a_1, \quad (2.8)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

a_1 – глибина ходу диска, мм.

Тоді відстань

$$l_1 = \frac{1}{2} k \cdot a_1 \cdot \sin(a + \varphi), \quad (2.9)$$

Відповідно з формулами (2.5), (2.9) і розрахунковою схемою (рисунок 2.1) відстань між диском і анкерним сошником

$$L_1 = \frac{1}{2} k \cdot a_1 \cdot \sin(\alpha + \varphi) + a_2 \cdot \operatorname{tg}(a + \varphi). \quad (2.10)$$

Як було встановлено нами в п. 1.3 оптимальна глибина висіву насіння $a_2 = 8 - 12$ см. Глибину ходу диска умовно приймемо рівною половині глибини ходу анкерного сошника $a_1 = 1/2 a_2$, велика глибина буде сприяти збільшенню тягового опору, а менша - недостатньому прорізанню щілини в ґрунті. Діаметр диска відповідно до формули (2.8) при $k = 6-8$ [4] повинен бути в межах 240–480 мм. Для прийнятих конструктивних параметрів диска, анкерного сошника і глибини ходу диска і анкерного сошника відстань між робочим органами повинна бути 500 – 800 мм. Даний параметр є попереднім і потребує подальшого уточнення в лабораторних і польових умовах, тому що не враховує наявність рослинних і корневих залишків на поверхні поля і в ґрунті.

2.2. Обґрунтування процесу формування насінневого ложа

Як було встановлено в п. 1.2 при посіві особливу увагу необхідно приділяти формуванню насінневого ложа. У кращому випадку насіння повинне розташовуватися в ґрунті на кордоні двох шарів - нижнього

щільного і верхнього пухкого. У зв'язку з цим основний робочий орган - сошник, що формує дно насінневого ложа, повинен створювати під собою ущільнений шар ґрунту, а важкий коток повинен ущільнити обсіпалася на насіння ґрунт з меншою щільністю.

На ущільнення дна борозни впливають тиск на площу контакту сошника з ґрунтом, що виникає за рахунок ваги робочого органу і вертикальної складової сили опору ґрунту. Крім цього в процесі взаємодії робочих органів з ґрунтом відбувається ущільнення дна борозни за рахунок об'ємної деформації пласта.

При оптимальні щільності ґрунту над насінням збільшується дружність і повнота сходів. Основний ефект пояснюється посиленням контакту насіння з ґрунтом, сприятливим гідротермічним режимом ґрунту в зоні вузла кущіння, більш рівномірним розміщенням насіння по глибині. Дослідженнями встановлено, що найбільш дружно і повно з'являються сходи при щільності верхнього шару ґрунту 0,95–1,0 г/см³. Для розробленої конструктивної схеми щільність ґрунту над насінням буде залежати від навантаження, що припадає на важкий коток.

Статичне навантаження на анкерний сошник можна вважати відомим, тому вага секції є відомим конструктивним параметром, а вертикальна складова сили опору ґрунту можна визначити за відомими формулами в залежності від властивостей ґрунту [34]. При заданих конструктивно-технологічні параметри невідомим є навантаження, яке припадає на важкий коток. Для визначення навантаження на коток розглянемо розрахункову схему посівної секції з наведеними силами (рисунок 2.2).

В процесі роботи на робочі органи посівної секції діють на дмуть сили:

G – сила ваги посівної секції, Н;

F_{x_2} – горизонтальна складова сили опору анкерного сошника, Н;

F_{z_2} – вертикальна складова сили опору анкерного сошника, Н;

F_m – загальна сила опору посівної секції, Н;

F_{x1} – горизонтальна складова сили опору дискового ножа, Н;

F_{z1} – опорна реакція обода дискового ножа, Н;

M_{mk} – момент тертя кочення важкого котка, Н · м;

N_2 – опорна реакція важкого котка, Н.

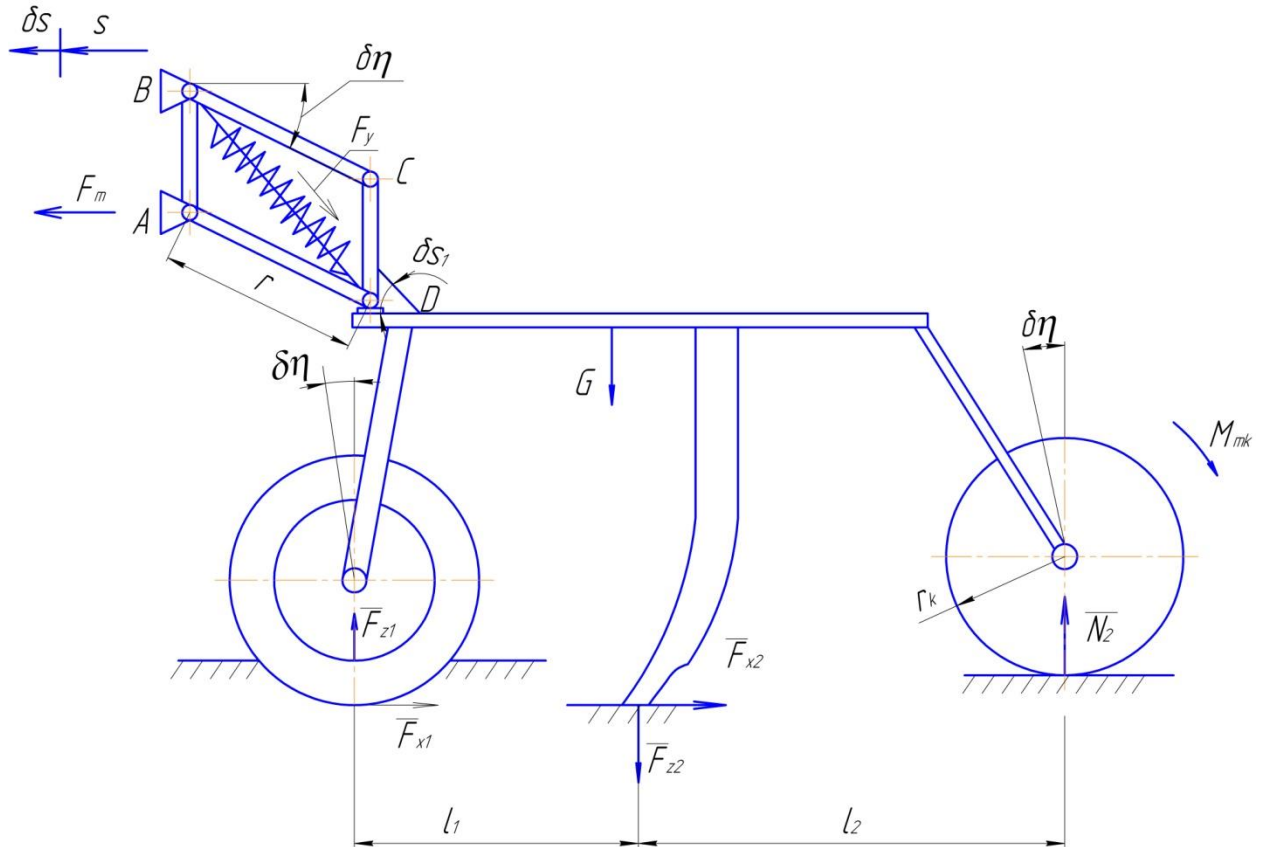


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема до обґрунтування процесу формування посівного ложа

З огляду на основні конструктивні та технологічні параметри посівної секції, встановлені в п.2.1, визначимо деякі сили. Сила ваги посівної секції G , яка залежить від конструктивних параметрів секції і використовуваного матеріалу для її виготовлення. Горизонтальна складова сили опору анкерного сошника F_{x2} залежить від глибини ходу сошника і ширини його захоплення. Враховуючи що ґрунт вже оброблено дисковим ножом на глибину a_1 (рисунок 2.1), дійсна глибина ходу сошника буде $(a_2 - a_1)$. Тоді горизонтальна складова сили опору сошника визначиться за формулою [4]

$$F_{x2} = m \cdot (a_2 - a_1) \cdot b, \quad (2.11)$$

де m – питомий опір ґрунту, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$;
 b – ширина анкерного сошника, м.

Вертикальна складова сили опору анкерного сошник визначається зі співвідношення

$$F_{z2} = \pm 0,2 \cdot F_{x2} \quad (2.11)$$

Аналітичних виразів для визначення тягового опору гофрованих дисків, які ми припускаємо, використовувати в якості дискового ножа, не існують. Тому горизонтальну складову сили опору F_{x1} і опорну реакцію обода F_{z1} дискового ножа необхідно визначати експериментальним шляхом для конкретних ґрунтових умов.

Невідомою залишається опорна реакція прикочуючого котка N_2 . Через складність конструктивної схеми і через наявність великої кількості рухомих елементів опорну реакцію котка аналітичним шляхом визначити неможливо. Для визначення сили скористаємося методом можливих переміщень. Принцип можливих переміщень – один з варіаційних принципів в теоретичній механіці, що встановлює загальне умову рівновагу механічної системи. Згідно з цим принципом, для рівноваги механічної системи з ідеальними зв'язками необхідно і достатньо, щоб сума віртуальних робіт A_i активних сил на будь-якому можливому переміщеннях системи дорівнювала нулю (якщо система приведена в це положення з нульовими швидкостями) [20].

$$\sum \delta A_i = \sum F_k \cdot \delta \cdot r_k = 0 \quad (2.12)$$

де F_k – активна сила, прикладена до k -ї точки,
 δr_k – можливе переміщення k -ї точки.

Згідно розрахункової схеми (рисунок 2.2) загальна сума роботи активних сил при переміщенні посівної секції в горизонтальному напрямку запишеться у вигляді

$$F_T \cdot \delta_S - (F_{x1} + F_{x2}) \cdot \delta_S = 0 \quad (2.13)$$

де δs – можливе переміщення в горизонтальному напрямку.

Звідки отримаємо:

$$F_T = F_{x1} + F_{x2}$$

А для всіх точок прикладення сил сума робіт запишеться як:

$$\begin{aligned} -G \times \delta s_1 \times \cos\eta + F_{z1} \times \delta s_1 + F_{z2} \times \delta s_1 \times \cos\eta - F_{x2} \times \delta s_1 \times \sin\eta + \\ + F_y \times \sin(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times \cos(\lambda + \eta) \times \\ \times r \times \delta\eta \times \sin\eta - M_{T_{k2}} \times \delta\eta_k \end{aligned} \quad (2.14)$$

де δs_1 – можливе лінійне переміщення;

$\delta\eta$ – можливе кутове переміщення;

η – кут нахилу плеча паралелограмного механізму;

λ – кут нахилу вісі пружинного механізму.

Згідно розрахункової схеми лінійні і кутові переміщення пов'язані один з одним наступними співвідношеннями:

$$\delta s_1 = \delta\eta \times r \quad (2.15)$$

$$\delta\eta = \frac{\delta s_1}{r} \quad (2.16)$$

$$\delta\eta = \delta s_1 \times \frac{\sin\eta}{r_k} \quad (2.17)$$

де r_k – радіус обода прикочувального котка.

З огляду на (2.15 – 2.17) у натуральному вираженні (2.14) після перетворень отримаємо наступну суму робіт

$$\begin{aligned} -G \times \delta s_1 \times \cos\eta + F_{z1} \times \delta s_1 + F_{z2} \times \delta s_1 \times \cos\mu - F_{x2} \times \delta s_1 \times \sin\eta + \\ + F_y \times \sin(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times \cos(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \sin\eta - \\ - N_2 \times \delta \times \delta s_k \times \frac{\sin\eta}{r_k} = 0 \end{aligned}$$

Скоротимо δs_1 отримаємо

$$\begin{aligned}
 & -G \times \cos\eta + F_{z1} \times \cos\eta + N_2 \times \cos\eta + F_{z2} \cos\eta - F_{x2} \times \sin\eta + \\
 & + F_y \times \sin(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times \cos(\lambda + \eta) \times r \times \sin\eta - \\
 & - N_2 \times \delta \times \frac{\sin\eta}{r_k} = 0
 \end{aligned}$$

Після додаткових перетворень

$$N_2 \times \left(\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k} \right) = G \times \cos\eta + F_{z1} \times \cos\eta - F_{z2} \cos\eta + F_{x2} \times \sin\eta - F_y \times \sin(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times \cos(\lambda + \eta) \times r \times \sin\eta$$

З отриманого виразу висловимо N_2

$$\begin{aligned}
 N_2 = & \frac{G \times \cos\eta + F_{z1} \times \cos\eta - F_{z2} \cos\eta + F_{x2} \times \sin\eta - F_y \times \sin(\lambda + \eta) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times \cos(\lambda + \eta) \times r \times \sin\eta}{\left(\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k} \right)} \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

Вираз (2.18) дозволяє визначити опорну реакцію важкого котка.

В отриманому виразі (2.18) присутні два кута η і λ , які взаємопов'язані. Для визначення взаємозв'язку між цими кутами представимо схему паралелограмного механізму (рисунок 2.3).

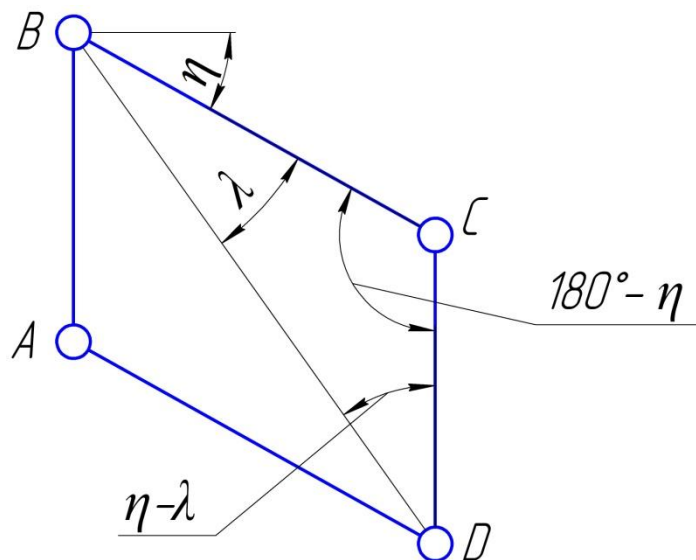


Рисунок 2.3 – Схема до визначення залежності між кутами нахилу вісі

пружини λ і нахилу плеча η паралелограмного механізму

Прийmemo $BD = l$ і $BC = AD = r$.

Тоді

$$\frac{l}{\sin\eta} = \frac{r}{\cos(\lambda+\eta)} \quad (2.19)$$

Кути пов'язані один з одним таким співвідношенням

$$\cos(\lambda + \eta) = r \times \sin\eta$$

або

$$\lambda + \eta = \arccos(r \times \sin\eta)$$

Звідси

$$\lambda = -\eta + \arccos(r \times \sin\eta) \quad (2.20)$$

Підставимо отриману формулу (2.20) в (2.18) отримаємо:

$$N_2 = \frac{G \times \cos\eta + F_{z1} \times \cos\eta - F_{z2} \cos\eta + F_{x2} \times \sin\eta - F_y \times \sin\eta}{\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k}} -$$

$$- \frac{F_y \times \sin(-\eta + \arccos(r \times \sin\eta) + \eta) r \times \cos\eta}{\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k}} +$$

$$+ \frac{F_y \times \cos(-\eta + \arccos(r \times \sin\eta) + \eta) \times r \times \sin\eta}{\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k}}$$

Після перетворень отримаємо формулу:

$$N_2 = \frac{G \times \cos\eta + F_{z1} \times \cos\eta - F_{z2} \cos\eta + F_{x2} \times \sin\eta - F_y \times \sin\eta}{\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k}} -$$

$$- \frac{F_y (\sqrt{1 - r^2 \times \cos^2\eta}) \times r \times \delta\eta \times \cos\eta - F_y \times r \times \sin\eta \times r \times \delta\eta \times \sin\eta}{\cos\eta - \frac{\delta \times \sin\eta}{r_k}} \quad (2.21)$$

Вираз (2.21) встановлює взаємозв'язок конструктивних і технологічних параметрів посівної секції і призначений для розрахунку зусилля переданого на важкий коток і подальшого визначення щільності ґрунту після його проходу.

Щільність же дна борозни насінневого ложа залежить від тиску з сторони анкерного сошника та фізико-механічних властивостей ґрунту. На рисунку 2.4 представлено розподіл щільності ґрунту в під сошниковому просторі.

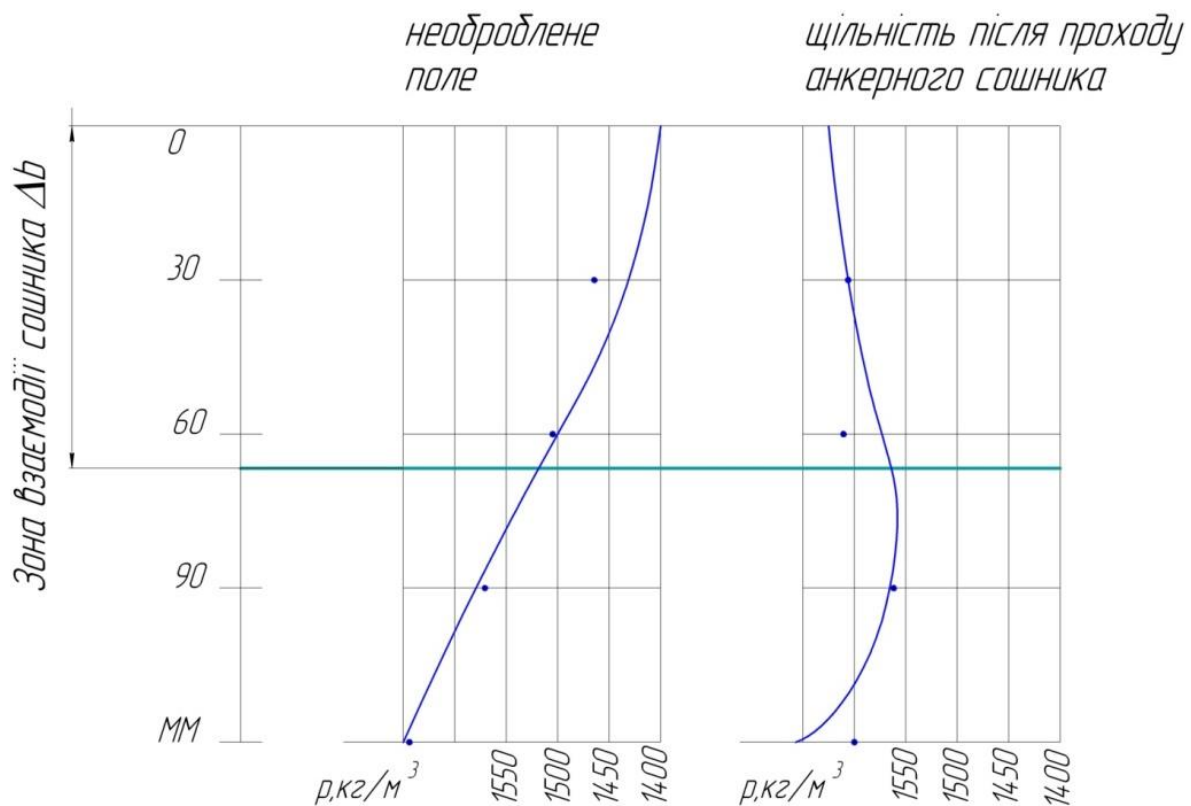


Рисунок 2.4 – Щільність ґрунту під насінним ложем

З рисунка видно, що анкерний сошник деформує ґрунтовий пласт, в залежності від швидкості руху та фізико-механічних властивостей ґрунтів, на глибину Δb до 6,5 см. Виходячи з цього, можна розрахувати об'єм деформованого ґрунту під анкерним сошником.

$$V_{\text{деф}} = S \times \Delta b \quad (2.22)$$

де S – площа контакту дна анкерного сошника з ґрунтом, м^2 ;

Δb – зона дії анкерного сошника, м.

Щільність насінневого ложа після проходу анкерного сошника буде залежати від величини проминання Δa ґрунту після його проходу, яку можна визначити з виразу

$$\Delta a = \frac{F}{S \times q} \times 10^{-6} \quad (2.23)$$

де F – вертикальне навантаження, Н;

S – площа контакту дна анкерного сошника з ґрунтом, м²;

q – коефіцієнт об'ємного зминання, Н/см³.

Вертикальне навантаження F на анкерний сошник згідно з розрахунковою схемою (рисунок 2.2) визначиться як сума сил:

$$F = F_{z2} + G$$

Тоді об'єм зминання анкерним сошником ґрунту:

$$V_{зм.ґрунту} = \Delta a \times S \quad (2.24)$$

З отриманих виразів випливає, що щільність ґрунту після проходу анкерного сошника

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 \times V_{деф}}{V_{деф} - V_{зм.ґрунту}} \quad (2.25)$$

де ρ_1 – щільність ґрунту до проходу анкерного сошника, кг/м³;

$V_{деф.}$ – об'єм деформованого ґрунту, м³;

$V_{зм.ґрунту}$ – об'єм зминання ґрунту, м³.

Після перетворень формула для визначення щільності ґрунту після проходу анкерного сошника набуде вигляду

$$\rho_2 = \frac{\rho_1 \times \Delta b}{\Delta b - \frac{F}{S \times q} \times 10^{-6}} \quad (2.26)$$

Відповідно до формули (2.26) щільність ґрунту дна борозни після проходу анкерного сошника залежить від конструктивно-технологічних параметрів посівної секції – її ваги G , жорсткості пружини $C_{пруж}$ і геометричних параметрів сошника S . Всі ці параметри є нерегульовані і в залежності від типу і стану ґрунту не можуть забезпечити вимоги щільність насінневого ложа. Процесом формування насінневого ложа можна управляти

за рахунок зміни стиснення пружини гвинтового механізму паралелограмного механізму посівної секції. Отримані формули дозволяють обґрунтувати номограми настройки пружини паралелограмного механізму посівної секції з відомими конструктивно-технологічними параметрами в залежності від типу і стану ґрунту (вологості) для отримання необхідної щільності дна борозни.

Представлена розрахункова схема дозволяє обґрунтувати процес формування насінневого ложа без урахування переміщення і напружено деформованого стану об'єму ґрунту взаємодіючого з сошником. Тому запропонована методика підходить для попереднього обґрунтування макропараметрів посівних секцій, подібних пропоновані схемі. Для детального представлення процесу формування насінневого ложа необхідно розглянути процес деформації, кришення і переміщення, що утворилися при цьому ґрунтових елементів. Для цього найбільш слушним є реологічна модель ґрунту у вигляді суцільного деформуючого середовища.

Відповідно до формули 2.21 зусилля на важкий коток буде залежати від зусиль пружини F_y на паралелограмному механізмі і плеча дії цього зусилля.

Зусилля, що припадають на ґрунт з боку прикочуючого котка, розраховані відповідно до формули 2.21, наведені в таблиці 2.1.

Таблиці 2.1 – Зусилля на ґрунт прикочуючим котком

Кут установки пружини до горизонту λ , град	30,0	32,5	34,0	36,0	39,0
F_y, H	133,4	291,4	403,2	647,1	841,1
N_2, H	99,24	239,19	350,41	605,76	877,58

Залежність зусилля, що припадає на ґрунт з боку котка представлені на рисунку 2.5.

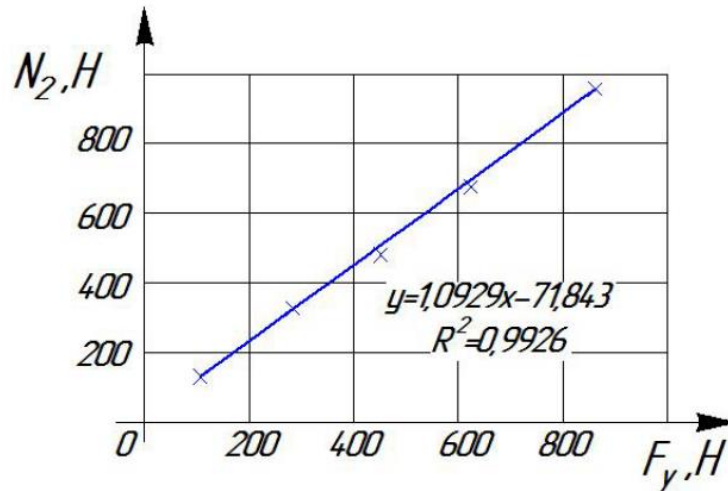
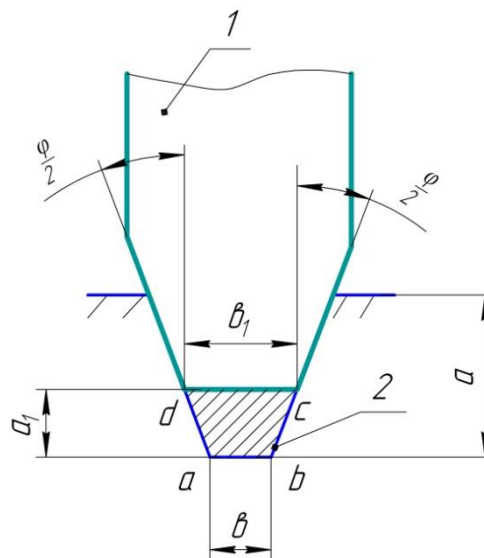


Рисунок 2.5 – Залежність опорної реакції важкого котка від зусилля притискної пружини

2.3. Обґрунтування форми і параметрів важкого котка

Важливим фактором у процесі ущільнення ґрунту над насінням є форма важкого котка в зоні формування насінневого ложа. Форма котка повинна повторювати контур, що утворився після проходу анкерного сошника борозенки з урахуванням обсіпалася ґрунту.

На рисунку 2.6 показана схема конфігурації котка з урахуванням утвореної борозенки після проходу анкерного сошника.



1 – важкий коток; 2 – насіння і добрива

Рисунок 2.6 – Параметри важкого котка

Конфігурація обода важкого котка має значення при формуванні насипної частини ґрунту над насінням. На рисунку 2.6 показано процес проходження важкого котка по борозенці.

При проході анкерного сошника ґрунтовий пласт руйнується під кутом рівним половині кута внутрішнього тертя оброблюваного ґрунту [6]. Конус, при основі котка повинен геометрично бути близьким до форми поперечного перерізу утвореної борозенки.

Ширину пояса b_1 , відповідно до рисунка 2.6 можна визначити з трапеції $abcd$, де $dc = b_1$; $ab = b$, кут при основі ab дорівнює $\varphi/2$. Висота трапеції дорівнює глибині засипання насіння ґрунтом a_1 . Згідно з експериментальними [7] даними, a_1 дорівнює $0,3..0,4a_2$ глибини посіву. Звідси ширина пояса

$$b_1 = b + (0,6 \dots 0,8) \times a_2 \operatorname{tg} \varphi/2 \quad (2.27)$$

При ширині долота анкерного сошника $b = 20$ мм, глибиною ходу $a_2 = 8-12$ см ширина пояса анкерного сошника $b_1 = 24,7-27,1$ мм і кутах тертя $\varphi = 18 \dots 35^\circ$. Ширину пояса анкерного сошника b_1 приймемо рівним 25 мм.

Крім створюваного зусилля коток повинен здійснювати обертальний рух і підминати під себе великі ґрунтові грудки і руйнувати їх за рахунок роздавлювання ободом. Коток малого діаметра впливає на ґрунт як полоз і ущільнює верхній шар, коток великого діаметра більш рівномірно ущільнює шар ґрунту по глибині. На пухких ґрунтах перед котком може утворюватися ґрунтовий валик. Чим важче коток і менше його діаметр, тим більше висота валика. При певному діаметрі котка він просто не зможе долати ґрунтові грудки.

Розглянемо умови, при яких коток затискає ґрунтові грудку між своєю робочою поверхнею обода і ґрунтом, без утворення ґрунтового валу перед собою. Процес руху котка по поверхні поля і зминання її на деяку глибину відбувається з утворенням колії. Отже, рух котка при цьому супроводжується

з деяким ковзанням. Тому миттєвий центр обертання котка O в цьому випадку буде розташовуватися нижче дна колії (рисунок 2.7).

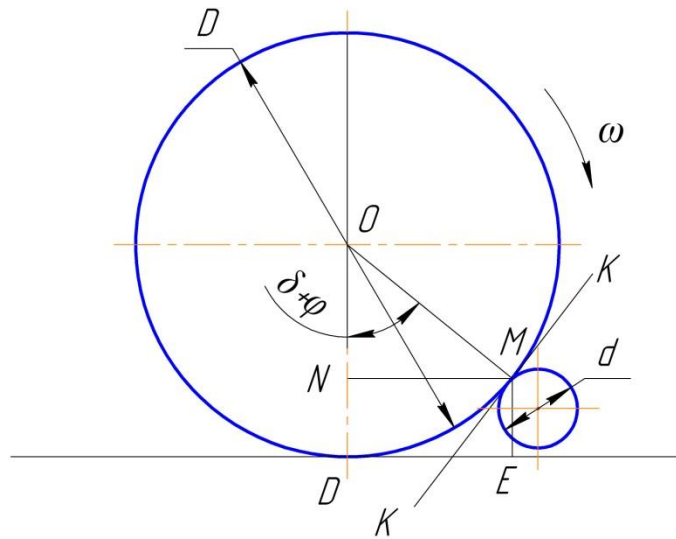


Рисунок 2.7 – Процес взаємодії котка з грудкою ґрунту

Взаємодія обода котка з ґрунтовою грудкою починається в точці M , окружна швидкість якої спрямована перпендикулярно радіус-вектору OM . Якщо кут τ , укладений між напрямком абсолютної швидкості точки і нормаллю до окружності котка не перевищує кут тертя φ , то тиск цієї точки котка на ґрунтову грудку з радіусом r направлена по швидкості V і відхилена від нормалі на кут τ . Тільки в цьому випадку не буде відбуватися ковзний рух точки M котка щодо ґрунтової грудки.

Розглянемо коток з радіусом R , який взаємодіє з ґрунтовою грудкою радіусом r . При цьому висота розташування розглянутої точки котка M може бути визначена з наступного співвідношення:

$$ME = r = r \times \cos(\delta + \varphi) = r[1 + \cos(\delta + \varphi)] \quad (2.28)$$

де δ – кут тертя котка по ґрунту;

φ – кут тертя ґрунтового котка по ґрунту.

Після відповідних спрощень отримуємо

$$ME = 2 \times r \times \cos^2\left(\frac{\delta + \varphi}{2}\right) \quad (2.29)$$

Висоту точки дотику котка з грудкою ґрунту можна висловити і з кола радіусом R

$$ME = ND = R + R \times \cos(\delta + \varphi) = R[1 - \cos(\delta + \varphi)], \quad (2.30)$$

Після перетворення

$$ND = 2\sin^2\left(\frac{\delta+\varphi}{2}\right) \quad (2.31)$$

Так, як по умові $ME=ND$, то

$$2 \times r \times \cos^2\left(\frac{\delta+\varphi}{2}\right) = 2 \times R \times \sin^2\left(\frac{\delta+\varphi}{2}\right) \quad (2.32)$$

з якого можна отримати кінцеву формулу для визначення діаметра прикочуючого котка

$$D_2 = d \times \operatorname{ctg}^2\left(\frac{\delta+\varphi}{2}\right) \quad (2.33)$$

де $d=2r$ – діаметр ґрунтової грудки, мм.

Діаметр ґрунтової грудки при обробці стерньових агрофонів в відповідності з агротехнічними вимогами не повинен перевищувати 50 мм. З огляду на фізико-механічні властивості ґрунту середньосуглинкового механічного складу, для якої $\delta = 5 - 25^\circ$, $\varphi = 18 - 40^\circ$ (93), діаметр D_2 важкого котка для його задовільної роботи повинен бути більш 240 мм.

Крім цього конструктивно важкий коток не повинен упиратися своєю маточиною об поверхню поля і не зачіпати утворені грудки ґрунту. З урахуванням цих обставин і з огляду на розрахункову схему посівної секції (рисунок 2.1) діаметр котка

$$D_2 = \left(\frac{d_c}{2} + d + \Delta a + a_2 - a\right) \quad (2.34)$$

де d_c – діаметр ступиці, мм;

Δa – нерівності поверхні поля, мм;

a_2 – глибина ходу анкерного сошника, мм;

a – глибина повіси, мм.

При діаметрі маточини $d_c = 120$ мм, нерівності поверхні поля $\Delta a = 20-30$ мм, діаметрі грудок $d = 50$ мм, глибиною ходу анкерного сошника $a_2 = 80-120$ мм і глибині посіву зернових культур $a = 30-60$ мм діаметр

адресного прикочуючого котка $D_2 = 450$ мм.

2.4. Модель процесу взаємодії посівної секції з ґрунтом

Процес взаємодії робочого органу з ґрунтом і характер її деформації і кришення обумовлені рівнем напруги в деформуючій зоні. Поверхня напруження руйнування описується загальною математичною формулою, що містить певні параметри. Значення цих параметрів залежать від типу ґрунту, шаруватості, вмісту води та інше. Вони дозволяють встановити межу міцності на зрушення при конкретних ґрунтових умовах.

Найбільш прийнятний математичний опис поверхні граничного напруження при зсуві дає модель Мора - Кулона [9]:

$$\tau_f = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.35)$$

де τ_f – необхідна сила зсуву, Па;

c – сила зчеплення, яка припадає на одиницю площі, Па;

σ_n – нормальна сила на площині руйнування, Па;

φ – кут внутрішнього тертя, град.

Величини c і φ залежать від механічного складу ґрунту, вмісту води, шаруватості та інше, отже, їх можна розглядати як властивості ґрунту. Згідно зі слів (2.35) необхідна для руйнування напруга зсуву збільшується при зростанні нормального напруги на площину руйнування. При нескінченно великому напруженні σ_n на площині розрушення по цій площині неможливо [9].

На рисунку 2.8 напрямок σ_2 перпендикулярно площині креслення, отже, площина розриву паралельна σ_2 , що підтверджується результатами досліджень (9). Якщо $\sigma_2 \neq \sigma_3$, то σ_2 впливає на положення площини розриву. Однак в першому наближенні c і φ можна вважати незалежними від σ_2 .

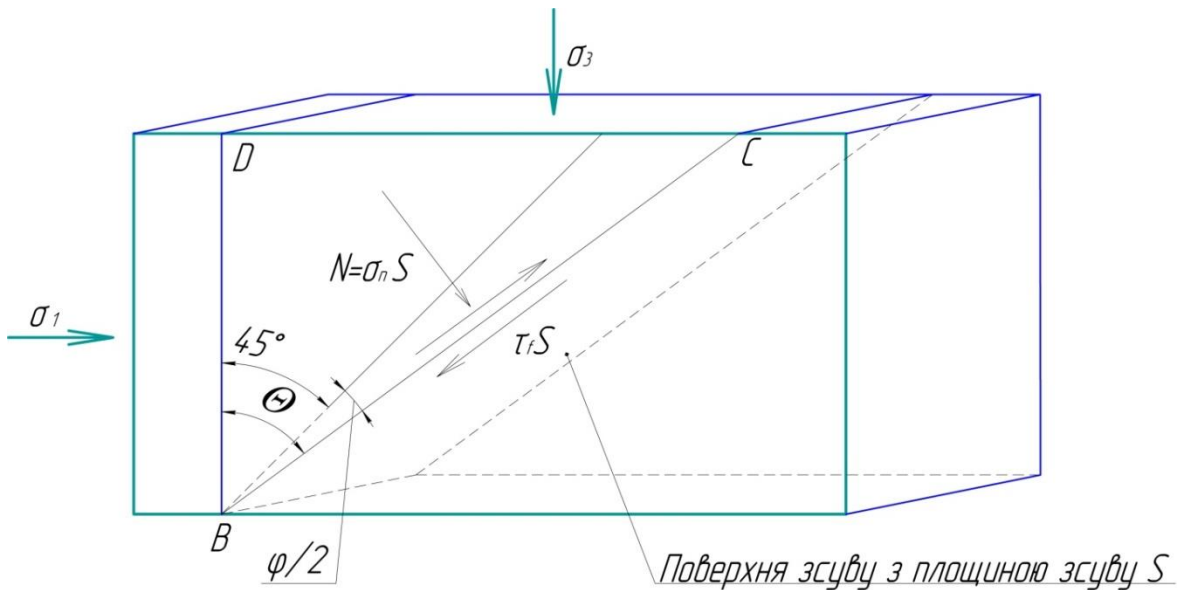


Рисунок 2.8 – Руйнування ґрунтового масиву при зсуві

Для показаної на рисунку 2.8 площині розриву в момент руйнування величини τ_f і σ_n можна виразити через прикладаючі напруги σ_1 і σ_2 . Для цього розглянемо рівновагу сил, що діють на тіло BCD . Для зручності припустимо, що ширина тіла в напрямку, перпендикулярно площині креслення, дорівнює одиниці. Довжина відрізка BC позначається L і характеризує також площу похилого боку тіла BCD . Інші сторони мають площу $CD = L \sin \theta$ і $BD = L \cos \theta$. Множенням площ на відповідні компоненти напруги отримаємо компоненти (складові) сил. Прирівнявши кожену суму горизонтальних і вертикальних компонент сил до нуля, отримаємо рівняння рівноваги:

$$L \sigma \sin \theta - L \tau \cos \theta - \sigma_3 L \sin \theta = 0$$

$$L \sigma \sin \theta - L \tau \cos \theta - \sigma_1 L \sin \theta = 0$$

Вирішивши рівняння щодо τ і σ , отримаємо

$$\sigma = \sigma_1 \cos^2 \theta + \sigma_3 \sin^2 \theta \quad (2.36)$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) \sin \theta \cos \theta \quad (2.37)$$

Користуючись виразами (2.36 і 2.38), виключимо з виразу (2.35) τ_f і σ_n . Отриманий вираз відповідає зв'язку між σ_1 і σ_2 в момент руйнування

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_3 (\sin \theta \cos \theta + tg \varphi \sin^2 \theta) + c}{\sin \theta \cos \theta - tg \varphi \cos^2 \theta} \quad (2.38)$$

У цій залежності присутня невідома величина – кут Θ . Цей кут можна знайти виходячи з того, що площина розриву утворюється під таким кутом Θ , при якому величина σ_l (при постійних σ_3 , c і φ) відповідно до формули (2.40) мінімальна. При зростанні навантаження стан руйнування настає, перш за все, на цій площині. Зазвичай вважається, що величина σ_l при постійних σ_3 , c і φ мінімальна при $\Theta=45^\circ+0,5\varphi$. Підставами цю величину в вираз (2.40) і отримуємо наступне рівняння:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) + 2c \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \quad (2.40)$$

Геометричне місце точок, що задовольняє даній формулі, в просторі з координатами – піраміда, вісь якої є діагональ в просторі, а вершина розташована поблизу початку координат. Необхідно відзначити, що проміжні основні напруги не грають ролі, і формула зазвичай дає більшу межу міцності на зрушення при більш високому рівні напруги.

Однак при взаємодії ґрунту з робочим органом чистого процесу зсуву не відбувається, а відбувається і ущільнення деформованої зони, що сприяє формуванню посівного ложа.

Якщо ґрунтовий пласт відчуває навантаження σ_1 , σ_2 і σ_3 , то при даному стані напруги середня нормальна напруга і максимальне дотичне напруження для суцільного середовища визначається за формулами [10].

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)$$

Якщо обмежитися умовою $\sigma_2 = \sigma_3$, наведені вище вирази можна записати в такий спосіб:

$$\sigma_3 = \sigma_m - \frac{3}{4} \tau_{max}$$

$$\sigma_3 = \sigma_m - \frac{2}{3} \tau_{max}$$

Підстановкою цих виразів в формулу (2.40) отримаємо закон Кулона, виражений через τ_{max} і σ_m для випадку $\sigma_2 = \sigma_3$:

$$\left[\frac{4}{3} + \frac{2}{3} tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] \tau_{max} = \left[-1 + tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] \sigma_m + tg \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \quad (2.41)$$

Згідно В.С.Казакову (11) середня нормальна напруга дорівнює градієнту тиску ($\sigma_m = gradp$), а дотичне напруження τ_{max} пропорційний ротора швидкостей $\tau_{max} = k_v rotV$. Тоді вираз (2.41) можна записати у вигляді:

$$\left[\frac{4}{3} + \frac{2}{3} tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] k_v rotV_{max} = \left[-1 + tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] gradp + 2c \times tg \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \quad (2.42)$$

Отриманий вираз описує напружено-деформований стан ґрунту при впливі робочого органу. Рівняння (2.42) необхідно додати в систему рівнянь динаміки середовища, запропонованого Мударісовим С.Г., замість рівняння нерозривності:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_x}{\partial t} + \frac{\partial V_x}{\partial x} V_x + \frac{\partial V_x}{\partial y} V_y + \frac{\partial V_x}{\partial z} V_z &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + (1 + 5a)v\Delta^2 u_x; \\ \frac{\partial V_y}{\partial t} + \frac{\partial V_y}{\partial x} V_x + \frac{\partial V_y}{\partial y} V_y + \frac{\partial V_y}{\partial z} V_z &= F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + (1 + 5a)v\Delta^2 u_y; \\ \frac{\partial V_z}{\partial t} + \frac{\partial V_z}{\partial x} V_x + \frac{\partial V_z}{\partial y} V_y + \frac{\partial V_z}{\partial z} V_z &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + (1 + 5a)v\Delta^2 u_z \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\begin{aligned} &\left[\frac{4}{3} + \frac{2}{3} tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] k_v rotV_{max} \\ &= \left[-1 + tg^2 \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \right] gradp + 2c \times tg \left(45^\circ + \frac{1}{2} \varphi \right) \end{aligned}$$

При цьому додаткове рівняння дозволить замкнути систему рівнянь з чотирьох невідомих і додатково врахувати фізикомеханічні властивості ґрунту, такі як зчеплення c і внутрішньо тертя φ .

Для вирішення даної системи рівнянь необхідно встановити початкові і

граничні умови математичної моделі.

2.5. Постановка початкових і граничних умов функціонування моделі

Для правильної постановки граничних умов функціонування моделі наведемо розрахункову схему взаємодії анкерного сошника з пластом ґрунту. За основу прийняті закони землеробської механіки [5]. На рисунку 2.9 приведена розрахункова схема взаємодії анкерного сошника з ґрунтом.

У процесі руху анкерного сошника на ґрунтову брилу діють наступні сили [7]: G_n – сила тяжіння ґрунтової брили, C – когезійна сила, K – сила, обумовлена прискоренням ґрунту (динамічний тиск, обумовлене силою інерції брили), D – сила реакції незруйнованої ґрунту, A – сила зчеплення (Адгезія), $F_{тр}$ – сила тертя, R_n – нормальна сила, S – підпір з боку нижніх шарів ґрунту

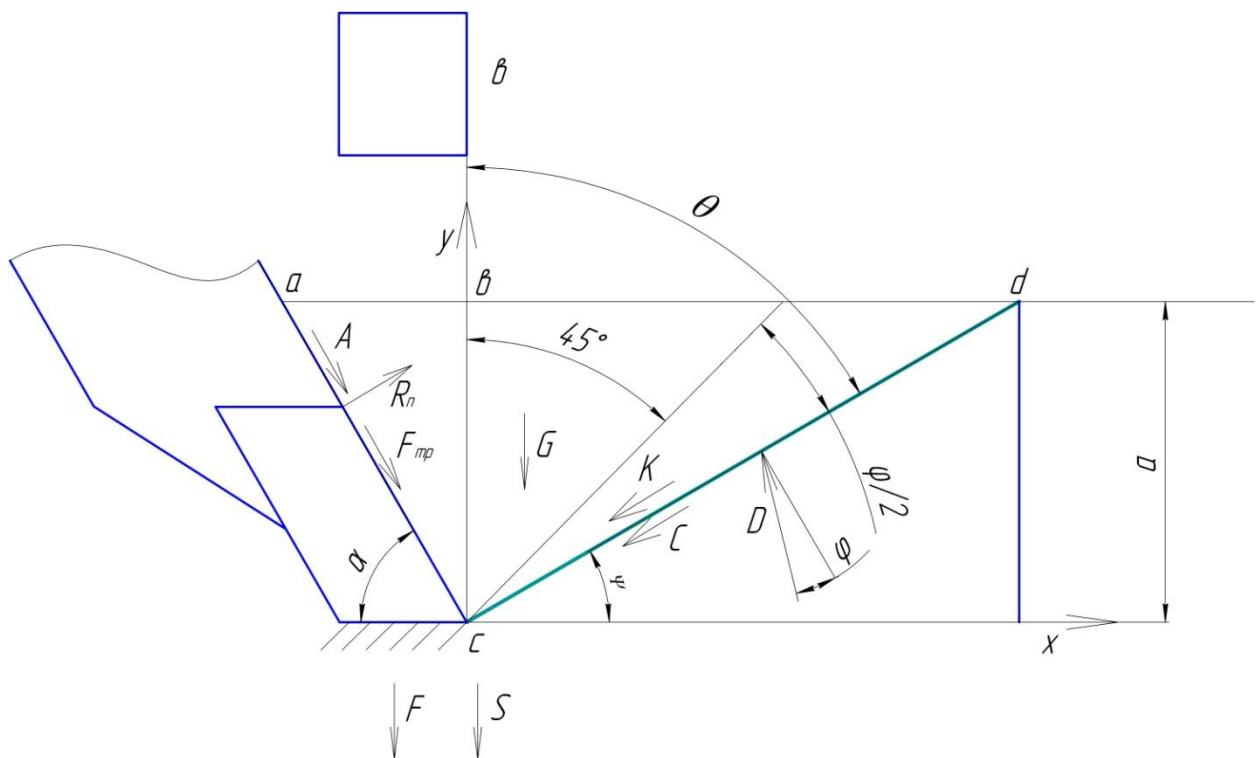


Рисунок 2.9 – Взаємодія анкерного сошника з пластом ґрунту

Для розрахунку сили тяжіння ґрунтового шару, що діє на анкерний сошник необхідно розрахувати об'єм ґрунту. Розглянувши трикутники ABC і BDC , висловивши невідомі величини сторін трикутника через глибину ходу анкерного сошника, a отримаємо вираз:

$$G_n \frac{a^2 \times b(tg\alpha + tg\theta) \times \rho \times g}{2} \quad (2.44)$$

де a – глибина ходу сошника, м;

ρ – об'ємна маса ґрунту в цій зоні, кг/м³;

b – ширина робочої поверхні анкерного сошника, м

g – прискорення вільного падіння, м/с²

Когезійну силу можна визначити за такою формулою:

$$C = \frac{a \times c}{\sin\varphi} \quad (2.45)$$

де c – коефіцієнт зчеплення, Н/м;

φ – внутрішній кут тертя ґрунту, град.

Когезійну силу, зумовлену прискоренням ґрунтового шару, визначимо відповідно до формули:

$$K = -am \quad (2.46)$$

де a – середнє прискорення, м/с²

m – маса пласта, кг.

З векторної діаграми швидкостей (рисунок 2.11) по теоремі синусів слід:

$$\frac{V_a}{\sin\psi} = \frac{\Delta V}{\sin\alpha} = \frac{V_0}{\sin(3.14 - (\alpha + \psi))} \quad (2.47)$$

де V_0 – швидкість руху анкерного сошника, м/с

V_a – відносна швидкість руху пласта ґрунту, м/с

ΔV – абсолютна швидкість руху пласта ґрунту, м/с

α – кут поставки робочого органа до дна борозни, град.

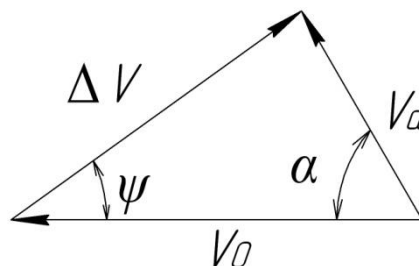


Рисунок 2.10 – Векторна діаграма швидкостей

Кут α , у міру підйому пласта по поверхні долота анкерного сошника, не змінюється.

З рівняння (2.47) отримаємо

$$\Delta V = V_0 \frac{\sin \alpha}{\sin(\psi + \alpha)} \quad (2.48)$$

Знаючи ΔV , можна визначити силу K , обумовлену прискоренням ґрунтової брили [6].

$$K = -\bar{a}m \quad (2.49)$$

де a – середнє прискорення, м/с²

m – маса пласта, кг.

Кожній точці пласта ґрунту при впливі на неї долотом буде відповідати швидкість від $V_0 = 0$, до ΔV . Виходячи з цього, середнє прискорення, що відповідає пласту, визначимо за формулою:

$$\bar{a} = \frac{\Delta V - V_0}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta V}{t_2 - t_1} \quad (2.50)$$

де $t_2 - t_1$ – час, протягом якого частка ґрунту, що рухається по поверхні клина з відносною швидкістю V_a , проходить шлях.

Враховуючи що

$$t_2 - t_1 = \frac{a}{V_a \times \sin \alpha} \quad (2.51)$$

$$V_a = \frac{V_0 \sin \psi}{\sin(\alpha + \psi)} \quad (2.52)$$

$$\Delta V = \frac{V_0 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \psi)} \quad (2.53)$$

Отримаємо

$$\bar{a} = \frac{V_0^2 \sin \alpha \times \sin \psi}{a \times \sin^2(\alpha + \psi)} \quad (2.54)$$

Масу пласта ґрунту можна виразити з формули

$$m = \frac{a^2 \times b (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \theta) \times \rho}{2} \quad (2.55)$$

Підставляючи значення сили m з формули (2.55) і прискорення \bar{a} з формули (2.54) в рівняння (2.49), після перетворення отримаємо

$$K = - \frac{a \times b \times \rho \times V_0^2 \sin a \times \sin \psi (tga + tg\theta)}{2 \sin^2(a + \psi)} \quad (2.56)$$

Сили R_n , D і S показаних на рисунку 2.9, можна визначити з рівнянь рівноваги сил в горизонтальному і вертикальному напрямках.

$$\begin{aligned} \text{Умова рівноваги в горизонтальній площині } \Sigma F_x = 0 \\ A \cos a + F_{mp} \cos a - K \cos \psi - c \times \cos \psi + R_n \cos a - D \cos(\psi - \varphi) - \\ - a \times s \times ctg \psi = 0 \end{aligned} \quad (2.57)$$

де $F_{mp} = R_n \times tg \delta$ – сила тертя ґрунту по робочі поверхні, Н;

δ – кут тертя ґрунту по сталі, град.

Силою зчеплень (Адгезія) можна знехтувати. При роботі робочих органів ґрунтообробних машин на оптимальні вогкості вона досить мала.

$$\begin{aligned} G_n \cos(90 - a) + R_n tg \delta + \frac{a \times b \times \rho \times V_0^2 \sin a \times \sin \psi (tga + tg\theta) \cos \psi}{2 \sin^2(a + \psi)} + \\ + G_n \cos^2 a - D \cos(\psi + \varphi) - a \times s \times ctg \psi \end{aligned}$$

Звідси сила реакції незруйнованої ґрунту D визначиться відповідно до виразу:

$$D = \frac{G_n \cos(90 - a)(1 + f) + G_n \cos^2 a + \frac{a \times b \times \rho \times V_0^2 \sin a \times \sin \psi (tga + tg\theta) \cos \psi}{2 \sin^2(a + \psi)} - a \times s \times ctg \psi}{\cos(\psi + \varphi)} \quad (2.58)$$

Спроектуємо сили на вісь y . Тоді рівняння матиме вид:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y = 0 \\ G_n + S + F - D \cos d(90 - \psi + \varphi) - G_n \cos(90 - a) f \\ - G_n \cos(90 - a) + \\ + G_n \cos^2 a - \frac{a \times b \times \rho \times V_0^2 \sin a \times \sin \psi (tga + tg\theta) \cos \psi}{2 \sin^2(a + \psi)} \end{aligned} \quad (2.59)$$

Підпір з боку нижніх шарів ґрунту S

$$\begin{aligned} S = D \cos(90 - \psi + \varphi) + G_n \cos(90 - a) (1 + f) - G_n \cos^2 a + \\ + \frac{a \times b \times \rho \times V_0^2 \sin a \times \sin \psi (tga + tg\theta) \cos \psi}{2 \sin^2(a + \psi)} - G_n - F \end{aligned} \quad (2.60)$$

Вираз (2.60) у вигляді напруги є граничною умовою дна борозни.

Для визначення інших початкових і граничних умов моделі розглянемо технологічний процес взаємодії сошника з ґрунтом (рисунок 2.11).

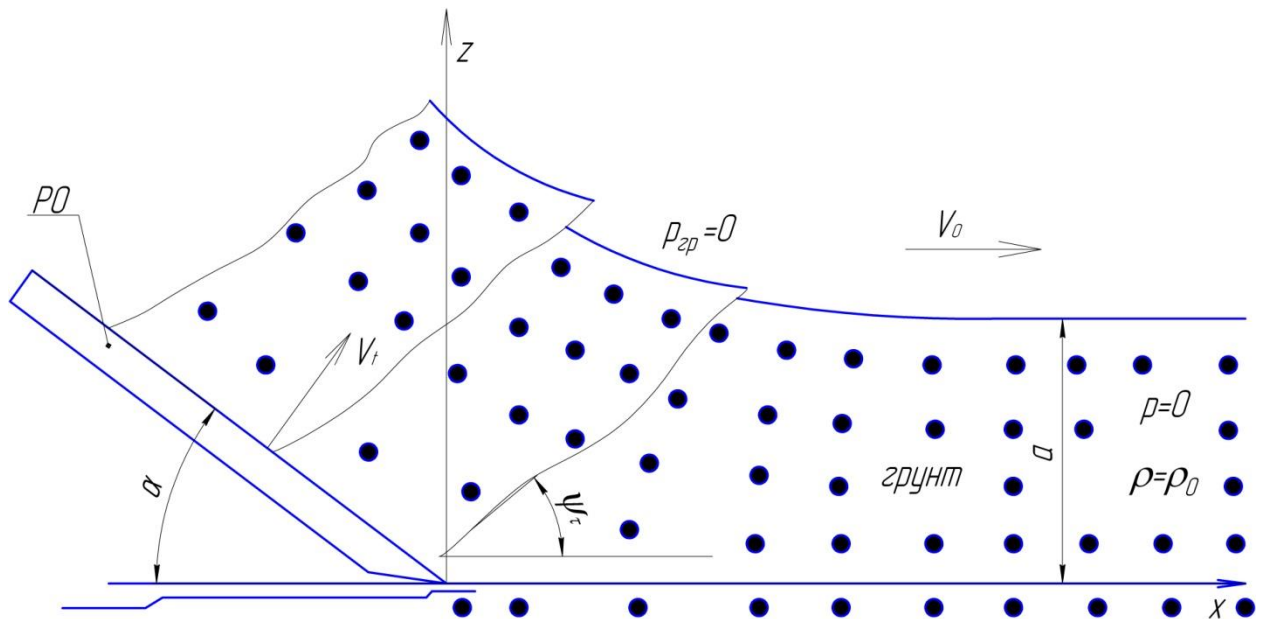


Рисунок 2.11 – Процес взаємодії робочого органу з ґрунтом

У процесі руху з певною швидкістю V_0 сошник (PO) – тверде тіло, впливаючи на пласт ґрунту своєю поверхнею, відриває його, деформує ґрунтові грудки і переміщує їх на деяку відстань. При цьому на відривається пласт ґрунту з одного боку впливає поверхню робочого органу, з протилежного і нижньої сторін - необроблені шари ґрунту, а зверху пласт ґрунту взаємодіє з повітряним середовищем. Тому завдання взаємодії робочого органу можна звести до задачі взаємодії твердого непроникного тіла з нескінченним суцільним середовищем з вільною поверхнею.

Задачі динаміки суцільних середовищ можна розділити на зовнішні і внутрішні [12].

Зовнішня задача – визначення характеристик руху тіл, які прямують в середовищі. У багатьох випадках справедливим виявляється принцип звернення потоку, згідно з яким рівномірно рухається тіло можна вважати нерухомим, а середовище - набігає на тіло з рівномірною швидкістю, яка дорівнює швидкості руху тіла [13]. Тоді під зовнішньої завданням можна розуміти обтікання тіла потоком середовища та подальше обчислення

навантажень на тіло. Внутрішня задача формулюється стосовно перебігу рідини в каналах, ємностях, трубопроводах.

Для постановки конкретних граничних умов необхідно визначити геометричні параметри розглянутої області взаємодії робочого органу із середовищем, тобто необхідно встановити розрахункову область моделі.

Розрахункова область – це певний об’єм простору, де задані рівняння математичної моделі і визначені початкові і граничні умови її функціонування. Розрахункова область при вирішенні завдань, пов’язаних з ґрунту можна представити у вигляді прямокутного паралелепіпеда, розміри сторін якої будуть залежати від зони деформації ґрунту розглядаються робочим органом [16]. Розміри сторін паралелепіпеда повинні бути набагато більше, ніж зона деформації, яка створюється одним робочим органом або групою робочих органів. На рисунку 2.12 представлена розрахункова область для моделювання процесу обробки ґрунту, що являє із себе паралелепіпед, на висоту h , заповнений середовищем, яка буде переміщатися від входу до виходу із заданою швидкістю.

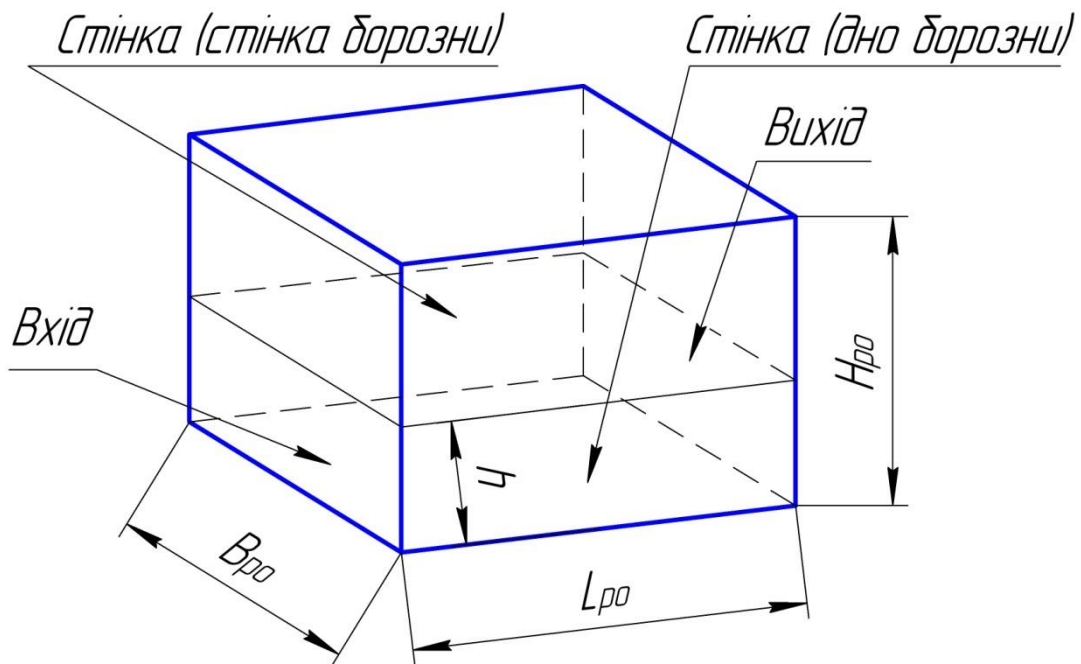


Рисунок 2.12 – Розрахункова область моделі процесу обробітку ґрунту

Розміри паралелепіпеда визначаються в залежності від розмірів зони розподілу деформації в ґрунті від робочого органу з деяким запасом. При обробці ґрунту відбувається її сколювання під деяким кутом θ щодо вертикальної площини. Зі схеми видно (рисунок 2.8), що кут зсуву θ щодо вертикальної площини визначається виразом

$$\theta = 45^{\circ} + 0,5\varphi$$

де φ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

Звідси кут зсуву відносно напрямку руху $\psi = 90^{\circ} - \theta$, тобто $\psi = 45^{\circ} - 0,5\varphi$.

З огляду на, те, що зона відколу ґрунту робочим органом поширюється під кутом $\psi = 45^{\circ} - 0,5\varphi$, є можливість розрахувати мінімальну відстань L_{zp} від носка робочого органу до стінок розрахункової області (паралелепіпеда) в поздовжньо-вертикальній площині

$$L_{zp} > \frac{a}{\operatorname{tg}\psi} = \frac{a}{\operatorname{tg}(45^{\circ} + 0,5\varphi)} \quad (2.61)$$

де a – глибина ходу робочого органу, м.

З урахуванням певного коефіцієнта запасу, що враховує неоднорідність і анізотропність ґрунтового середовища в поздовжній площині, а також роль динамічного чинника тиску ґрунтового пласта довжина розрахункової області повинна бути

$$L_{po} = L + 2k_3L_{zp} \quad (2.62)$$

де L – геометричний розмір робочого органу, м;

$k_3 = 1,5-2$ - коефіцієнт запасу.

У поздовжній площині ширина розрахункової області B_{po} (рисунок 2.12) повинна бути встановлена з урахуванням ширини робочого органу B_p або всього знаряддя (а якщо йдеться про взаємодію всього знаряддя)

$$B_{po}B_p + 2 \frac{a}{\operatorname{tg}(45^{\circ} + 0,5\varphi)} \quad (2.63)$$

Висота розрахункової області H_{po} повинна бути трохи більше розміру робочого органу h_p по вертикалі. Вона залежить від глибини обробки і не повинна впливати на зону поширення деформації.

Після визначення геометричних розмірів розрахункової області можна на її кордонах і всередині можна встановити початкові і граничні умови.

Як було встановлено процес взаємодії робочих органів і рушіїв при описі його методами динаміки суцільних середовищ ставитися до зовнішніх завдань. Тоді згідно з принципом звернення потоків рухається робочий орган можна вважати нерухомим, а ґрунтову середу, що рухається зі швидкістю робочого органу. Тоді початкова швидкість ґрунтового середовища

$$V_{nc} = V_0 \quad (2.64)$$

що є граничною умовою входу середовища в розрахункову область.

Гранична умова при русі робочого органу в середовищі повинно виконуватися також в області контакту з його поверхнею (рисунок 2.11). Вони можуть бути виражені з умови непроникності тіла (умова твердотільних). Ця умова полягає в тому, що в будь-якій точці, що належить кордоні тіла, перпендикулярна до поверхні складова швидкості V_t повинна дорівнювати нулю (рисунок 2.11):

$$\left. \frac{\partial V_t}{\partial z} \right|_{z = z_t} = 0 \quad (2.65)$$

Гранична умова розділу середовища і повітря визначається рівністю нулю тиску на кордоні їх поділу ($p_{zp} = 0$).

Так як межа розрахункової області встановлена за межами зони деформації середовища робочим органом, можна припустити, що обурення на кордонах області не відбувається, тому на кордонах «вхід» і «вихід» (рисунок 2.4) діє тільки тиск ваги ґрунтового пласта $p_{гсм}$, а тиск з боку робочого органу дорівнює нулю. У зв'язку з цим на кордонах «вхід» і «вихід» повинні дотримуватися умови

$$\rho_{вх} = 0, \rho_{вих} = 0$$

Для завдання в математичній моделі обертання дискового ножа розглянемо схему його взаємодії з ґрунтом (рисунок 2.13).

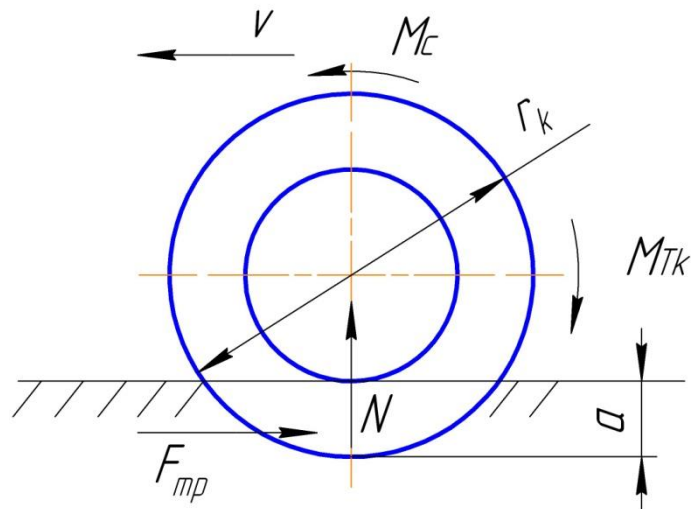


Рисунок 2.13 – Схема робочого процесу дискового ножа

Умова обертання дискового ножа представляється у вигляді

$$M_c > M_{Tk} \quad (2.66)$$

де M_c – момент опору, Н·м;

M_{Tk} – момент тертя кочення, Н·м.

Момент тертя кочення визначається за формулою

$$M_{Tk} = \delta \times N \quad (2.67)$$

де N – реакція опори, Н;

δ – коефіцієнт тертя кочення

Момент опору визначається як

$$M_c = r_k \times N \times f \quad (2.68)$$

де r_k – радіус диска, м;

f – коефіцієнт тертя зчеплення.

При реалізації математичної моделі геометричні параметри робочого органу визначаються при побудові в CAD-системі, що підтримує систему твердотільного побудови, а гранична умова непроникності («стінка») на його поверхні встановлюється після імпортування геометрії в розрахункову область.

В якості вихідних умов моделі необхідно задати властивості ґрунтового середовища – щільність ρ_{nc} і в'язкість μ_{nc} . Як показали експерименти, проведені Мударісовим С.Г. [10], щільність середовища

повинна бути дорівнює щільності ґрунту ρ_n в реальних умовах ($\rho_{nc} = \rho_n$). В'язкість ґрунтового середовища можна визначити в залежності від механічного складу і вологості по номограмам, запропонованим Фархутдінова І.М. [15].

З огляду на початкові і граничні умови, можна вирішити основне рівняння динаміки середовища. Граничні умови при вирішенні завдання взаємодії робочих органів з ґрунтом є описом геометричних параметрів робочого органу і технологічних параметрів процесу обробки, початкові умови – описом властивостей середовища.

В результаті цього з'являється можливість обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів посівної секції.

Пропонована нами посівна секція є комбінованою і складається з робочих органів різного типу. При цьому диск, встановлений перед сошником, при взаємодії з ґрунтової середовищем повинен обертатися за рахунок сили тертя виникає між робочою поверхнею і ґрунтом.

2.6. Результати теоретичного дослідження математичної моделі по обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів посівної секції

Основні конструктивно-технологічні параметри посівної секції були обґрунтовані на основі розробленої математичної моделі, що в подальшому потребують перевірки безпосередньо при проведенні польових випробувань. З графіку на рисунку 2.14 видно, що тяговий опір із зменшенням відстані між робочими органами збільшується. Це пояснюється тим, що при зближенні робочих органів зона деформації ґрунту анкерним сошником поширюється до диска і відбувається нагромадження грудок між ними. При збільшенні відстані між робочими органами понад 65 см тяговий опір істотно не змінюється і набуває постійного значення. Подальше збільшення відстані не доцільно, так як зростатиме металоємність конструкції, що призведе до збільшення тягового опору.

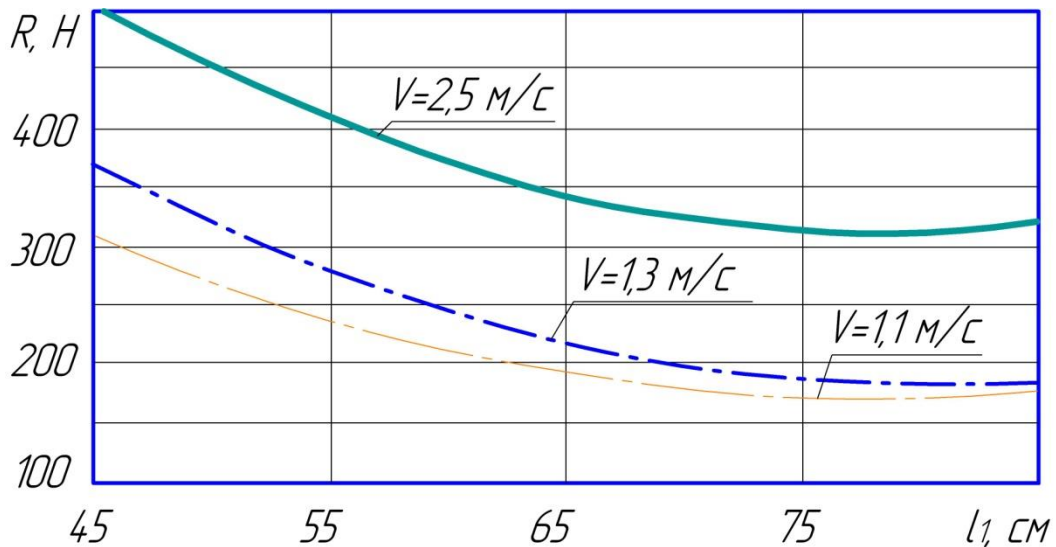


Рисунок 2.14—Залежність тягового опору R посівної секції від відстані l_1 між диском і сошником при різних швидкостях руху V (глибина ходу сошника $a_2 = 8$ см)

Нами була висунута гіпотеза про те, що попереднє утворення щілини у ґрунті реактивним робочим органом-диском перед анкерним сошником дозволить знизити загальний тяговий опір і вплив на ґрунт посівної секції. На рисунку 2.15 представлені отримані залежності.

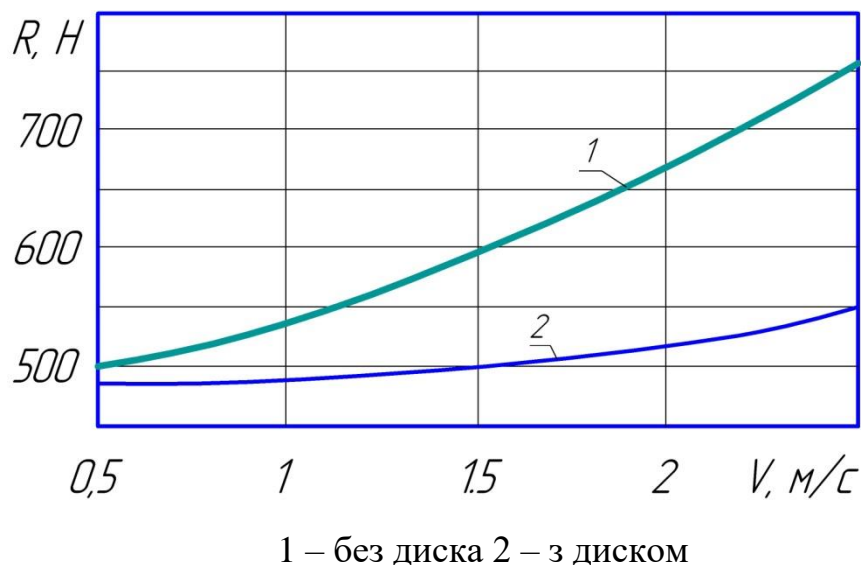
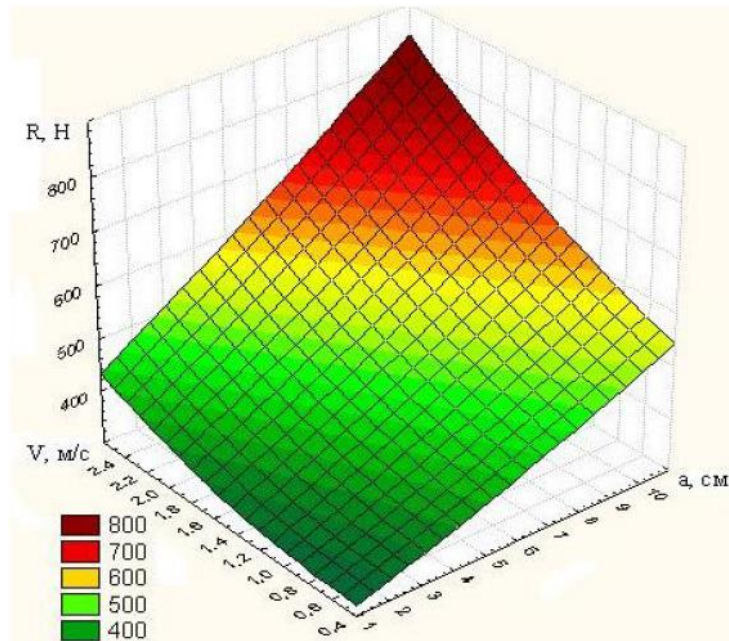


Рисунок 2.15 – Залежність тягового опору посівної секції від швидкості при глибині ходу сошника 8 см

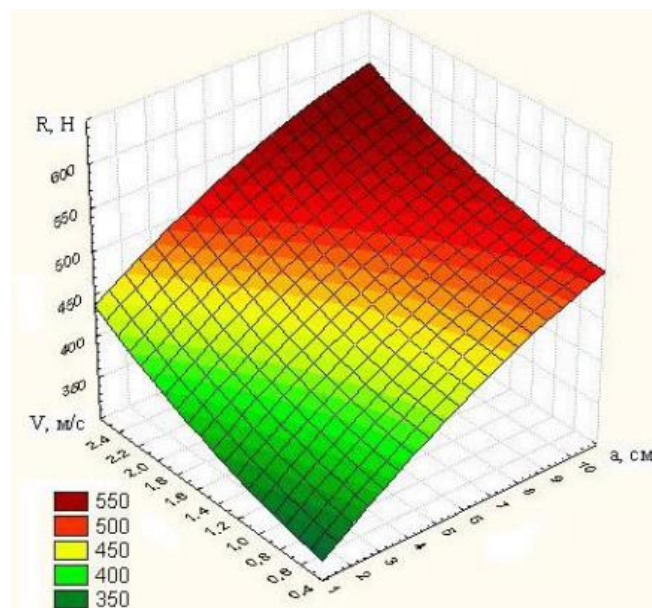
З графіка (рисунок 2.15) видно, що при установці диска тяговий опір посівної секції знижується незалежно від глибини ходу сошника. Причому, з

збільшенням швидкості руху процентне співвідношення зниження тягового опору збільшується. На швидкості 0,5 м/с при використанні диска тяговий опір посівної секції нижче, ніж без диска на 2,02–2,4 %, а на при збільшенні швидкості до 2,5 м/с – на 22,7 – 27,5 %.

На рисунку 2.16 представлені залежності тягового опору від спільного впливу швидкості руху і глибини ходу сошників.



а)

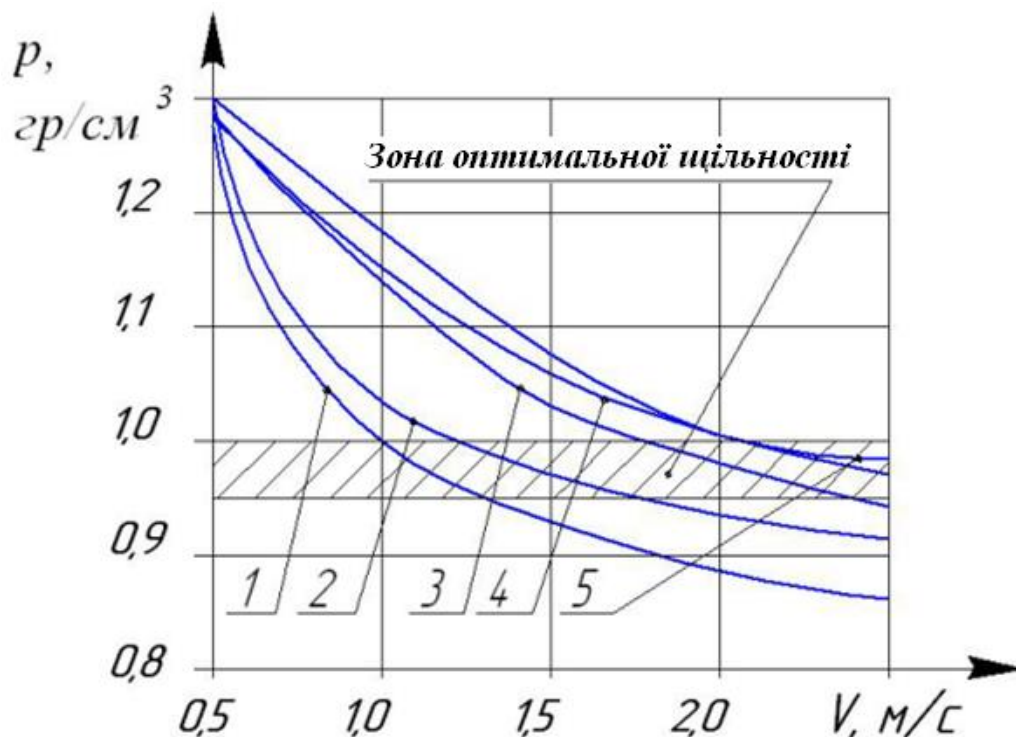


б)

Рисунок 2.16 – Залежності тягового опору посівної секції від швидкості і глибини обробітку без диска (а), з диском (б)

З рисунка 2.16 видно, що зі збільшенням глибини ходу і швидкості руху посівної секції тяговий опір зростає, що відповідає результатам моделювання і не суперечить даним отриманим іншими дослідниками.

На появу дружніх сходів і їх подальший розвиток впливає щільність ґрунту над насінням. Розроблена нами конструкція дозволяє регулювати щільність ґрунту зусиллям пружини. На рисунку 2.17 представлені графіки залежності щільності ґрунту над насінням в залежності від зусилля притискання пружини котка. З графіка видно, що зі збільшенням швидкості руху щільність ґрунту після проходу котка знижується, а зі збільшенням зусилля притискної пружини – збільшується.



1– $A_{\text{пруж}}=133,4$ Н, 2– $A_{\text{пруж}}=291,4$ Н, 3– $A_{\text{пруж}}=403,2$ Н, 4– $A_{\text{пруж}}=647,1$ Н,
5– $A_{\text{пруж}}=841,1$ Н

Рисунок 2.17 – Залежність щільності ґрунту над насінням від зусилля притискної пружини котка

За отриманою залежністю побудована номограма для вибору стиснення пружини для отримання необхідної щільності ґрунту над насінням при певній швидкості руху агрегату (рисунок 2.18).

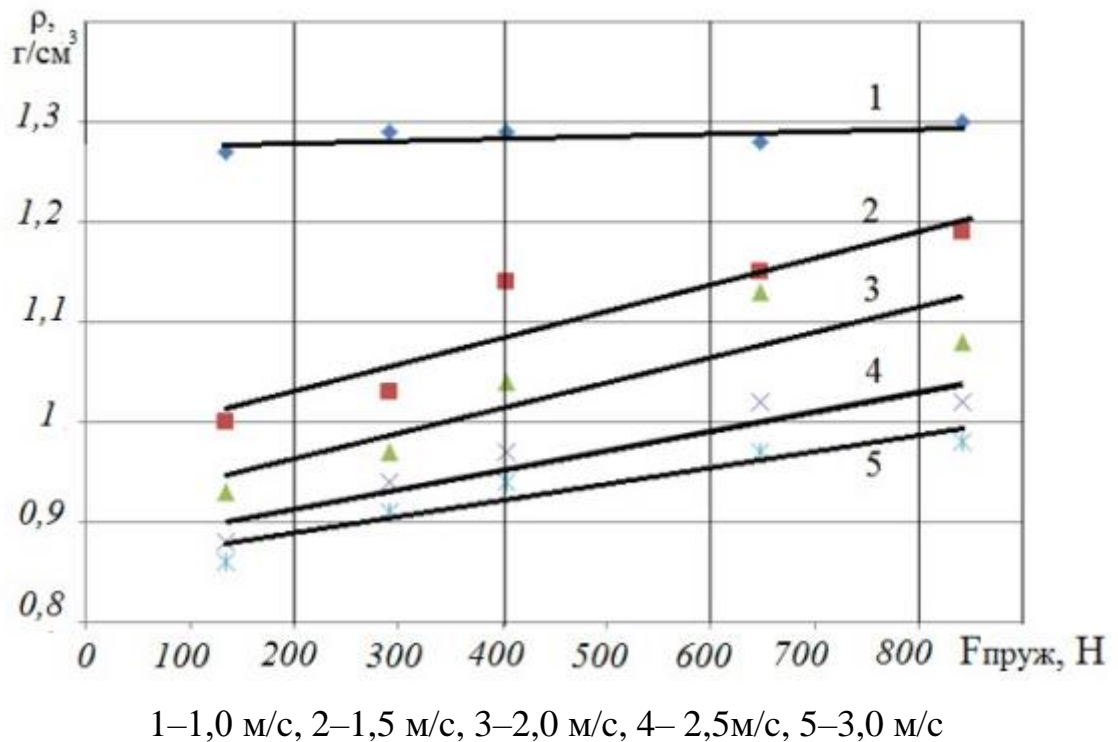


Рисунок 2.18 – Номограма вибору стиснення пружини котка для отримання необхідної щільності ґрунту над насінням

Згідно з відомими даними оптимальна щільність ґрунту над насінням для пшениці повинна бути в межах 0,95 – 1,1 г/см³. Для отримання щільності ґрунту в зазначених межах робоча швидкість руху посівного агрегату повинна бути в межах 1,5–2,0 м/с (5,4–7,2 км/год). Оптимальна щільність ґрунту в цьому діапазоні швидкостей виходить незалежно від стиснення пружини. Тому при таких швидкостях притискну пружину можна залишити в середньому положенні. При збільшені швидкості руху більш 2 м/с для отримання оптимальної щільності ґрунту необхідно підтискати пружину відповідно до номограми. При швидкостях менше 1,5 м/с працювати не рекомендується.

2.7. Висновки

1. Для реалізації запропонованої схеми посіву, зниження впливу робочих органів на ґрунт, формування щільного насінневого ложа і ущільненого шару ґрунту над насінням нами пропонується конструктивна схема посівної секції, що складається з диска, анкерного сошника та важкого котка.

Отримано теоретичні залежності, що дозволяють обґрунтувати основні конструктивно-технологічні параметри посівної секції. На основі яких встановлені глибина висіву насіння $a_2 = 8\text{--}12$ см, глибина ходу диска $a_1 = 4\text{--}6$ см, діаметр дискового ножа $D = 240\text{--}480$ мм, відстань між диском і анкерним сошником $l_2 = 500\text{--}800$ мм, діаметр адресного прикочувального котка $D_2 = 450$ мм, ширина його обідка $b_1 = 25$ мм.

2. Розроблено математичну модель процесу формування посівного ложа анкерним сошником і прикочуючим котком, що дозволяє оцінити щільність ґрунту дна борозни і ґрунту над насінням і прогнозувати відповідність посівного ложа пропонованим вимогам. Встановлено, що процесом формування посівного ложа можна управляти за рахунок зміни стиснення пружини гвинтовим механізмом паралелограмного механізму посівної секції. Отримані формули дозволяють обґрунтувати номограми настройки пружин паралелограмного механізму посівної секції та адресного важкого котка залежно від типу і стану ґрунту (вологості) для отримання необхідної щільності ґрунту дна борозни і над насінням.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИКА РЕАЛІЗАЦІЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

3.1. Використання програмного комплексу FlowVision для вирішення складних інженерних задач

Програмний комплекс FlowVision призначений для моделювання тривимірних течій рідини й газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Моделюємі течії містять у собі стаціонарні й нестаціонарні, стискаємі, слабостикаємі й нестискаємі потоки рідини й газу. Використання різних моделей турбулентності й адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини, включаючи течії із сильним закрученням, горінням, течії з вільною поверхнею.

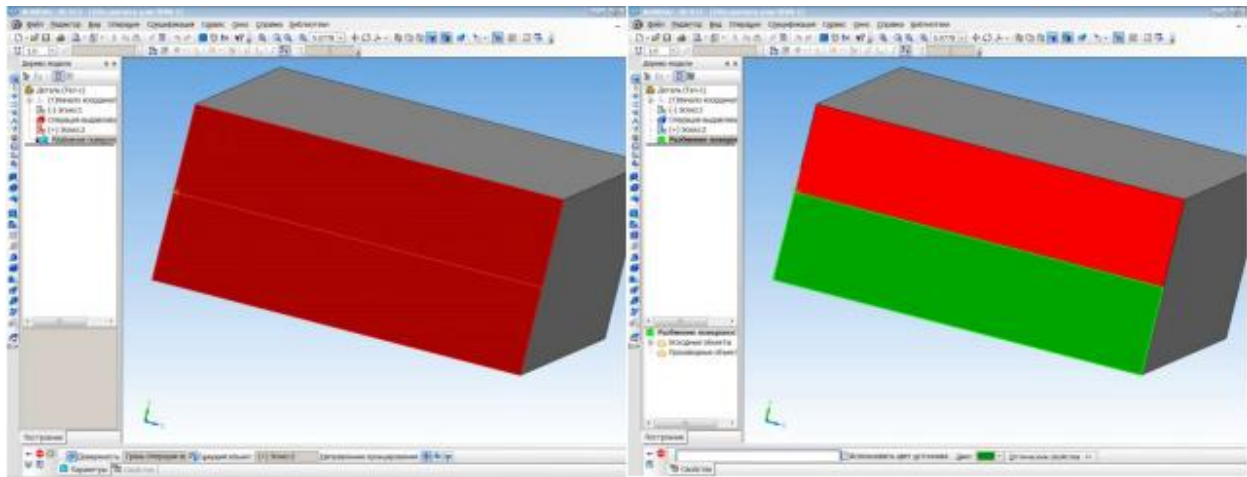
FlowVision заснований на кінцево-об'ємному методі рішення рівнянь гідродинаміки й використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подібненням. Ця технологія дозволяє імпортувати геометрію із систем САПР і обмінюватися інформацією із системами кінцево-елементного аналізу. Використання цієї технології дозволило вирішити проблему автоматичної генерації сітки— щоб згенерувати сітку, досить задати всього лише кілька параметрів, після чого сітка автоматично генерується для розрахункової області, що має геометрію будь-якого ступеня складності.

Такі програмні комплекси дають змогу проводити аналіз напружено - деформованого стану конструкції її в цілому і окремих її елементів, зокрема, розраховувати деформації від дії статичних та динамічних навантажень, розв'язувати задачі теплопередачі. Результатами розрахунків є тривимірні кольорові епюри розподілу максимальних еквівалентних напружень, деформацій, температури, відповідно до шкали значень, на контурах конструкції розрахованих за гіпотезою енергії формозміни Фон Мізеса.

3.2. Реалізації математичної моделі посівної секції у програмному комплексі FlowVision

Отриману систему рівнянь динаміки ґрунтового середовища (2.43) для задач технологічного впливу ґрунтообробних органів на ґрунт можна також вирішувати в програмному комплексі FlowVision.

Спроекований в реальному масштабі робочий орган імпортується в середовище Flow Vision, де заздалегідь визначається область розрахунку (рисунок 3.1). Технологічні параметри, такі як глибина обробки, кути атаки і нахилу, встановлюються при імпортуванні робочого органу.



а)

б)

Рисунок 3.1 – Проектування геометрії області розрахунку в КОМПАС:

а) розбиття поверхні; б) фарбування поверхонь

Порядок реалізації математичної моделі в програмному комплексі Flow Vision наступний:

1. Створення області розрахунку ("геометрії").

У КОМПАС необхідно створити паралелепіпед з розмірами $L_{po} \times B_{po} \times H_{po}$, визначеними за формулами (2.15, 2.16), і зберегти у визначеному форматі. У нашому випадку визначені наступні розміри паралелепіпеда $L_{po} \times B_{po} \times H_{po} = 3000 \times 2000 \times 1000$ мм. При цьому грань паралелепіпеда, де передбачається вхід середовища в розрахункову область (рисунок 2.4), необхідно розбити по кольорам. Це потрібно для того, щоб

одна поверхня відрізнялася від іншої, і її можна було виділити в FlowVision для визначення граничної умови.

Для передачі кольорів граней в FlowVision спроектований паралелепіпед необхідно зберегти в форматі *.wrl.

Для створення моделі необхідно відкрити спроектований паралелепіпед в FlowVision. Тривимірною моделлю робочих органів проектується в програмі КОМПАС 3D за реальними конструктивними параметрами в масштабі 1:1 (рисунок 3.2). Створена модель зберігається в форматі * STL.

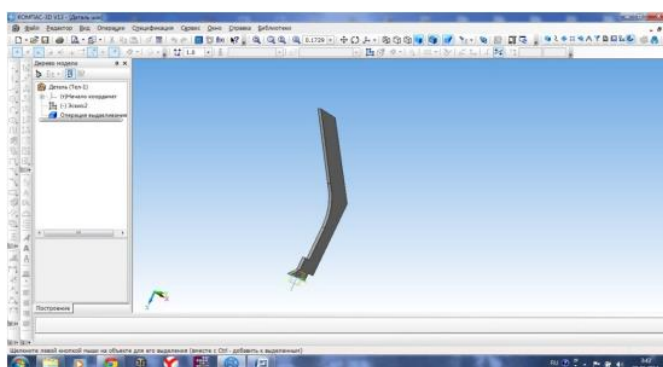


Рисунок 3.1 – Тривимірною моделлю анкерного сошника

2. Завдання математичної моделі.

В даному випадку ми маємо справу з поверхню вільної поверхні, яка описується в FlowVision моделлю «Свободная поверхность». У цьому ж вікні вибирається розрахункове рівняння: Швидкість і Относ. об'єм рідини в ячійке, що означає - будуть вирішуватися рівняння Нав'є-Стокса і рівняння переносу функції заповнення (рисунок 3.3).

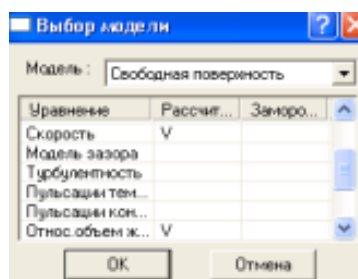


Рисунок 3.3 – Вибір моделі і розрахованих параметрів

3. Задання граничних умов.

У відповідності з обгрунтованими граничними умовами (п.2.2) на гранях розрахункової області необхідно задати наступні параметри

(рисунок 3.3):

1) На границі 1 – гранична умова входу з нормальною швидкістю $V=2\text{м/с}$ (Вход/Выход)→(Нормальный вход/выход). Швидкість V повина бути рівна швидкості робочого органу.

2) На границі 2 – гранична умова стінки (Стенка).

3) На границях 4 – гранична умова симетрії (Симметрия)→ (Стенка с проскальзыванием). Дану граничну умову необхідно установити на всіх гранях паралелопіпеда крім граней «Вход», «Выход» і «Стенка».

4) На границі 5 – гранична умова вільного виходу (Свободный выход)→(Нулевое давление/выход).

Гранична умова на поверхні розділу середовищ не встановлюється, тому вільна поверхня розраховується за окремим рівняння переносу функції заповнення.

Щоб поставити граничну умову на поверхні робочого органу (границя 3), необхідно помістити його в розрахункову область з допомогою фільтра рухомого тіла.

4. Завдання робочого органу за допомогою фільтра.

У FlowVision рухливі тіла задаються за допомогою фільтрів. Фільтр (Движущееся тело) утворюється при імпортуванні геометричного файлу. Для того, щоб імпортувати геометрію необхідно виділити папку (Фільтри), натиснути праву кнопку миші і вибрати пункт (Загрузить) в контекстному меню. Далі в діалоговому вікні відкриття файлу у віконці «Тип файла» слід вибрати тип файлу, з якого буде імпортуватися фільтр (рисунок 3.4).

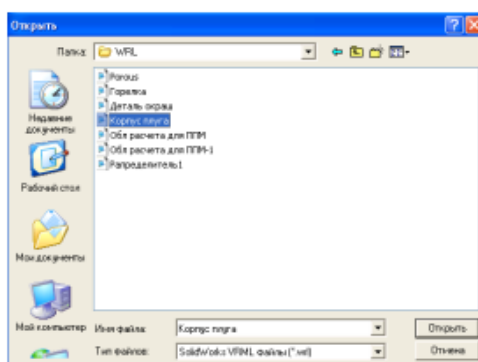


Рисунок 3.4 – Вікно вибору файла

При завантаженні файлу геометрії у FlowVision вказується коефіцієнт масштабування геометрії. Зазвичай в КОМПАС, геометрія (рабочего органа) створюється в міліметрах, тому коефіцієнт масштабування рівний 0.001 (рисунок 3.5).

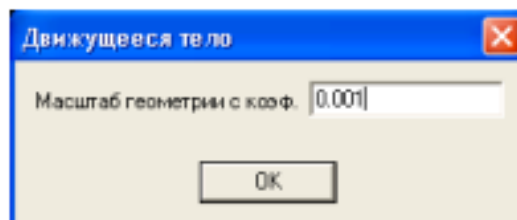
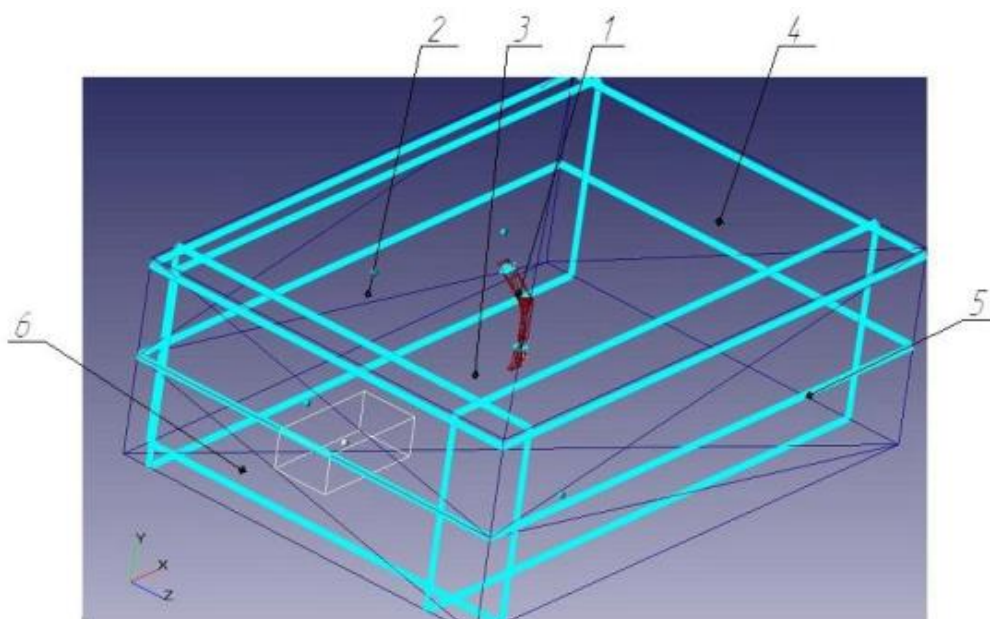


Рисунок 3.5 – Вікно вибору масштабу імпортованої геометрії

Після завантаження файлу геометрії буде доступно вікно властивостей фільтра (рисунок 3.6).



1– вхід, 2 – вихід, 3 – стінка, 4 – тіло, 5 – симетрія

Рисунок 3.6 – Граничні умови

На сторінці властивостей (Масса) задаються параметри, що характеризують інерційні властивості тіла, що рухається:

- «Масса» - маса рабочего органа в кілограмах.
- «Момент инерции» - тензор моментів інерції, щодо вісей в системі координат пов'язаної з тілом.

Всі ці параметри повинні відповідати параметрам рабочего органа.

На сторінці властивостей (Центр) задаються координати центру інерції:

- «Центр інерції» - координати центру інерції в системі координат пов'язаної з тілом.

- «Использовать центр інерції» - якщо відзначити це віконце, то координати центру обертання будуть збігатися з координатами центру інерції (Центра масс) робочого органу.

Координати центру інерції потрібні для визначення моментів опору щодо осей координат M_x , M_y і M_z . За замовчуванням в качестве центру інерції буде використовуватися геометричний центр мас тіла.

При проектуванні робочих органів ґрунтообробних машин потрібно знати моменти опору в місцях кріплення стійок до рами знаряддя. по-цього на сторінці властивостей Центр необхідно вручну встановити координати точки кріплення стійки.

На сторінці властивостей (Движение) задаються параметри поступального руху тіла.

Для пасивних робочих органів (сошника) рух не установлюється.

На сторінці властивостей (Вращение) задаються параметри обертального руху тіла:

Hydro - якщо вікно відзначено, то значення відповідного компонента кутової швидкості визначається автоматично, виходячи з динамічних сил і сили тяжіння, що діють на тіло;

W_{ini} [1/c] - значення компонент кутової швидкості в абсолютній системі координат;

M [Н * м] - значення моментів, що діють на тіло.

Обертання за рахунок дії динамічних сил і моментів необхідно встановлювати для диска і важкого котка.

На сторінці властивостей «Первоначальное месторасположение» задається початкове положення робочого органу (рисунок 3.7).

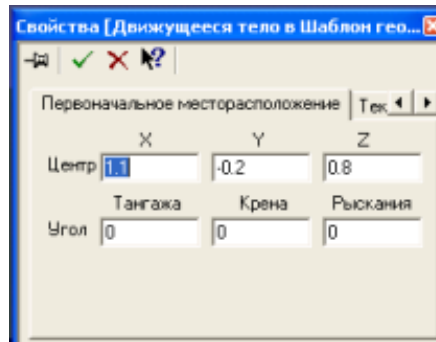


Рисунок 3.7 – Установка начального положения рабочего органа в расчетной области

Підбираючи координати по осях X , Z робочий орган встановлюється у середню частину розрахункової області, а по координаті осі Y - необхідну глибину обробки. Координата встановлюється по центру геометрії, встановленого при проектуванні в КОМПАС.

Для установки граничної умови на поверхні робочого органу (рисунок 3.8) на сторінці властивостей (Геометрия) у вікні (Граничное условие) вибирається потрібна гранична умова зі списку (гранична умова 3). В якості граничної умови найбільш підходящою є умова «Стенка→Стенка с проскальзыванием».

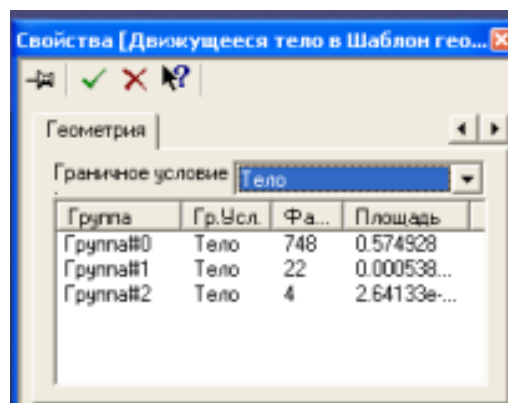


Рисунок 3.8 – Установка граничной условия на поверхности рабочего органа

5. Завдання параметрів методів розрахунку і фізичних параметрів.

В папці «Физические параметры → Опорные значения» необхідно задати значення температури і тиску, щодо яких в подальшому будуть відраховуватися ці величини.

В папці «Физические параметры → Начальные значения» необхідно задати початкове значення швидкості середовища по кордоні вхід (в цьому прикладі 2 м/с по осі X), швидкість = 2м/с.

В папці «Физические параметры → Параметры модели → Гидростатика» задається щільність ґрунтового середовища і висота стовпа ґрунту, в обчисленні гідростатичного тиску. Як рівня рідини задається висота, присутня в рівнянні Нав'є-Стокса в розрахунку гідростатичного тиску. Висота задається по осі Y, в напрямку якої діє вектор сили тяжіння, по інших напрямках задаються значення -1.

Спочатку встановлюємо «Плотность» = 1400 кг/м³, «Y рівень рідини» = 0,5 м, тому що при випробуванні ґрунтообробних машин щільність ґрунту 1400 кг/м³ є стандартизованим значенням, а рівень ґрунтового середовища на вході в паралелепіпед 500 мм (рисунок 3.9).

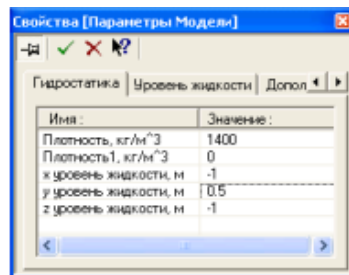


Рисунок 3.9– Вікно установки щільності і рівня ґрунтового середовища

В папці «Физические параметры → Параметры модели →Уровень жидкости» задається початковий рівень середовища, відлічуваний від нижньої границі (по кожному напрямку), причому передбачається, що вільна поверхню перпендикулярна одній з координатних осей (рисунок 3.10). В нашому випадку вільна поверхня перпендикулярна осі Y, тому «у нач. уровень жидкости» = 0,5 м.

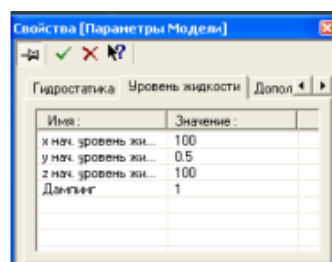


Рисунок 3.10 – Вікно установки початкового рівня середовища

В папці «Физические параметры → Вещество» необхідно задати щільність і в'язкість ґрунтового середовища (рисунки 3.10, 3.11). В'язкість ґрунтового середовища встановлюється з номограми, розроблену Фархутдіновим І.М. [25]. Відповідно до цієї номограми в'язкість середовища встановлюється в залежності від вологості реального ґрунту.

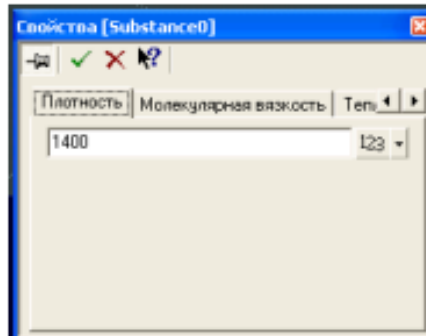


Рисунок 3.11 – Вікно установки щільності і в'язкості ґрунтового середовища

Завдання початкової розрахункової сітки.

Спочатку ставимо рівномірну розрахункову сітку, потім вручну ущільнюємо її в області робочого органу (рисунки 3.10, 3.11).

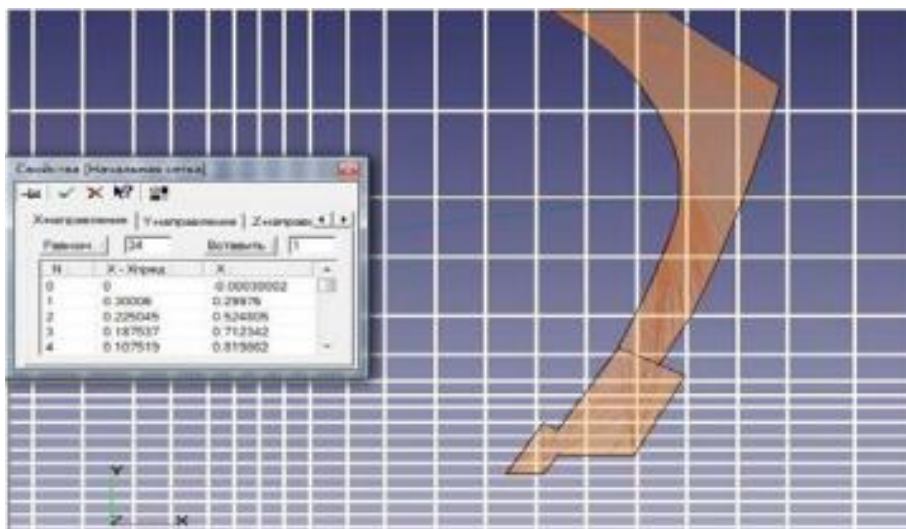


Рисунок 3.12 – Установка початкової сітки

6. Запуск варіанта на проведення розрахунку.

Для початку розрахунку необхідно натиснути одну кнопку «Построить расчетную сетку и начать процесс расчета». Далі розрахунок проводиться без участі користувача.

7. Візуалізація результатів розрахунку.

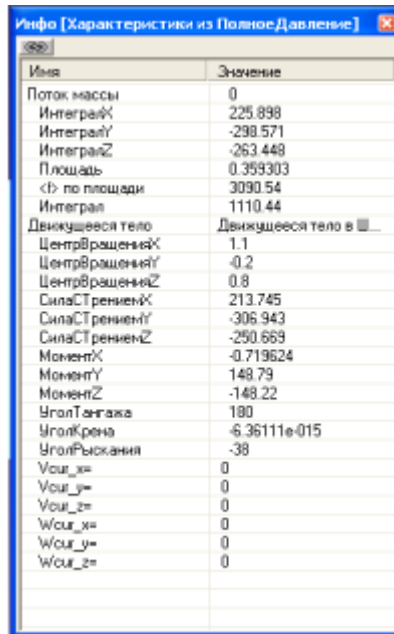
Основними параметрами для задач обробки ґрунту є сили, діючі на робочий орган. Подивитися ці характеристики можна в шарі «Характеристики» для повного тиску «ГдСтДавление», створеному на поверхні робочого органу. Для цього створюємо супергрупу на граничні умові 3.

Для виведення розрахункових параметрів на екран необхідно відкрити інформаційні вікно для вибраного об'єкта для створеного шару «Характеристика из Полное Давление». Вікно «Инфо» для шару характеристик на супергрупі містить параметри (рисунок 3.13):

- в стрічках (Интеграл X), (Интеграл Y), (Интегра Z) – x, y, z компоненти сили, діючих на робочий орган;
- в стрічках (СилаСТрениемX), (СилаСТрениемY), (СилаСТрениемZ) – x, y, z компоненти сили, діючих на об'єкт з урахуванням сили тертя;
- в стрічках (МоментX), (МоментY), (МоментZ) – x, y, z компоненти момента сил M, діючих на робочий орган;
- в стрічці (<f> по площади) – середня по площі величина скалярної змінної - тиску, $f_s = \frac{1}{S} \int f ds$.

Крім силових характеристик на основі розробленої моделі можна встановити характер деформації і переміщення ґрунту, розподіл тиску на поверхні робочого органу.

Для візуалізації поверхні ґрунту при її деформації робочим органом (рисунок 3.14) використовується шар «Изоповерхность», який буде в трьохмірному просторі ізоповерхні скалярної величини як набір непрозорих або напівпрозорих підсвідчених фасеток. Для побудови ізоповерхні необхідно в папці постпроцесора нажати правою клавішею миші на об'єкті «Все пространство», вибрати команду «Создать слой», у вікні, що з'явилося вибрати спосіб отрисовки «Метод – Изоповерхность» по змінній «ОтнОбъемЖидкВЯчейке».



Имя	Значение
Поток массы	0
ИнтегралX	225.898
ИнтегралY	-298.571
ИнтегралZ	-263.448
Площадь	0.359303
<f> по площади	3090.54
Интеграл	1110.44
Движущееся тело	Движущееся тело в []
ЦентрВращенияX	1.1
ЦентрВращенияY	-0.2
ЦентрВращенияZ	0.8
СилаСР_рениемX	213.745
СилаСР_рениемY	-306.943
СилаСР_рениемZ	-250.669
МоментX	-0.719624
МоментY	148.79
МоментZ	-148.22
УголТангажа	180
УголРрена	-6.36111e-015
УголРыскания	-38
Vout_x	0
Vout_y	0
Vout_z	0
Wout_x	0
Wout_y	0
Wout_z	0

Рисунок 3.13 – Вікно інформації для шару «Характеристика из Полное Давление»

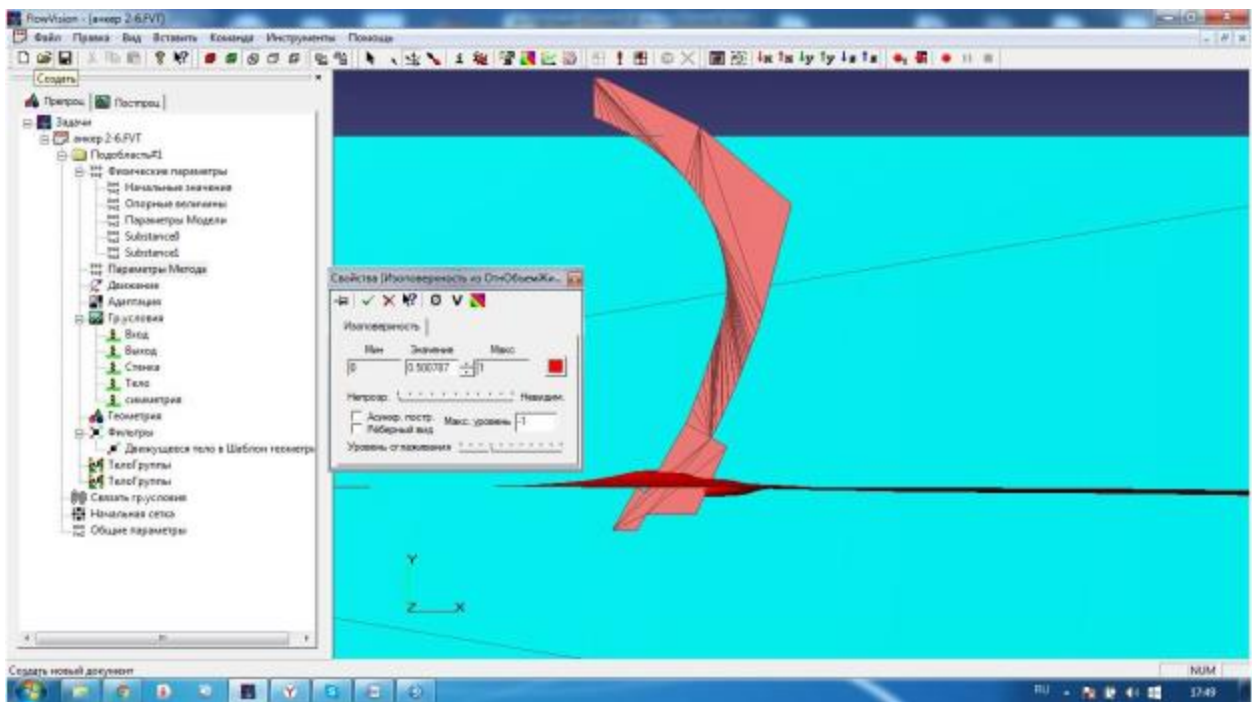


Рисунок 3.14 – Поверхня ґрунту при деформації робочим органом

Розподілення тиску зі сторони ґрунту на поверхню робочого органа віалізується шаром «Заливка» з переміною «Полное давление» по створеною раніше супергрупі «От тело группы» (рисунок 3.15), а тиск на ґрунт – на шар «Изолинии» із змінною «Давление» по горизонтальні чи

вертикальні площині (рисунок 3.16). Різниця тиску на робочому органі призводить до зміни сили тертя частин ґрунту на його поверхні, що у свою чергу впливають на знос робочих органів [30].

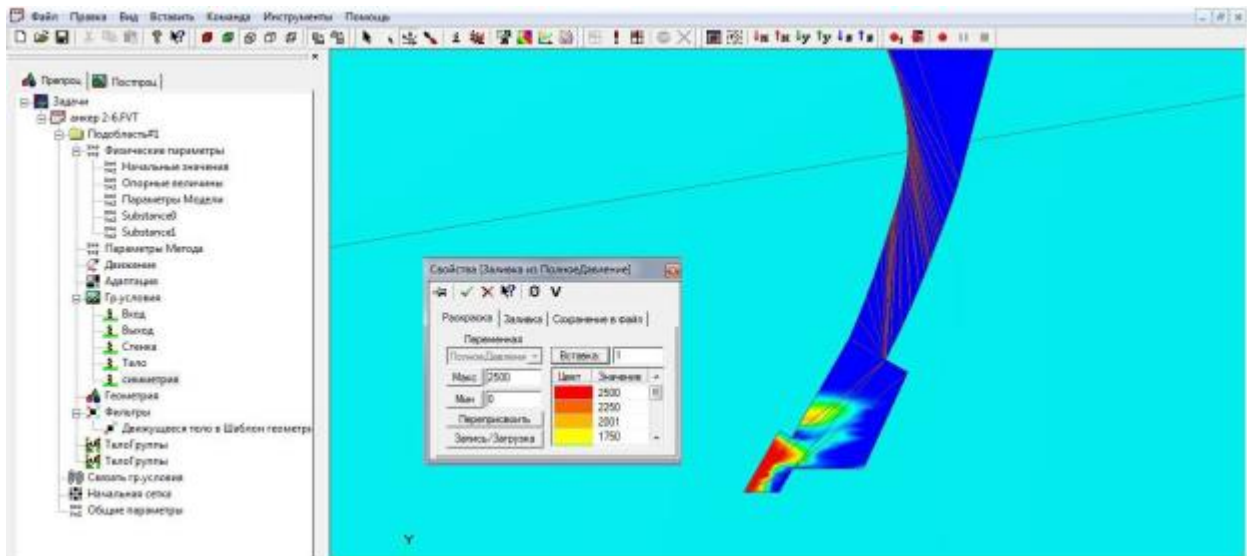


Рисунок 3.15 – Розподіл тиску по поверхні робочого органу

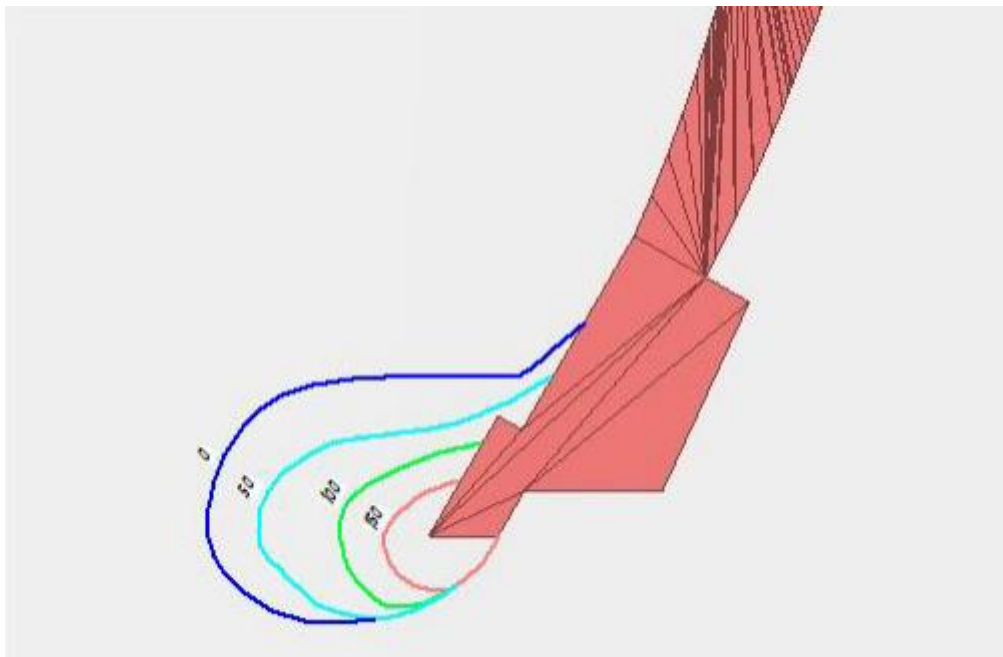


Рисунок 3.16 – Ізолінії тиску в вертикальній площині перед анкерним сошником

Візуалізація траєкторій руху ґрунтових частинок виконується по змінні «Скорість» використовуючи метод «Вспышки» і об'єкт «Все пространство» (рисунок 3.17).

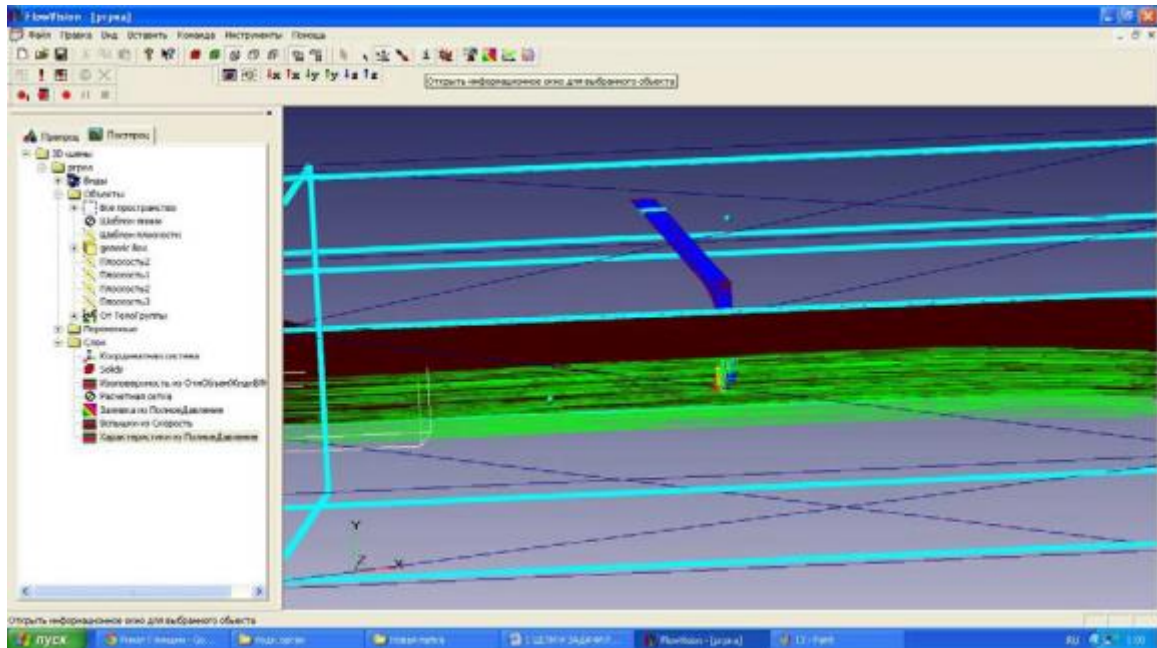


Рисунок 3.17 – Траекторії руху ґрунтових частинок

Траекторія руху ґрунтових частин по поверхні робочого органа можна отримати, створивши шар «Група частиц» змінної «Скорость» по об'єкту «От Тело Группы» (рисунок 3.18).

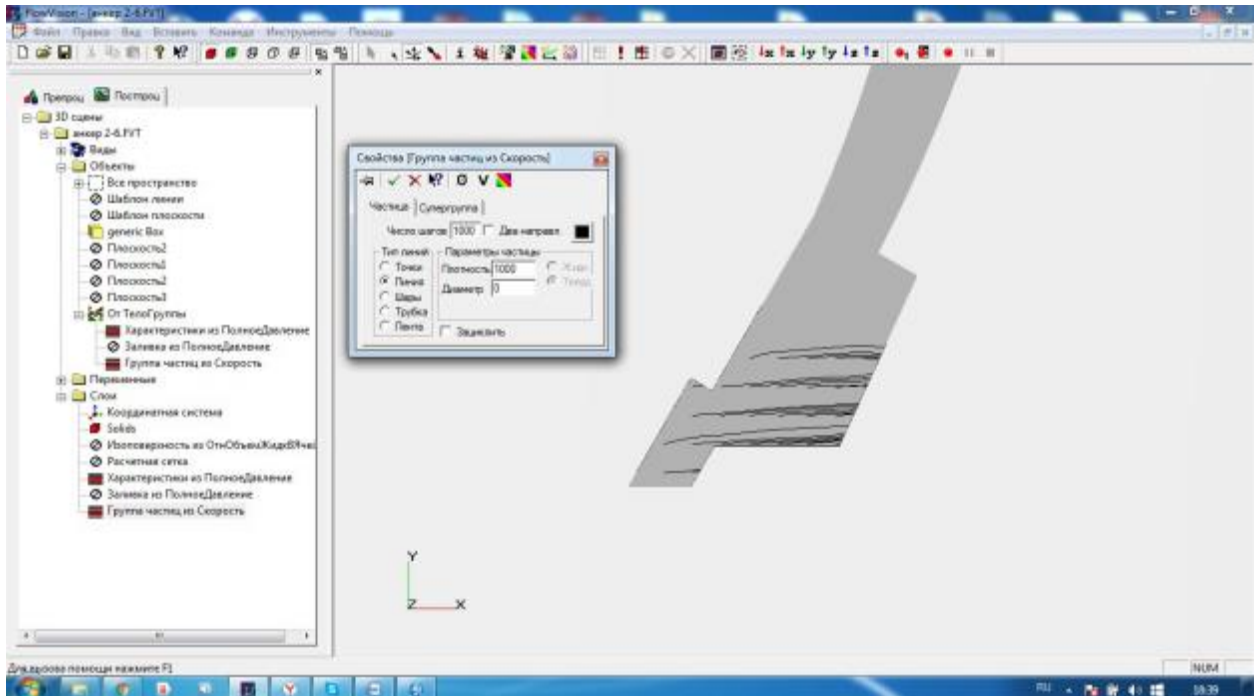


Рисунок 3.18 – Траекторії руху частинок по поверхні робочого органу

Чисельна реалізація математичної моделі у вигляді системи рівнянь динаміки ґрунтового середовища (2.30) з введенням нами

додаткового рівняння (2.29), що описує напружено деформований стан ґрунту, дозволяє отримати розподіл щільності (об'ємної маси) ґрунту в процесі деформації. На рисунку 3.19 представлено розподіл ліній рівних щільностей (ізостер) ґрунту в процесі взаємодії з сошником, отримана при реалізації розробленої моделі у Flow Vision. До обробки об'ємна маса ґрунту становила $1,2 \text{ г/см}^3$.

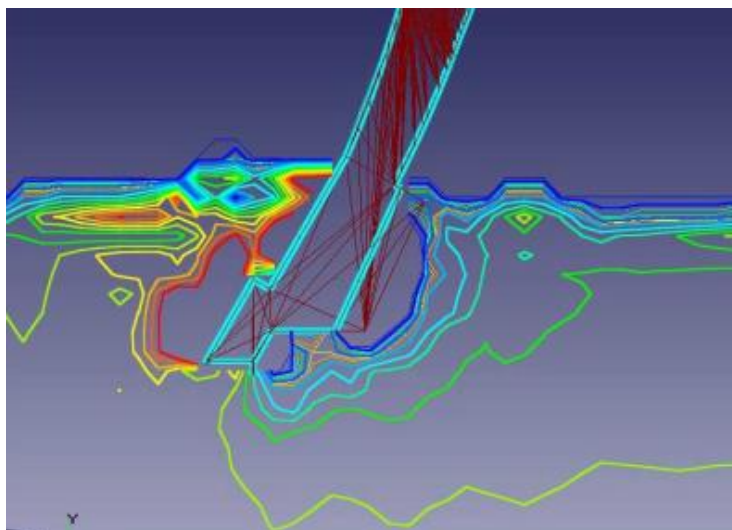


Рисунок 3.19 – Розподіл ізостер ґрунтового середовища при взаємодії з анкерним сошником

Розподіл ізостер показує, що в процесі взаємодії ґрунту з анкерним сошником в надсошниковій частині оброблюваного пласта відбувається утворення ядра і ущільнення на 20-25 %. Незначне ущільнення ґрунту (5-10 %) спостерігається і в верхніх горизонтах перед стійкою сошника. А подрібнення пласта, який поєднується зі зниженням об'ємної маси ґрунту, відбувається у верхній частині деформованої зони, де спостерігається зменшення об'ємної маси ґрунту на 10-20 %. У надсошниковій зоні проходить ущільнення ґрунту на 5-10 %, що веде до утворення посівного ложа.

Отримані характеристики дозволять розробити рекомендації по оптимізації конструктивно-технологічних параметрів посівної секції для отримання необхідних агротехнічних показників якості посіву і зниження енергоємності обробки ґрунту.

3.3. Висновок

Проведено модернізацію математичної моделі процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом на основі рівнянь динаміки суцільного середовища шляхом включення додаткового рівняння, що описує напружено-деформований стан ґрунту. Обґрунтовано початкові і граничні умови функціонування даної моделі для її чисельної реалізації в програмному комплексі FlowVision.

Розподіл ізостер показав, що в процесі взаємодії ґрунту з анкерним сошником в надсошниковій частині оброблюваного пласта відбувається утворення ядра і ущільнення на 20-25 %. Незначне ущільнення ґрунту (5-10 %) спостерігається і у верхніх горизонтах перед стійкою сошника. А подрібнення пласта, який поєднується зі зниженням об'ємної маси ґрунту, відбувається у верхній частині деформованої зони, де спостерігається зменшення об'ємної маси ґрунту на 10-20 %. У надсошниковій зоні проходить ущільнення ґрунту на 5-10 %, що веде до утворення посівного ложа.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено конструктивна схема секції для посіву насіння зернових культур по нульовій технології, що складається з диска, анкерного сошника і адресного важкого коток, що дозволяє закладати насіння в нижні вологі шари ґрунту, закривати їх шаром ґрунту необхідної товщини і прикривати. Отримані теоретичні залежності дозволили обґрунтувати основні конструктивно-технологічні параметри посівної секції - глибина ходу дискового ножа 4 – 6 см, глибина ходу анкерного сошника 8 – 12 см, діаметр дискового ножа 240 – 480 мм, відстань між дисковим ножом і сошником 500 – 800 мм, діаметр важкого коток 450 мм, ширина обідка котка 25 мм.

2. Розроблено математичні моделі процесу формування посівного ложа анкерним сошником і прикочуючим котком, що дозволяють оцінити щільності ґрунту на дні борозни і над насінням і прогнозувати відповідність насінневого ложа пропонованим вимогам. Внаслідок реалізації розробленої моделі встановлено, що мінімальний тяговий опір посівної секції виникає при куті установки долота на дно борозни $58 - 62^\circ$, при таких параметрах сошник дозволяє формувати дно борозни щільність ґрунту на 5 – 10 % більше ніж до обробітку.

3. Розроблено 3-D модель посівної секції за обґрунтованими конструктивно-технологічними параметрами. Встановлено відстань між анкерним сошником і диском $l_2 = 65$ см, при якому тяговий опір посівної секції мінімальний. Встановлено, що наявність диска перед анкерним сошником знижує тяговий опір посівної секції до 27,5 % і підвищує рівномірність ходу сошника на 25 %. Розроблена конструкція посівної секції дозволяє забезпечувати формування насінневого ложа щільністю ґрунту дна борозни $1,2-1,41$ г/см³ і щільністю ґрунту над насінням в межах $0,95-1,1$ г/см³, що відповідає висунутим вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В.В. Обґрунтування параметрів сошника машини для підживлення посівів озимих культур / В.В.Адамчук, В.Б.Онищенко, В.В.Ратушний//Механізація та електрифікація сільського господарства: між від. темат. наук. зб. – К., 1991. – Вип. 73. – С. 29-31.
2. Адамчук В.В. Актуальні аспекти розвитку механізації дослідних робіт в рослинництві / В.В.Адамчук, В.М.Булгаков, В.П.Горобей // Вісник аграрної науки. 2016. – № 10.
3. Войтюк, Д.Г. Сільськогосподарські машини / Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. та ін. – Київ: Каравела, 2004. – 580с.
4. Техника для ресурсосберегающего земледелия. Каталог продукции ООО «Союз-Спецтехника». URL: <http://www.soyuz-st.com/download/booklet.pdf> (дата звернення 25.11.2017).
5. Адамчук В. В. Точное земледелие: сущность и технические проблемы / В. В. Адамчук, В. К. Моисеенко // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 8. – С. 4–7.
6. Зернові сівалки ПАТ «Elvorti». URL: <http://www.elvorti.com/index.php?part=production&lang=ru#tab3> (дата звернення 25.09.2018).
7. Інструкції з експлуатації посівної техніки Great Plains. URL: <https://www.greatplainsmfg.com.ua/ru/node/2599> (дата звернення 25.09.2017).
8. Каталог продукции Amazone. GO for Innovation 2018. Agritechnica 2017. URL: <http://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=45644> (дата звернення 25.09.2018).
9. Каталог техники. Сеялки точного высева John Deere. URL: http://origin-www.deere.ua/uk_UA/docs/product/equipment/seeding/db_series/specs/1014608_Planters_RUS.pdf. (дата звернення 24.09.2018).
10. Пропашные сеялки KINZE. URL: https://ag-tng.com.ua/pdf/KINZE_PlanterBookUkraine.pdf. (дата звернення 25.10.2018).

11. Астахов В.С. Посевная техника: Анализ и перспективы развития / В.С.Астахов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1999. – №1. – С. 6-8.
12. Альт В. В. Концепция развития посевных машин / В. В. Альт, С. Г. Щукин, В.А. Вальков // Достижения Науки и Техники АПК. – 2008. – № 9. – С. 44–48.
13. Аніскевич Л. Система точного землеробства: ефективність і веління часу / Л. Аніскевич, Г. Гаврилюк, О. Ямков // Пропозиція. – 2000. – № 6. – С. 96–97.
14. Аніскевич Л. В. Система точного землеробства: [навчальний посібник] / Л. В. Аніскевич, М. О. Свірень, М. М. Коваленко, І. М. Косенко, С. Б. Орищенко. За ред. члена-кореспондента НААН України, д.т.н., проф., Заслуженого діяча науки і техніки України М.І. Черновола. – Кропивницький: видавець Лисенко В. Ф., 2016. – 104 с.
15. Бойко А.І. Дослідження зусиль, які діють на робочу частину наральникових сошників/А.І.Бойко, М.О.Свірень//З-к наук. праць Кіровоградського нац. техн. у-ту. – Кіровоград, 2006. – Вип. 17. – С. 3-14. – (сер. «Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація»).
16. Рудь А. В. Огляд і аналіз конструкцій сівалок для сівби зернових культур / А. В. Рудь, Ю. Ф. Павельчук, В. В. Нікітін // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2010. – Вип. 40(2). – С. 42-47. – URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2010_40\(2\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zmntz_2010_40(2)_9). (дата звернення 25.09.2018).
17. Булгаков В. Сучасний стан наукового забезпечення державної технічної політики країни у сільському господарстві / В. Булгаков // Техніка АПК. – 2008. – № 9–10. – С. 8–11.
18. Гевко Б. М. Технологічні основи проектування та виготовлення посівних машин : [монографія] / Б. М. Гевко, О. Л. Ляшук, Ю. Ф. Павельчук, В. М. Пришляк, І. І. Чвартацький, М. Л. Заяць,

- Р. І. Лотоцький. – Тернопіль : Вид. ТНТУ імені Івана Пулюя, 2014. – 238 с.
19. Булгаков В.М. Від класичних основ землеробської механіки до сільськогосподарських машин майбутнього// В.М.Булгаков, А.С.Заришняк, І.В.Головач/ Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2012. Вип. 96 – С.26-34.
20. Булгаков В.М. Вдосконалення конструкції комбінованого дводисково-анкерного сошника/ Вісник аграрної науки /В.М.Булгаков, В.П.Горобей// – Київ. «Вісник аграрної науки».2016. –№ 4.– С. 57-64.
21. Васильченко В. Сошники зернових сівалок: особливості будови та типорозміри /В.Васильченко, О.Ткаченко, Н.Воронцова//Агроном. – 2010. – № 4. – С. 140-146.
22. Визначення експлуатаційно-технологічних показників посівної техніки в умовах рядової експлуатації / К. Костенко, Г. Осьмак, О. Біліченко, В. Строкач //Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: зб. наук. праць УкрНДПВТ. – Дослідницьке, 2000. – Вип. 3(17). – С. 107-109.
23. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник/Д.Г.Войтюк, В.М.Барановський, В.М.Булгаков та інш.; за ред. Д.Г.Войтюка.- К.:Вища освіта, 2005. – 464с.
24. Заїка П. М. Результати польових випробувань вібраційно-дискового висівного апарату на сівбі дрібнонасіненних сільськогосподарських культур / П. М. Заїка, М. В. Бакум, Р. В. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – Вип. 39. – С. 48–53.
25. Клишин А. И. Высевающие устройства посевных машин / А.И. Клишин // Вестник Алтайского государственного агроуниверситета. – 2003. – № 4. – С.132–136.

26. Галич М.В. Оптимізація приводу висівних апаратів зернотукової сівалки СЗ-3,6А / М.В.Галич, Н.В.Матухно // Механізація та електрифікація сільського господарства: між від. темат. наук. зб. – Глеваха, 2004. – Вип. 88. – С. 231-236.
27. Гафаров А.А. Динамическая модель посевного агрегата с широкополосным сошником / А.А.Гафаров, Р.А.Махмудов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 12. – С. 17-18.
28. Горобей В.П. Впровадження енергозберігаючих технологій для вирощування зернових у фермерських господарствах/ В.П.Горобей, матеріали ХХІІ між нар. наук.-техн. конф. 21-23 травня 2014р. Глеваха, 2014. – С.66-68.
29. Горобей В.П. Дослідження тягового опру сошника культиваторного типу для розкидної сівби насіння / В.П.Горобей, В.А.Лузін, В.Ю.Москалевич / Механізація та електрифікація сільського господарства: між від. темат. наук. зб. – Глеваха, 2013. – Вип. 97. – С. 203-210.
30. Клочков А. В. Современная сельскохозяйственная техника для растениеводства: [пособие] / А. В. Клочков, В. А. Попов. – Горки. БСХА, 2009. – 172 с.
31. Коваль В. Я. Основные закономерности развития и методы совершенствования сельскохозяйственной техники / В. Я. Коваль // Збірник наукових праць Луганського сільськогосподарського інституту. – Луганськ: Видавництво ЛСГІ, 1998. – № 2 (4). – С. 23–29.
32. Горобей В.П. Дослідження дводискового комбінованого сошника для смугового висіву насіння /В.П.Горобей, В.А.Лузін//Вісник аграрно науки. –2010. – Спец.випуск, травень. – С.74 - 76.
33. Derkach O. Development of high accuracy of the copy soil system / O. Derkach, D. Makarenko, M. Velyka, O. Shapoval. // International Scientific Journal. – Mechanization in agriculture & Conserving of the resources. – Year LXIII, Issue 5/2017. — Sofia. – 2017. – P. 185-187.

34. Jahanmir S., and Beltzer M. " Effect of Additive Molecular Structure on Friction Coefficient and Adsorption". Journal of Tribology, Vol.108, №1, 2016, P. 109-116.
35. Meyer J. Tablet-PC erweitert die Maschinen-bedienung / J. Meyer, B. Johanning, H. Müller // Landtechnik. – №68 (1). – 2013. – pp. 10-13.
36. Pankov A. The research of application and working process of fluid–jet elements and devices in planting techniques / A. Pankov, T. Zamota, A. Shcheglov // TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – Lublin, 2014. – Vol. 14., № 1. – pp. 191–199.
37. Системи автоматизованого проектування: Методичні вказівки по вивченню та виконанню лабораторних робіт (частина 1) / Веселовська Н.Р., Переяславський О.М., Моторна О.О., Руткевич В.С. – Вінниця ВНАУ, 2017. – 71 с.
38. Системи автоматизованого проектування: Методичні вказівки по вивченню та виконанню лабораторних робіт (частина 2) / Веселовська Н.Р., Переяславський О.М., Моторна О.О., Руткевич В.С. – Вінниця ВНАУ, 2017. – 104 с.