

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

Войтік А.В.

“ ” _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему **«РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ НА**
СХИЛАХ.»

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Табацький О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Головатюк А.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Олег КЕПКО,

(прізвище та ініціали)

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Войтік А.В..
« ____ » _____ **2023 р.**

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Табацькому Олександру Юрійовичу

Тема роботи: Розробка технічних засобів обробітку ґрунту на схилах.

Керівник роботи: к. с-г. н. Головатюк Анатолій Анатолійович
затверджено наказом Уманського НУС від «14 листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи – «14» листопада 2023_р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити Вступ. 1. Огляд літератури.
2. Умови, схема та методика проведення дослідження. 3. Результати
дослідження. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна ефективність	Головатюк А.А.		
Охорона праці	Прокопенко Е. В.		

6. Дата видачі завдання – «____» _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Завершення наукових досліджень	30.08.23 р.	
2.	Вступ	04.09.23 р.	
3.	Огляд літератури	18.09.23 р.	
4.	Умови, схема і методика проведення дослідження	02.10.23 р.	
5.	Результати дослідження	16.10.23 р.	
5.1.	Технологічна частина	23.10.23 р.	
6.	Висновки	30.10.23 р.	
7.	Охорона праці	06.11.23 р.	
8.	Економічна ефективність	13.11.23 р.	
9.	Список використаних джерел	20.11.23 р.	
10.	Додатки (матеріали для презентації)	20.11.23 р.	
11.	Подання студентом роботи	25.11.23 р.	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Збереження ґрунту від деградації при обробітку сільськогосподарських культур залишається найважливішою проблемою сільськогосподарського виробництва. Якщо в усіх полях відбуваються машинна деградація ґрунту, дегуміфікація, підкислення, виснаження ґрунту, то при розташуванні сільськогосподарських угідь на схилах деградаційні процеси посилюються за рахунок ерозій ґрунту.

До теперішнього часу не розкрито механіко-технологічні основи виникнення механічної ерозії ґрунту при роботі робочих органів на схилах. При розробці робочих органів не враховуються зміни технологічних параметрів робочого органу та виникнення бічної сили, що діє на ґрунт та призводить до зміщення ґрунту вниз схилом.

Перший розділ «Стан проблеми та завдання дослідження» присвячений особливостям деградаційних процесів ґрунтів на схилах, сучасному стану технологій підготовки ґрунту, що використовуються на схилах, а також напрямкам удосконалення ґрунтообробних машин з урахуванням використання їх на схилах. Крім цього розглянуто аналіз теоретичних та експериментальних досліджень процесу взаємодії робочих органів із ґрунтом. На основі цього сформульовано наукову проблему, висунуто гіпотезу, визначено мету та завдання досліджень.

У другому розділі «Моделювання технологічного процесу обробки ґрунту на схилах» показано послідовність реалізації моделі взаємодії робочих органів з ґрунтом на основі теорій суцільних деформованих середовищ з урахуванням їх роботи на схилах. Обґрунтовано області розрахунку, визначено початкові та граничні умови і дано результати чисельної реалізації на ЕОМ. Дано методику і наведено лабораторну установку для експериментального визначення переміщення ґрунту робочим органом. Наведено результати перевірки адекватності математичної моделі. Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри робочих органів для роботи на схилах.

У третьому розділі «Технології та комплекси машин для обробітку зернових та просапних культур на схилах» представлені результати розрахунків механічної ерозії ґрунту при різних технологіях та набору машин, що використовується при цьому,

У четвертому розділі наведено основні вимоги з охорони праці при використанні знарядь при обробітку ґрунту.

У п'ятому розділі «Рекомендації виробництва та техніко-економічна ефективність» надано технічні характеристики, наведено рекомендації виробництву щодо зниження деградації ґрунту з урахуванням крутості схилу та економічна ефективність розроблених машин і робочих органів.

Робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків, викладена на 118 сторінках комп'ютерного тексту , у тому числі 78 сторінок основного тексту , 11 таблиці, 36 ілюстрацій , список літератури із 35 найменувань. робота має додатки.

Зміст

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Причини виникнення та особливості деградаційних процесів ґрунтів на схилах.....	9
1.2 Сучасний стан технологій підготовки ґрунту та посіву.....	17
1.3 Напрями вдосконалення ґрунтообробних та посівних машин.....	18
1.3.3 Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом.....	20
1.4 Стан проблеми та завдання дослідження.....	22
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ҐРУНТУ НА СКЛОНОВИХ АГРОЛАНДШАФТАХ.....	24
2.1 Математична модель технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах.....	24
2.1.2 Початкові та граничні умови математичної моделі технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах.....	26
2.1.3 Методика реалізації математичної моделі процесу обробітку ґрунту на ЕОМ.....	32
2.2 Експериментальна оцінка переміщення ґрунту робочим органом.....	38
2.3 Перевірка адекватності математичної моделі.....	43
2.4 Реалізація математичної моделі технологічного процесу та обґрунтування параметрів робочих органів.....	48
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМПЛЕКСИ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА НА СКЛОНОВИХ АГРОЛАНДШАФТАХ.....	55
3.1 Вплив технологічних прийомів на зниження ерозійних процесів у ґрунті.....	55
3.1.2 Вплив технологій та машин на водну ерозію.....	56
3.2.2 Перспективні напрямки вдосконалення технологій вирощування зернових культур.....	59
3.2.3 Рекомендовані технології та комплекс машин для вирощування зернових культур.....	62
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	70
4.1 Загальні вимоги х охорони праці.	70
4.2 Вимоги безпеки під час обробітку ґрунту.....	71
4.3 Вимоги безпеки під час експлуатації сільськогосподарської техніки....	73
РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	75
5.1 Характеристики розроблених машин.....	75
5.2 Рекомендації виробництва щодо зниження деградації ґрунту	75
5.3 Техніко-економічна ефективність розроблених технологій та машин...	79
Висновки.....	83
Література	86
Додатки.....	90

ВСТУП

Збереження ґрунту від деградації при обробітку сільськогосподарських культур залишається найважливішою проблемою сільськогосподарського виробництва. Якщо в усіх полях відбуваються машинна деградація ґрунту, дегуміфікація, підкислення, виснаження ґрунту, то при розташуванні сільськогосподарських угідь на схилах деградаційні процеси посилюються за рахунок ерозій ґрунту.

Відомо, що винесення ґрунту з полів на схилах відбувається через водну ерозію. Тому для всіх природно-кліматичних зон розроблено заходи щодо боротьби з водною ерозією, які дають відчутні результати.

Однак виносу ґрунту сприяє не меншою мірою механічна ерозія ґрунту, що виникає за рахунок зіштовхування ґрунту вниз по схилу робочими органами ґрунтообробних і посівних машин при кожній обробці. Механічна ерозія з роками оголює верхню частину схилів від гумусу та родючого ґрунту і набагато посилює водну ерозію.

Однак до теперішнього часу не розкрито механіко-технологічні основи виникнення механічної ерозії ґрунту при роботі робочих органів на схилах. При розробці робочих органів не враховуються зміни технологічних параметрів робочого органу та виникнення бічної сили, що діє на ґрунт та призводить до зміщення ґрунту вниз схилом.

Вирішення проблем обробки ґрунту та посіву на схилах вже неможливе лише за рахунок проведення фізичних експериментів, т.к. це вимагає великих витрат праці, часу та коштів.

Як сказав Кирюшин В.І., «подальша розробка цієї проблеми пов'язана з розвитком математичного та фізичного моделювання ерозійних процесів і способів їх подолання».

Щоб врахувати особливості роботи машин на схилах і надалі використовувати ці особливості при їх розробці, необхідно створити математичні моделі виникнення та протікання механічної ерозії, взаємодії

робочого органу з ґрунтом з урахуванням крутості схилу, а також рух насіння в пневматичній системі сівалок при роботі їх на схилах.

Для перевірки адекватності математичних моделей, що розробляються, необхідно порівнювати теоретичні дані з експериментальними. Великою проблемою при експериментальному визначенні зміщення ґрунту є визначення траєкторії руху ґрунту по робочому органу. Особливо це ускладнюється під час роботи на схилах, т.к. багаторазово зростає кількість факторів, що впливають на процес, залежно від параметрів робочого органу, від крутості схилу, від напрямку руху агрегату і т.д. Тому виникає необхідність розробки методики визначення траєкторій руху ґрунту по робочому органу і зміщення їм ґрунту при роботі на схилах і створення для цих цілей лабораторної установки.

Для істотного зменшення ерозій ґрунту доводиться вдосконалювати як робочі органи, а й технології обробки ґрунту і посіву. Зміна технологій особливо затребувана при обробітку просапних культур, які сильно схильні до ерозійних процесів. При вирощуванні зернових культур необхідно врахувати, що використовувані технології повинні бути не тільки ґрунтозахисними, але і енерго-і ресурсозберігаючими.

Мета досліджень: підвищення ефективності обробітку ґрунту на схилах шляхом удосконалення технологій та конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних машин.

Наукова новизна: 1. Вперше розкрито механіко-технологічні основи механічної ерозії ґрунту на схилах при роботі ґрунтообробних та посівних машин і встановлено характер її зміни залежно від макрорельєфу поля, конструктивних параметрів робочих органів та напрямки їх руху по схилу. 2. Встановлено аналітичні вирази для визначення траєкторії руху та зміщення ґрунту робочими органами залежно від крутості та напрямку руху зброї по схилу. 3. Обґрунтовано розрахункову галузь та розроблено математичну модель процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом на основі рівнянь динаміки суцільного деформованого середовища з урахуванням крутості схилу поля та конструктивно-технологічних параметрів робочого органу.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Причини виникнення та особливості деградаційних процесів ґрунтів на схилах.

Під деградацією ґрунтів розуміються процеси і результати зміни їх властивостей і природних режимів, що в сукупності призводять до зміни функцій ґрунту як елемента екологічної системи та зниження ґрунтової родючості [7]. Вона обумовлена великою кількістю як природних, так і антропогенних факторів.

Якщо природні фактори деградації проявляються локально і не призводять до істотних змін властивостей ґрунтів на значних площах, то суто антропогенні фактори деградації ґрунтів поширюються значно ширше (наприклад, ущільнення ґрунтів під впливом важкої сільськогосподарської техніки, зміщення ґрунту під схил під дією робочих органів ґрунтообробних і посівних машин, засолення, закислення і т.д.).

Антропогенні чинники створюють передумови для різкої активації природних впливів – розорювання ґрунтів на схилах різко активізує їх змив, обробіток просапних культур – розкладання гумусу, порушує його баланс ґрунті тощо.

Деградація ґрунту виникає незалежно від рельєфу місцевості. Однак на схилах додатково з'являються такі види деградації ґрунту, як водна та механічна ерозії.

Однією із серйозних проблем, з якими зіткнулося землеробство, стала так звана машинна деградація ґрунту (МДП).

МДП полягає в переущільненні продуктивного шару ґрунту ходовими системами тракторів, сільськогосподарських машин і робочими органами знарядь при одночасному руйнуванні структури ґрунтового шару. Щільність ґрунту замість необхідних 1,0-1,2 г/см³ зростає до 1,5-1,8 г/см³, що у середньому на 20% знижує врожай зернових, на 40% – ефективність добрив і 18% підвищує сумарний витрата пального [10].

Рух важких сільськогосподарських агрегатів і різних транспортних засобів по поверхні поля сприяє ущільненню ґрунту, починаючи з верхніх горизонтів орного шару до нижчих шарів підорного шару. Особливо несприятливі умови для розвитку сільськогосподарських рослин створюються в результаті тривалої обробки ґрунту на ту саму глибину плоскими лемішами плугів і плоскорізів, що веде до утворення на глибині оранки плужної підшви з високою об'ємною масою і малим числом мікропор.

Негативний вплив МДП можна побачити за такими даними:

- Інтенсивність виділення з ущільненого ґрунту вуглекислоти зменшується в 1,2-1,6 рази;
- збільшення щільності ґрунту з 1,25 до 1,35-1,40 г/см³ знижує надходження азоту в рослину в 1,5-1,7 рази;
- збільшення щільності ґрунту до 1,35-1,40 г/см³ знижує швидкість розкладання рослинних залишків на 38-40% і, як наслідок, біологічну активність ґрунту;
- на ущільнених ділянках суглинистих та глинистих ґрунтів після оранки вивертаються брили розміром до 60-70 см та масою 35-40 кг, що суттєво погіршує якість кришення ґрунту при підготовці ораного ґрунту під посів;
- Ущільнення ґрунту збільшує не тільки її щільність, але і зчеплення, що характеризує міцність структурних зв'язків ґрунту. У результаті зростають енерговитрати, як на подолання сил тяжкості та інерції, що виникають у процесі переміщення ґрунту, так і на її деформацію та руйнування.

Нижче наведено основні заходи для зниження «машинної деградації ґрунтів»:

- перехід до мінімальної, та був і до нульової системи обробки ґрунту, що знижує кількість проходів по полю і площу слідів коліс на полі;
- поєднання кількох технологічних процесів в одному проході агрегату з використанням комбінованих машин;
- використання на колісних тракторах подвоєних коліс або шин низького тиску, що знижує тиск коліс на ґрунт;

- використання при ранньовесняному боронуванні гусеничних тракторів;
- проведення всіх робіт з обробітку сільськогосподарських культур при фізичній стиглості ґрунту з вологістю 20-25%;
- впровадження постійної технологічної колії, по якій пересуватимуться трактор, колеса ґрунтообробних машин, сівалок, машин для внесення добрив та обприскувачі;
- організація заправки агрегатів насінням, добривами, паливом тільки на краю поля;
- встановлення за слідами коліс тракторів та сільськогосподарських машин розпушувачів та зарівнювачів;
- застосування прийомів окультурення (внесення органічних добрив, кальцій містять меліорантів та ін) і мульчування поверхні ґрунту, що підвищують стійкість ґрунтів до ущільнення;
- виключення утворення плужної підшви щорічною зміною глибини основної обробки, щілиною та чизелюванням ґрунту;

Іншим видом деградації є дегуміфікація, що є процес збіднення ґрунтів гумусом за рахунок перевищення втрат гумусу над його поповненням. Втрати ґрунтового гумусу пов'язані як з його мінералізацією в процесі ґрунтоутворення і тривалого орного використання, так і з руйнуванням ґрунтів в результаті ерозії.

Для ґрунтів регіону, що від природи мають відносно вкорочену потужність, скорочення потужності гумусового горизонту орних ґрунтів становить серйозну загрозу.

Періодичні спостереження за зміною середньої потужності гумусового горизонту показують загальну тенденцію її зменшення в середньому на 5 см з коливаннями 1-10 см за 18-20 років [13]. При цьому вміст гумусу в ґрунтах знизився на 15-20%. У зв'язку з неповним поверненням органічної речовини в ґрунт з рослинними залишками та органічними добривами в ґрунтах республіки склалися стійкі негативні баланси гумусу, які зростають відповідно до скорочення внесення органічних добрив.

Для збереження гумусу необхідно:

- відмовитися від щорічної відвальної оранки; - вносити органічні добрива;
- вносити низькі дози мінеральних добрив;
- обмежити частку ґрунторуйнівних культур у сівозміні і збільшити частку трав;
- проводити заходи щодо зниження механічної, водної та вітрової ерозій;
- при збиранні зернових культур використовувати зернозбиральні комбайни з подрібнювачами і розкидати подрібнену соломку на поверхню ґрунту.

Ще одним із видів деградації ґрунту є підкислення. Показник підкислення ґрунтів визначається її кислотністю, тобто величина рН сольової (або водної) суспензії.

Причини підкислення ґрунтів можуть бути різні, основними є переважне застосування в сільському господарстві фізіологічно кислих азотних добрив та кислі атмосферні опади.

Здатність ґрунтів протистояти зсуву реакції в кислу сторону, залежить в першу чергу від вмісту в ній поглинених основ, серед яких переважає поглинений кальцій. Тому чим більше ємність поглинання і чим вище насиченість ґрунту основами, тим більшу кількість кислоти можна ввести в неї без ризику створити шкідливу для рослин кислотність.

Таким чином, у справі підвищення ґрунтової родючості нині велику актуальність набуває вапнування ґрунтів.

З кожною вегетацією рослини виносять з ґрунту значну кількість азоту і зольних речовин, і якщо ця втрата не відшкодовується, то поступово відбувається виснаження ґрунту.

Значення цього факту було зазначено ще Лібіхом на початку 19 століття, який бачив у виснаженні ґрунтів головну причину їхньої малої родючості та передбачав неминучість подальшого падіння родючості, якщо не вживати

заходів до повернення в ґрунт взятих з неї з урожаєм культурних рослин поживних речовин.

Виснаження ґрунту виключається при внесенні органічних та мінеральних добрив за потребою згідно з проведеними аналізами ґрунту, за рахунок розкидання подрібненої соломи на поверхню поля при збиранні врожаю та при виконанні науково обґрунтованої сівозміни.

Серед проблем деградації ґрунтів під впливом господарської діяльності людини на першому місці стоїть ерозія. У сільськогосподарському виробництві при вирощуванні культур руйнування ґрунтового покриву полів відбувається в основному трьома видами ерозії: водної, вітрової та механічної або в різному їх поєднанні.

Такий інтенсивний винос ґрунту призводить до багатьох негативних явищ. При ерозії ґрунт втрачає верхній найродючіший шар, в якому елементи живлення накопичуються сотнями років. Необхідно відзначити також, що разом із ґрунтом виноситься і внесені мінеральні добрива, які потрапляють у водоймища, забруднюючи їх. В результаті змиву ґрунту в орний шар залучаються нижні, менш родючі шари, що веде до різкого зниження родючості ґрунту.

При ерозії різко погіршується водно-фізичні властивості ґрунтів, що веде до зменшення їх здатності поглинати опади та посилення ґрунтової посухи. У зв'язку з цим на схилах з еродованими ґрунтами спостерігається великий поверхневий стік від танення снігу та зливових дощів. А це в свою чергу призводить до неповного використання опадів, що випадають, і зниження врожайності культур. Щорічні втрати талих вод у районах недостатнього і нестійкого зволоження становлять 50-60 млрд. м³. Якщо навіть зменшити цей стік лише наполовину, можна було б отримати додатковий урожай 16-32 млн. тон зерна [17].

Також негативно відбиваються на врожайності культур струменеві розмиви та промоїни, що утворюються на посівах при зливів. А яри, що

утворюються, розчленовуючи схили, призводять до зменшення площ ріллі і погіршуються воднофізичні властивості ґрунту.

Усі ці негативні сторони призводять до зниження врожайності культур на еродованих ґрунтах. Еродованість ґрунту багато в чому визначається крутістю схилу поверхні поля.

Орні угіддя розташовані на схилах різної крутості: до 10 - 27,6%; від 1 до 30 - 41,9%; від 3 до 50 - 18,2%; від 5 до 70 - 7,8% і більше 70 - 4,5% ріллі [14].

Щорічна втрата ґрунту з орних схилових земель у середньому становить близько 10 т/га; з ґрунту виноситься 300-500 кг гумусу, 30-50 кг азоту, 10-20 кг фосфору, 20-30 кг рухомого калію. Ці втрати перевищують внесені обсяги елементів у вигляді мінеральних та органічних добрив і формують у ґрунтах дисбаланси гумусу та мінеральних елементів. Лише внаслідок ерозії щорічні недобори врожаю становлять 500–600 тис. тон зерна та понад 100 тис. тон кормових одиниць фуражного запасу [13].

Залежно від складності геоморфології ландшафтів та ступеня сільськогосподарської освоєності ерозія в різних природно-сільськогосподарських зонах розвинена по-різному, різні форми її прояву. Тому заходи щодо захисту ґрунтів від ерозії та відновлення родючості еродованих земель повинні бути адаптовані до конкретного зонального та локального прояву ерозії.

Заславським М.М. рекомендовано градацію схилів по крутості та ерозійній небезпеці при розоренні (таблиця 1.1) та запропоновано заходи щодо боротьби з ерозією ґрунту [11].

Виходячи з даних рекомендацій, можна встановити, що частина ріллі при вирощуванні сільськогосподарських культур потребує використання ґрунтозахисних систем землеробства.

При водній та вітровій ерозії щорічно ріллі втрачають у середньому 1 мм своєї товщини. Це, звісно, чимала кількість. Однак за такого темпу ерозії втрати гумусу перекривалися б утворенням його в результаті розкладання поживних рослинних залишків, тому що в еродованих ґрунтах тільки кореневої системи

рослинності накопичується за рік до 18-21 т на 1 га [29]. Якщо врахувати, що водна ерозія на кожному полі відбувається не щорічно, а один раз на чотири-п'ять років, то напрашується висновок про те, що на схилах винуватцем таких великих втрат ґрунту є не лише водна ерозія. Тут паралельно з водяною працює і механічна ерозія ґрунту.

Таблиця 1.1 – Градація схилів за крутістю та ерозійною небезпекою при розоренні.

Схили	Крутизна	Ерозійна небезпека та заходи боротьби з нею
Слабокості	$< 3^\circ$	Безпечні
Пологи	$3-5^\circ$	Небезпечні, потребують ґрунтозахисних зональних систем землеробства
Слабо похилий	$5-7^\circ$	
Похилий	$7-10^\circ$	Дуже небезпечні, потребують спеціальних ґрунтозахисних систем землеробства
Сильно похилий	$10-15^\circ$	
Круті	$15-20^\circ$	Землеробство можливе тільки при штучному терасуванні схилів
Дуже круті	$20-40^\circ$	
Обривисті	$> 40^\circ$	Землеробство, як правило, неможливе

Під механічною ерозією ґрунту мається на увазі систематичне зміщення ґрунту під схил під дією робочих органів ґрунтообробних і посівних машин. Це помітно на схилах з дрібногорбистим рельєфом, де товщина гумусного шару на верхній частині завжди менше (іноді на верхній частині схилу навіть немає гумусного шару, а лежить материнська порода і там нічого не росте), а нижня частина схилу містить родючий ґрунт. Це пояснюється тим, що протягом десятиліть при кожній обробці весь оброблюваний шар зміщується вниз по схилу (сповзає). При цьому на нижню частину схилу надходить гумусний шар з верхньої ділянки, а на верхніх ділянках такого надходження немає. Тому знаряддя, витримуючи налаштовану глибину обробки, залучають до обробки нижчий неродючий шар. Звинувачувати в цьому водну ерозію неможливо, оскільки кількість змитого ґрунту на нижній частині схилу завжди буде

більшою через збільшення кількості води, що протікає по поверхні поля у зв'язку зі збільшенням площі водозбору. Тобто оголення верхніх частин схилів від родючого ґрунту пояснюється лише механічною ерозією, т.к. на верхній частині схилу практично відсутня водна ерозія. Крім цього механічна ерозія при кожній обробці переносить ґрунт вниз по схилу, де за рахунок збільшення площі водозбору процес водної ерозії посилюється, що веде до більшого змиву ґрунту в порівнянні з окремим розвитком водної ерозії.

Незважаючи на даний факт негативного впливу робочих органів ґрунтообробних і посівних машин на ґрунт, питаннями механічної ерозії займалися невелика кількість вчених. Заславський М.М., при класифікації ерозій окремо виділяє переміщення ґрунту зі схилів ґрунтообробними машинами і називає як механічну ерозію, чи агротехнічну, чи технологічну.

Про розміри механічної ерозії можна судити з дослідів Б.В. Кібуриша: при оранні схилу $8-10^\circ$ вздовж горизонталей і при відвалюванні пласта вниз до підніжжя за один прохід агрегату середня відстань, на яку переміщується орний шар, становить 45 см. Коли відвалюється пласт орний шар переміщується тільки на 39 см. Тоді при загонній оранці весь орний шар переміщається до підніжжя на 6 см.

Культивація, боронування, рух по полю тракторів та сільськогосподарських машин призводять до збільшення механічної ерозії.

Механічна ерозія руйнує шар ґрунту, що обробляється, змінює форму мікрорельєфу поля, призводить до появи порогів-бровок, що погіршує умови обробки ґрунтів. Профіль схилу набуває форми, показаної на рисунку 1.1.

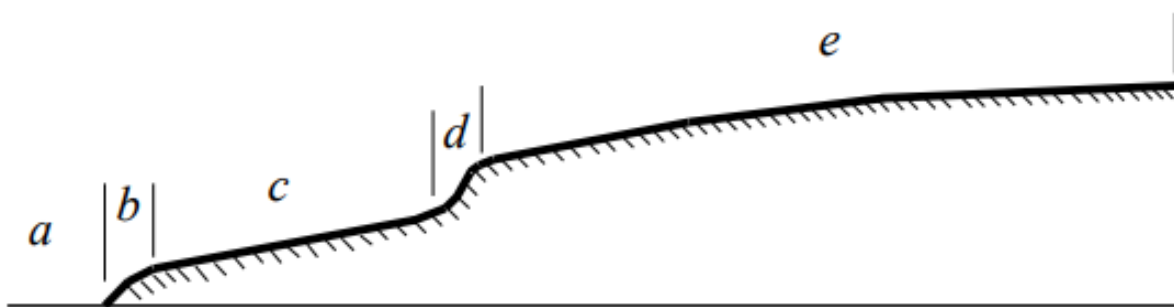


Рисунок 1.1 – Пороги-брівки, що утворилися на схилі у процесі ерозії:
а - луг; b – поріг; c – поклад; d – поріг; e - рілля

Внаслідок цього пагорби знижуються, схили стають пологими і набувають терасоподібної форми. На вершинній поверхні пагорбів з'являються безгумусні шари ґрунту, а на пагорбах, ядро яких складено із гравію, виступає гравій. При появі на поверхні гравію родючість полів сильно знижується, і вони стають практично непридатними для сільськогосподарського використання.

Тому одним з основних пунктів протиерозійних заходів має бути скорочення процесу механічної ерозії. При цьому необхідно мати на увазі, що величина механічної ерозії не залежить від метеорологічних умов, а залежить від глибини та кількості обробки ґрунту та рельєфу поля.

Розглянуті факти деградації ґрунту показують необхідність організації гнучкої системи використання земель, яка дозволила б максимально уникнути виведення родючих ґрунтів із сільськогосподарського обороту або їх прогресуючої деградації.

1.2 Сучасний стан технологій підготовки ґрунту та посіву

В даний час використовуються різні технології обробітку сільськогосподарських культур. Сутність і назви цих технологій в основному залежить від способу обробітку ґрунту та способу посіву.

Обробка ґрунту поділяється на окремі етапи: обробка стерні, основна обробка ґрунту та передпосівна підготовка. З урахуванням посіву можна виділити такі технології:

- традиційне обробіток ґрунту, - мінімальне обробіток ґрунту,
- смугова обробка ґрунту та посів (Strip-Till),
- нульова обробка ґрунту або прямий посів (No-Till).

Традиційна обробка ґрунту полягає в щорічному розпушуванні та перевертанні орного шару на повну глибину плугом, внаслідок чого в ґрунт одночасно закладаються залишки рослин, попередник, проміжна культура та бур'яни. Перед оранням проводиться закладення рослинних залишків, що

залишилися на полі. Для передпосівного обробітку ґрунту використовуються різні типи машин, потім проводиться посів.

Проте в даний час відбувається поступовий перехід до мінімальних і нульових обробітків ґрунту. Важливими причинами відмови від плуга є:

- 1) скорочення ґрунтової ерозії;
- 2) економія трудовитрат і витрат;
- 3) підвищення виробітку в одиницях площі та продуктивності праці;
- 4) збереження структури ґрунту та гумусу.

Для мінімальної обробки ґрунту характерно те, що ґрунт зазвичай не перевертають і обробляють на меншу глибину, ніж при оранці. При цьому на поверхні ґрунту залишається рослинні залишки попередників і бур'янів. Іншим напрямом переходу на мінімальну систему обробки ґрунту є поєднання операцій за рахунок використання комбінованих машин та робочих органів.

1.3 Напрями вдосконалення ґрунтообробних та посівних машин

Впровадження енерго- ресурсозберігаючих технологій у рослинництві, що базується на скороченні та суміщенні операцій, докорінно змінює вимоги до знарядь для їх здійснення. Однією з основних особливостей сучасних технологій є поєднання операцій обробки ґрунту. Тому сучасні ґрунтообробні машини повинні відповідати вимогам, що пред'являються як до ґрунтообробних машин. Однак в даний час в відсутні сучасні регламентовані вимоги до даних типів машин.

На врожайність сільськогосподарських культур впливають багато факторів (родючість ґрунту, наявність гумусу та поживних речовин, сорт насіння, випадання опадів у період вегетації тощо). Однак важливу роль у одержанні врожаю відіграє і якісне проведення передпосівних обробок.

До передпосівної обробки ґрунту повинні пред'являтися такі вимоги [6]:

- Поверхня поля, що пройшло передпосівний обробіток ґрунту, повинна бути вирівняна; висота гребенів або глибина борозен має бути не більше 4 см;

- на поверхні поля не допускається наявність грудок ґрунту та каміння розміром більше 10 см по найбільшій стороні або діаметру;

- оброблений шар ґрунту повинен бути розпушеним і дрібнокомкуватим; в обробленому шарі допускаються грудки ґрунту розміром по найбільшому діаметру до 2,5 см не більше 80%, а від 5 до 10 см - не більше 10%.

- щільність обробленого шару ґрунту має бути 1,0-1,3 г/см²;

- допускається відхилення від заданої глибини обробки ґрунту не більше 1,0 см;

- бур'яни повинні бути підрізані; наявність непідрізаних бур'янів на поверхні поля не допускається;

- на поверхні поля, підготовленого для посіву зернових, що обробляються за спеціальною технологією в зонах, схильних до вітрової ерозії, має бути не менше 60% стерні та інших рослинних залишків;

- Наявність необроблених смуг або ділянок (огріхів) на полі, підготовленому для посіву, не допускається.

У міру створення ефективних гербіцидів потреба використання агротехнічних прийомів проти бур'янів починає відпадати. Тому постає питання про отримання оптимальних урожаїв при мінімальних витратах, використовуючи при цьому потенційні можливості ґрунту та насіння. При використанні нульової технології для виключення забивання робочих органів рослинними залишками і стернів збільшують ширину міжряддя до 25-35 см. При цьому для забезпечення оптимальної відстані між насінням в рядках вимушено зменшують норму висіву. За рахунок великої площі харчування та достатньої кількості поживних речовин (т.к. немає бур'янів) відбувається гарне кущіння культурних рослин і врожайність зберігається приблизно на тому ж рівні як при традиційних нормах висіву. При цьому зменшується потрібна кількість насіння.

1.3.3 Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень процесу взаємодії робочих органів з ґрунтом

Для розкриття механізму виникнення механічної ерозії необхідно розглянути процес взаємодії робочого органу з ґрунтом та його переміщення.

Визначенням траєкторії відносного руху пласта по клину та дослідженням переміщення ґрунту по клину займалися багато вчених [6, 10, 13, 15, 25]. У всіх роботах розглядаються процес взаємодії ґрунту з двограним або тригранним клином, основи якого розроблені акад. В.П. Горячкиним та розвинені його послідовниками.

Однак в даний час немає єдиної думки у визначенні траєкторії пласта по клину. Багато хто вважає [10,16, 23], що пласт рухається по клину від стійки у бік стінки борозни, а деякі [21, 25,] вважають, що траєкторія руху пласта по леміху спрямована у бік стійки робочого органу.

Траєкторія відносного руху пласта по клину зазвичай визначається кутом η (рисунок 1.2). Гячов Л.В. із співвідношень сферичної тригонометрії отримує вираз для визначення кута η .

У такому разі траєкторія відносного руху розташовується в площині, що проходить через нормаль до поверхні леміша та напрямом руху клина. Подальші роботи багатьох вчених [6, 15, 20] підтвердили правильність цього виразу. Однак дослідження щодо визначення траєкторії руху ґрунту по робочому органу проведені тільки для горизонтальної поверхні. А зміни характеру взаємодії робочого органу із ґрунтом під час роботи їх на схилах авторами не розглядаються.

При експериментальному визначенні кута η дослідниками використовувалися різні методи. Найпростіший метод ризок або подряпин [3, 8, 19, 20]. Поверхня леміша покривається або фарбою, або силікатним клеєм, або глянсовою жерстю. При русі робочого органу ґрунтові частинки ґрунту залишають подряпини на леміші. Далі подряпини траєкторії руху знімаються на кальку разом з лінією леза леміша.

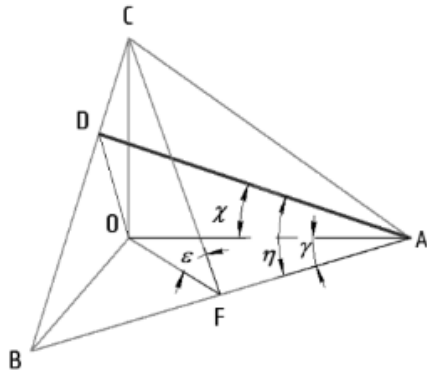


Рисунок 1.2 – До визначення траєкторії руху ґрунту.

Кірюхіним В.Г. [65] описується спосіб визначення траєкторії руху ґрунту за допомогою фарби. Під час руху плуга через спеціальний отвір в леміші безперервно під тиском подається фарба, яка захоплюється пластом, що рухається по відвалу. Плуг різко зупиняється, здається назад, і на відвалі залишається траєкторія руху пласта, яка потім переноситься на кальку при накладенні останньої на відвал. Таким чином, отримуємо відносну траєкторію руху пласта на розгортці відвалу.

При використанні методу ниток на поверхні леміша мають нитки, які закріплюють з боку неробочої поверхні робочого органу. По орієнтації ниток лежить на поверхні леміша визначають величину кута η .

При використанні методу флюгерків [7, 8, 15, 20], який полягає в тому, що на поверхні леміша розташовуються вільно обертаються флюгерки, які при русі робочого органу в ґрунті встановлюються за напрямом руху пласта, дані про орієнтацію флюгерки записуються на осцилограму.

Розглянуті способи трудомісткі, недосконалі і дають значну похибку щодо кута η . Наприклад, при використанні методу рисок і «закріплених ниток», необхідно щоразу розкопувати робочі органи для виміру траєкторії, тому що їх вигиблення дає велике спотворення кута, нитки часто плутаються, відриваються і сам процес розкопки вносить певну похибку при вимірі, а третьому методі самі флюгерки впливають на траєкторію руху частки та його монтаж на леміші є дуже трудомісткою операцією.

Свічників П.Г. [17] знаходить кут η методом визначення ширини розвальної борозни.

Хоча цей спосіб менш трудомісткий і досить простий, використання його для визначення кута η на схилах неможливо, так як кути η для клину, що штовхає ґрунт вгору, і клину, що штовхає її вниз, не рівні.

Як видно з аналізу, використовувані способи експериментального визначення траєкторії руху ґрунту по робочому органу дуже трудомісткі, і використовувати ці методи для багаторазового визначення траєкторії при зміні параметрів робочого органу та крутості схилу практично неможливо. У зв'язку з цим необхідно знайти нові способи визначення кута і зміщення ґрунту робочим органом на схилах.

Так як при роботі робочих органів на схилах кількість параметрів, що впливають на роботу робочого органу збільшується, трудомісткість процесу дослідження також підвищується у кілька разів. Тому для прискорення процесу дослідження технологічного процесу роботи робочих органів на схилах необхідно розробити математичну модель, за допомогою якого буде можливо визначити траєкторію руху ґрунту по робочому органу, а також силові характеристики робочого органу, ступінь впливу ґрунту на робочий орган і т.д. буд.

1.4 Стан проблеми та завдання дослідження.

Аналіз виникнення деградаційних процесів ґрунтів показує, що ступінь схильності до цих процесів на схилах набагато вище. Цьому сприяють ерозійні процеси, які залежать від крутості схилу, технологій обробітку сільськогосподарських культур, типу робочих органів та ін.

Якщо процес водної ерозії розглядаються скрізь і заходи боротьби з нею відомі практично всім сільськогосподарських зон, процес і закономірності перенесення ґрунту робочими органами під час роботи на схилах вивчені слабо. Багатьом дослідниками пропонуються різні технологічні прийоми боротьби з ерозією ґрунту. Однак істотний вплив на процес механічної ерозії надають і конструктивно-технологічні параметри робочих органів, що взаємодіють із

грунтом. А повністю відмовитися від впливу на ґрунт навіть при впровадженні технологій прямого посіву неможливо. Тому необхідно вдосконалювати конструктивно-технологічні параметри робочих органів з метою зниження негативного переміщення ґрунту, що призводить до його механічної ерозії.

У зв'язку з цим висунута наукова гіпотеза про те, що зниження ерозійних процесів ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур на схилах можливе не тільки за рахунок використання спеціальних технологічних прийомів обробки ґрунту та посіву, але й за рахунок зміни конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних та посівних машин.

Тоді виникає наукова проблема, яка полягає у розкритті механіко-технологічних основ ерозійних процесів у ґрунті для обґрунтування технологічних прийомів, конструктивних схем та параметрів ґрунтообробних та посівних машин для підвищення ефективності обробітку сільськогосподарських культур та зниження ерозії на схилах

Мета досліджень: підвищення ефективності обробітку ґрунту та зниження ерозій на схилах шляхом удосконалення технологій і конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних машин.

Відповідно до метою роботи визначено такі завдання дослідження:

1.Розкрити механіко-технологічні основи прояву механічної ерозії на схилах і встановити залежність зміщення ґрунту від крутості схилу, напрямки руху агрегату, типу та параметрів робочого органу.

2.Розробити математичну модель технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах і обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочих органів, що знижують механічну ерозію.

.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ҐРУНТУ НА СКЛОНОВИХ АГРОЛАНДШАФТАХ

2.1 Математична модель технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах

В даний час для вивчення процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом приймається певна модель ґрунту, яка описує фізичні явища, що протікають в ній, з достатнім ступенем точності [19]. При цьому дослідження проводяться на основі чисельної реалізації рівнянь динаміки суцільних середовищ [11] у прикладних програмах інженерного розрахунку - САЕ-системах, наприклад, у програмних комплексах FlowVision, Ansys, Solidworks та ін.

При моделюванні технологічного процесу обробки ґрунту на основі суцільних деформованих середовищ та їх реалізації в програмних комплексах необхідно визначити розрахункову область. Як відомо, розрахунковою областю є обсяг простору, де задані рівняння математичної моделі та визначені початкові та граничні умови її функціонування. Зазвичай розрахункова область завдань обробки ґрунту представляється як паралелепіпеда, розміри сторін якого залежатиме від зони деформації ґрунту аналізованим робочим органом [10].

При роботі на схилах як було встановлено на характер переміщення ґрунту робочим органом впливає зміна напрямку дії сили тяжіння щодо робочого органу. У зв'язку з цим, при моделюванні процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом на схилах необхідно враховувати, що він нахиляється щодо вертикалі на кут крутості схилу Ω , що призводить до зміни технологічних параметрів робочого органу щодо горизонтальної площини. Крім цього з'являється сила, що діє на ґрунт уздовж схилу вниз, що веде до зміни траєкторії руху ґрунту з робочого органу [12, 20].

Розглянемо рух агрегату на схилах вздовж горизонталі поля (рисунок 2.1).

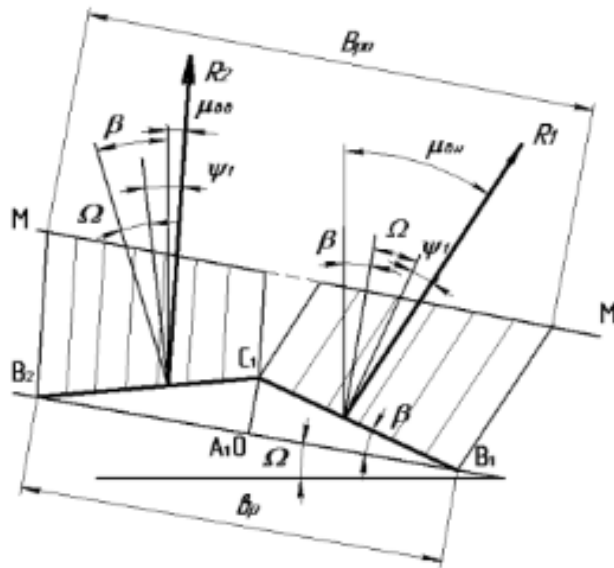


Рисунок 2.1 – Сили, що діють під час руху поперек схилу.

При русі агрегату вздовж схилу також відбувається відхилення діючої сили вздовж напрямку руху під дією складової сили тяжкості ґрунту (рисунок 2.2).

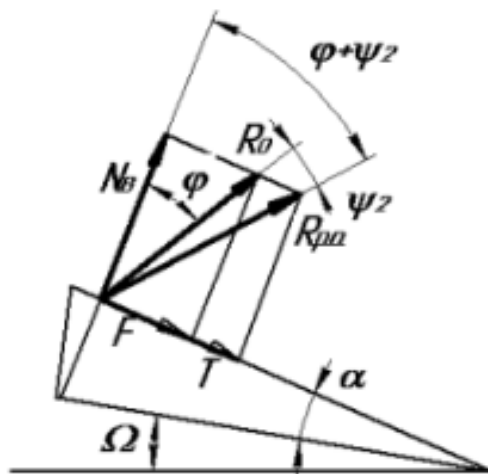


Рисунок 2.2 – Сили, що діють на ґрунт під час руху робочого органу вздовж схилу

Як видно з рисунка 2,2, рівнодіюча сил $R_{p.o.}$ при русі робочого органу вздовж схилу вниз відхиляється від нормалі на кут $\phi + \psi_2$ де кут ψ_2 .

Аналогічно, при русі робочого органу вгору схилом, рівно-діюча сила $R_{p.o.}$ відхиляється від нормалі на кут $\phi - \psi_2$.

Таким чином, при обробці схилів розрахункова область порівняно з роботою на рівнині змінює свої розміри (рисунок 2.3).

Мінімальна відстань $L_{гр}$ від робочого органу до стінок розрахункової області (паралелепіпеда) у поздовжній площині визначається як:

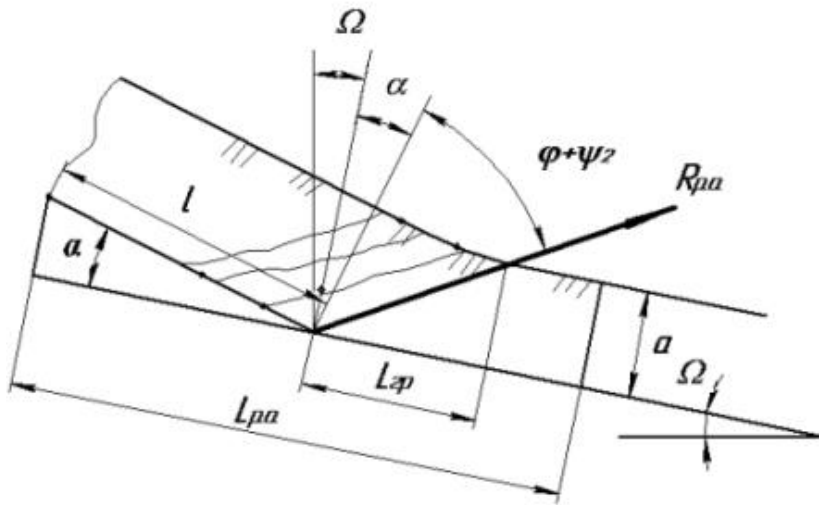


Рисунок 2.3 – Схема до визначення сфери розрахунку.

З урахуванням певного коефіцієнта запасу, що враховує неоднорідність ґрунтового середовища, а також роль динамічного фактора тиску ґрунтового пласта можна встановити, що довжина розрахункової області.

Ширина розрахункової області $B_{ро}$ повинна бути встановлена з урахуванням ширини робочого органу.

У разі роботи робочого органу на піщаному ґрунті ширина робочої області збільшується за рахунок внутрішнього тертя ґрунту.

Висота розрахункової області НРО має бути більшою за розмір робочого органу по вертикалі.

Таким чином, при моделюванні робочого процесу обробітку ґрунту на схилах необхідно врахувати зміну величин та напрямки дії сил на кожній площині.

2.1.2 Початкові та граничні умови математичної моделі технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах

Після визначення меж області необхідно визначити початкові умови. Як початкові умови необхідно задати значення швидкості потоку V на вході в розрахункову область і фізико-механічні властивості ґрунтового середовища (рисунок 2.4) [19, 17].

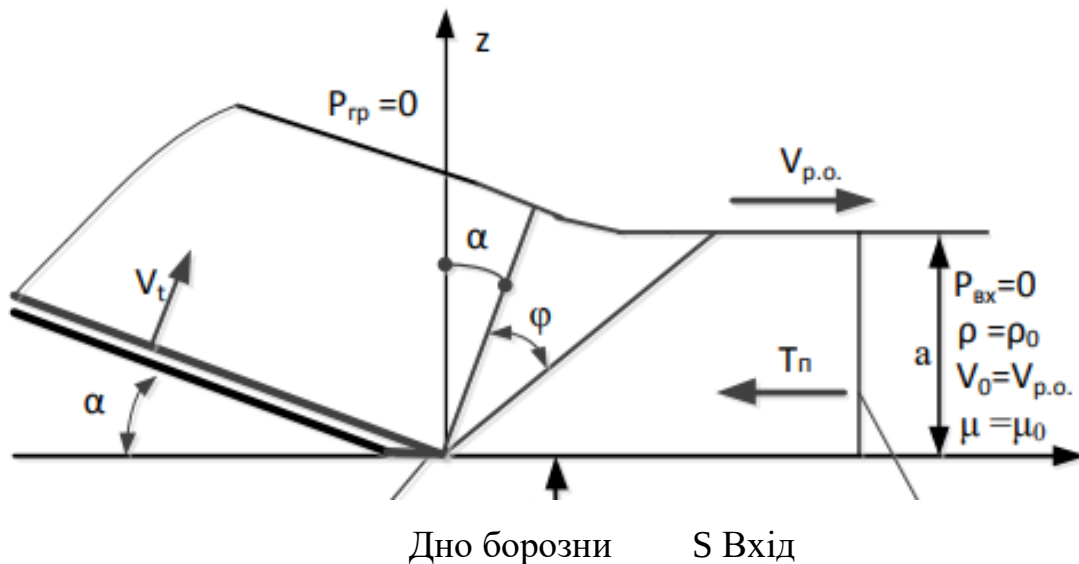


Рисунок 2.4 – Початкові та граничні умови взаємодії робочого органу із ґрунтом

Як встановлено з умови подібності [10] швидкість середовища має бути рівної швидкості $V_{р.о.}$ робочого органу.

У зв'язку з тим, що межа розрахункової області береться за межами зони деформації ґрунту робочим органом, обурення на межах розрахункової області не буде. Отже на межі «вхід» і «вихід» тиск зі сторони робочого органу відсутня, а діє лише вага ґрунтового пласта. Тому на кордонах «вхід» та «вихід» має дотримуватися умова $P_{вх} = 0$, $P_{вих} = 0$. Як фізичні параметри ґрунтового середовища задається щільність і в'язкість μ середовища.

Геометричні параметри робочого органу вводяться під час побудови у системі автоматизованого проектування (САПР).

Гранична умова під час руху робочого органу у ґрунті визначається області контакту з поверхнею робочого органу (рисунок 3.4). Межова умова виражаємо з умови непроникності тіла. Ця умова полягає в тому, що в будь-якій точці, що належить межі тіла, перпендикулярна до поверхні складова швидкості V_t повинна бути рівною нулю:

$V_t = 0$. (3.10) Межова умова поділу ґрунтового середовища та повітря визначається ра-венством нулю тиску на межі їх поділу

$P_{гр} = 0$. (3.11) При визначенні граничної умови дна борозни необхідно врахувати тиск підпору з боку нижніх шарів ґрунту. Тиск підпору виникає як

опір об'ємному стиску ґрунту робочим органом. Для визначення граничної умови дна борозни визначимо вертикальну силу на дні борозни (силу S), що виникає у процесі деформації ґрунту.

Розглянемо процес взаємодії робочого органу у вигляді плоского двогранного клина з ґрунтовим середовищем при роботі на горизонтальній площині (рисунок 2.5).

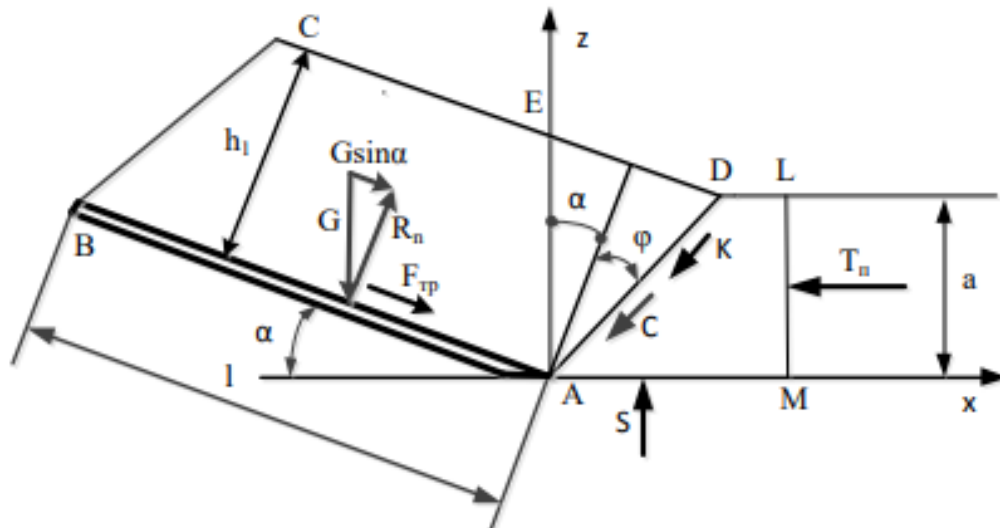


Рисунок 2.5 – Сили, які діють на пласт.

Пласт ґрунту ABCDLM умовно можемо поділити на дві зони. До першої зони ABCD віднесемо пласт, що знаходиться на поверхні робочого органу до площини руйнування. У другу зону віднесемо пласт попереду площини руйнування ADLM з товщиною, що дорівнює глибині обробки.

Для визначення товщини шару ґрунту h_1 після вступу її на поверхню робочого органу намалюємо векторну діаграму швидкостей ґрунту, тобто. визначимо співвідношення швидкостей руху робочого органу та відносної швидкості руху ґрунту по робочому органу (рисунок 2.6).

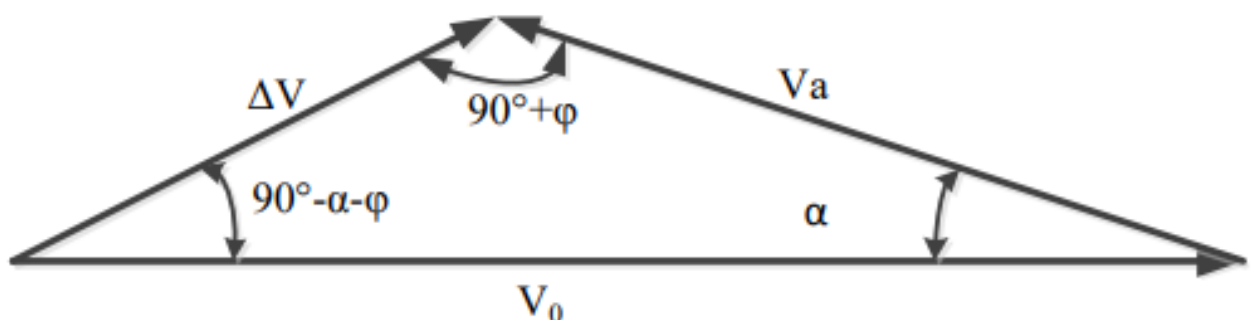


Рисунок 2.6 – Схема зміни швидкості руху ґрунту.

Це показує, що при збільшенні кута кришення α відбувається збільшення і лушення на деформацію ґрунту в поперечному напрямку і збільшується кришення ґрунту.

Коли пласт ґрунту доходить до краю робочого органу (точки В), його дія на пласт припиняється по лінії ВС і ґрунт далі рухається за інерцією по траєкторії вільного падіння. Тому на робочий орган діє сила тяжіння пласта АВСЕ.

Сила тяжкості ґрунту діятиме на два напрями: перпендикулярно до поверхні робочого органу $G \cos \alpha$ та вздовж поверхні робочого органу у напрямку вниз до леза робочого органу $G \sin \alpha$.

У зв'язку з цим виникають реакція робочого органу $R_n = G \cos \alpha$ і сила тертя ґрунту поверхню робочого органу $F_{тр} = G \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi$.

Вага пласта G , сила інерції пласта K , когезійна сила 3 діють на робочий орган і впливають ґрунт перед робочим органом. Силами, які впливають на величину підпору, є сила тертя $F_{тр} = G \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi$ і складова сили тяжіння пласта, що діє вздовж робочого органу $G \sin \alpha$. Тоді сила підпору дорівнюватиме їх сумі, тобто. $W_{п} = G \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi + G \sin \alpha$.

Сила підпору $W_{п}$ діятиме у двох напрямках: у горизонтальному по ходу руху робочого органу $T_{п}$ і вертикальному S , спрямованому вгору. Вертикальна складова. Наявність цієї сили призводить до стиснення ґрунту перед зрізанням ґрунту лезом леміша. Зріз ґрунту, що знаходиться під натиском, призводить до ущільнення ґрунту на глибині обробки ґрунту та утворення плужної підшви при оранці та утворенні насіннєвого ложа при передпосівній культивуванні.

При роботі робочого органу на схилах з крутістю Ω і при русі вздовж схилу відбуватиметься зміна величини сили підпору S . Розглянемо цю зміну при русі робочого органу вниз по схилу.

При цьому відбувається зміна напрямку векторів швидкостей за рахунок зміни напрямку абсолютного руху ґрунту на кут ψ_2 (кут відхилення траєкторії за рахунок сили, що діє вздовж схилу) щодо ходу руху робочого органу (рисунок 2.7).

практично залишається постійною. Це означає, що умови утворення насінневого ложа не залежать від схилу.

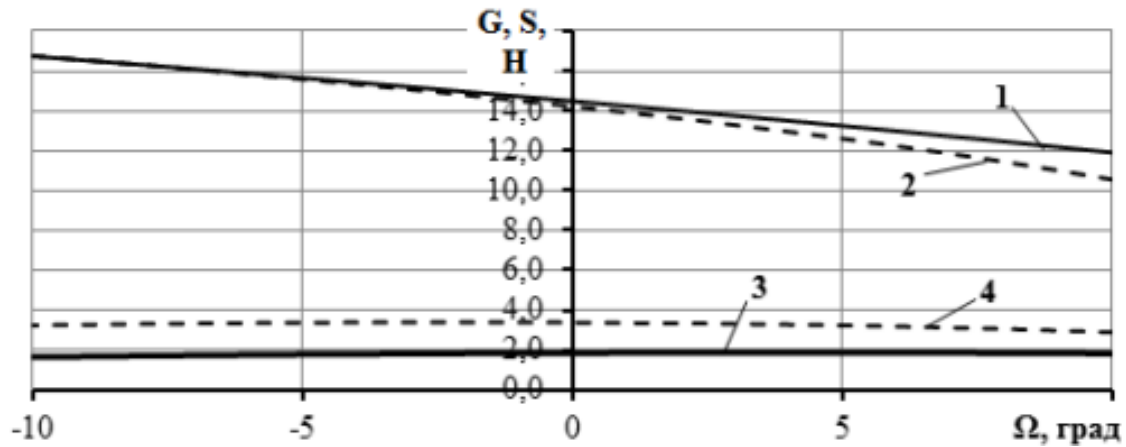


Рисунок 2.9 – Залежність сили тяжіння ґрунту на робочому органі G та сили підпору S від крутості схилу Ω : 1 – сила тяжкості ґрунту на робочому органі при $\gamma = 30^\circ$ та $\epsilon = 20^\circ$, 2 – сила тяжіння ґрунту на робочому органі при $\gamma = 35^\circ$ та $\epsilon = 28^\circ$, 3 – підпор дна борозни при $\gamma = 30^\circ$ та $\epsilon = 20^\circ$, 4 – підпор дна борозни при $\gamma = 35^\circ$ та $\epsilon = 28^\circ$

Однак на величину підпору впливають кути γ і ϵ робочого органу (рисунки 2.10 та 2.11). Величина підпору збільшується зі збільшенням цих кутів, що веде до збільшення щільності насінневого ложа.

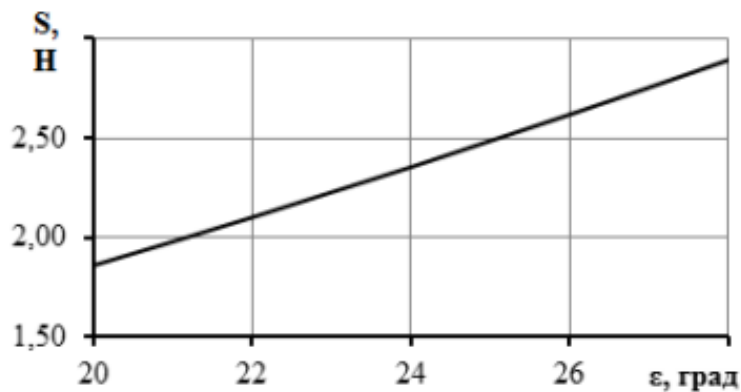


Рисунок 2.10 – Залежність сили підпору S від кута ϵ при $\gamma = 30^\circ$.

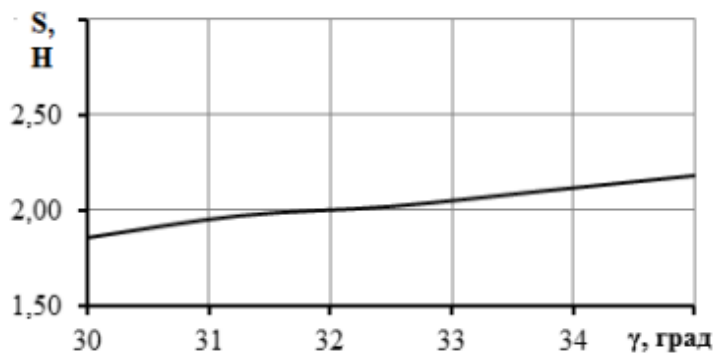


Рисунок 2.11 – Залежність сили підпору S від кута при $\epsilon = 20^\circ$.

Таким чином, уточнено початкові та граничні умови математичної моделі технологічного процесу обробітку ґрунту при роботі робочого органу на схилах.

2.1.3 Методика реалізації математичної моделі процесу обробітку ґрунту на ЕОМ

Система рівнянь взаємодії робочого органу з ґрунтом з урахуванням роботи на схилах вирішується кінцево-об'ємним методом за допомогою програмного комплексу FlowVision.

Геометричні параметри робочого органу задаються при побудові в системі автоматизованого проектування (САПР), що підтримує систему твердотільного побудови, наприклад, КОМПАС 3D, SolidWorks та ін. (рисунок 2.12).

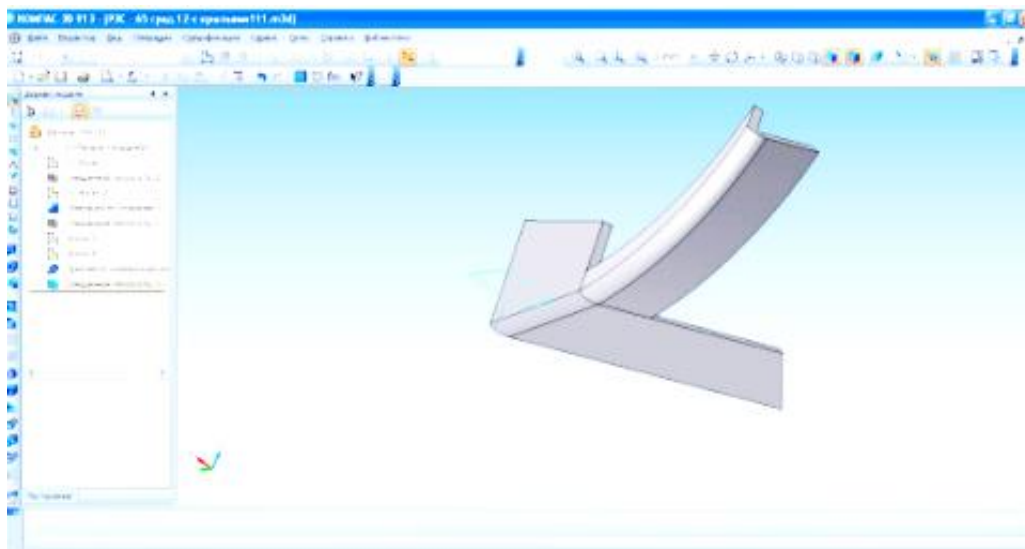


Рисунок 2.12 – 3-D модель робочого органу.

Далі в програмному продукті, що дозволяє проводити чисельне рішення тривимірних стаціонарних і нестаціонарних рівнянь динаміки рідини і газу, які включають закони збереження маси, імпульсу (рівняння Нав'є-Стокса), рівняння стану, наприклад FlowVision, Ansys, розробляється область розрахунку обробітку ґрунту. Область розрахунку являє собою паралелепіпед (рисунок 2.13) довжиною, визначеною згідно з виразом, шириною - згідно з виразом. Висота розрахункової області повинна перевищувати габаритні розміри робочого органу чи всієї зброї загалом.

Спроекований робочий орган імпортується у сферу розрахунку. При імпортуванні робочого органу встановлюється його основний технологічний параметр – глибина обробки щодо площини розділу ґрунтового середовища та повітря. Особливістю імпорту робочого органу при моделюванні його роботи на схилах є встановлення робочого органу до горизонтальної площини під кутом крутості схилу Ω з урахуванням напрямку руху робочого органу щодо горизонталі поля (рисунок 2.14). Така установка робочого органу враховуватиме в моделі зміну технологічних кутів $\gamma_{1,2}$ і $\epsilon_{1,2}$.

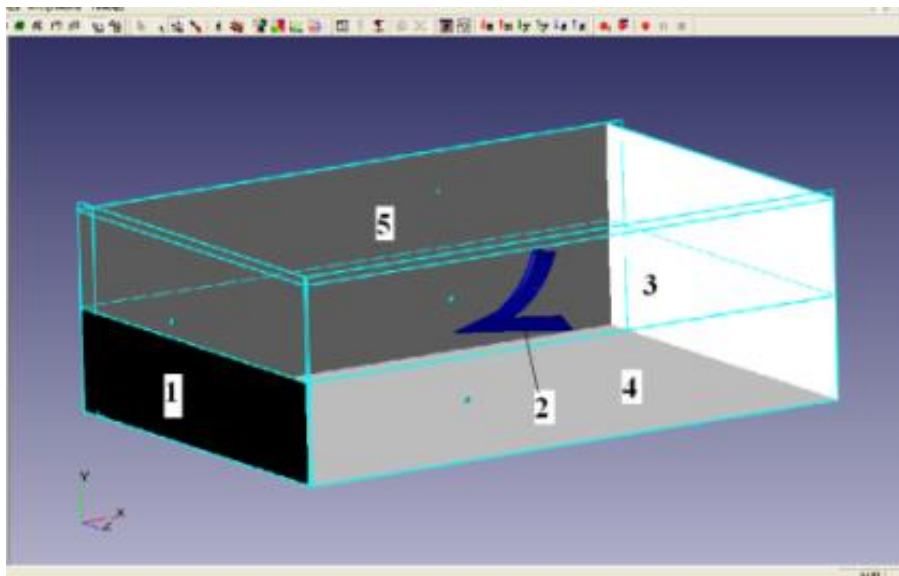


Рисунок 2.13 – Область розрахунку технологічного процесу обробітку ґрунту. Граничні умови: 1 – вхід, 2 – тіло – робочий орган, 3 – вихід, 4 – дно борозни, 5 – стінка.

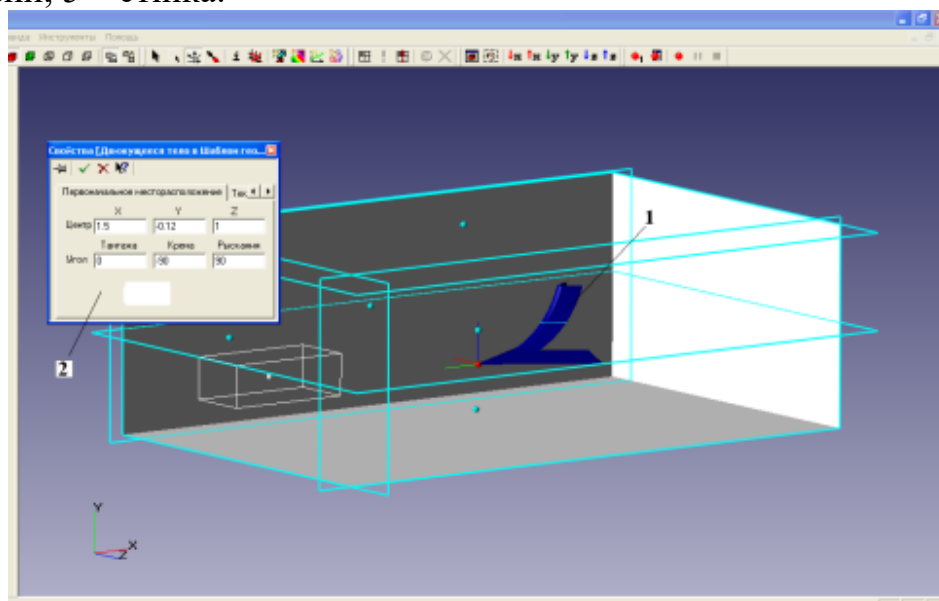


Рисунок 2.14 – Імпорт робочого органу в область розрахунку та встановлення технологічних параметрів.

Далі в препроцесорі вибирається відповідна математична модель - стисливого середовища, яка є найбільш підходящою для реалізації технологічного процесу обробки ґрунту. При цьому обов'язковою умовою є вибір моделі «вільна поверхня», яка дозволяє вирішувати завдання поділу двох середовищ, у нашому випадку ґрунту та повітря. Після цього встановлюються основні фізичні параметри модельованого ґрунтового середовища – щільність, в'язкість. У цьому щільність середовища, як було встановлено повинна бути рівною щільності ґрунту, а в'язкість середовища вибирається згідно з діаграмою, запропонованою Фархутді-Новим І.М., відповідно до вологості ґрунту.

Надалі в препроцесорі FlowVision встановлюються початкові та граничні умови. В якості початкової умови необхідно задати швидкість входу середовища в розрахункову область, яка, як було встановлено вище, повинна бути рівною швидкості руху робочого органу по полю. Слід зазначити, що у завданнях суцільних деформацій середовищ, гідро- і аеродинаміки процес взаємодії тіл сприймається як зворотний процес, тобто. переміщується саме середовище, а тіло зафіксовано. При цьому завдання вирішується в координатній системі Ейлера, яка зафіксована в робочому органі.

Граничні умови функціонування моделі задаються на стінках розрахункової області як «стінка» чи «симетрія», але в поверхні робочого органу як «стінка з ковзанням», т.к. необхідно враховувати ковзання та тертя частинок ґрунту по ньому (рисунок 2.13).

У площині, що проходить по лезу робочого органу – на дні борозни, задається гранична умова «кордон з тиском», де встановлюється чисельне значення тиску підпору, визначене згідно з виразом.

На виході з розрахункової області визначається гранична умова «вільний вихід», т.к. у цій зоні збурення відсутні.

Для обліку моделі бічної сили відхиляємо у потрібному напрямі дію сили тяжіння на кут крутості схилу.

Надалі в препроцесорі встановлюється розрахункова сітка (рисунок 2.15). Хоча FlowVision має функцію адаптації сітки за певною граничною умовою, в областях, що вимагають більш детального вивчення процесу необхідно сітку згущувати вручну. У нашому випадку такими областями є зона безпосередньо перед робочим органом та його поверхню. Крім цього необхідно включити умову адаптації сітки за межею умовою робочого органу.

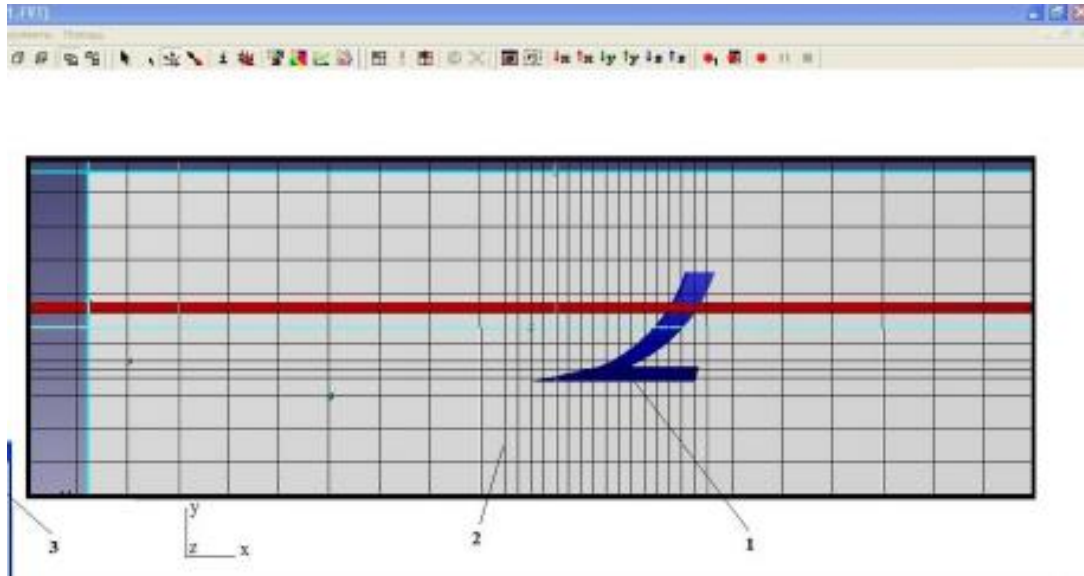


Рисунок 2.15 – Розрахункова сітка. 1 – робочий орган, 2 – розрахункова сітка, 3 – вікно встановлення сітки

Після цих процедур можна включити виконання розрахунків. Процес розрахунку, його збіжність, помилки розрахункових фізичних параметрів (швидкості, тиску, координати вільної поверхні) можна простежити у вигляді графіків або чисельних значень у вікні «Помилки» (рисунок 2.16).

Результати розрахунків та їх візуалізацію можна вивести в пост-процесорі програми.

Наприклад, тут можна розглянути об'ємну картину деформування середовища (рисунок 2.17). При розрахунку визначається швидкість частинок середовища (рисунок 2.18), розподіл тиску перед робочим органом (рисунок 2.19) і траєкторії руху частинок (рисунок 2.20), а також сили та моменти, що діють на робочий орган (рисунок 2.21).

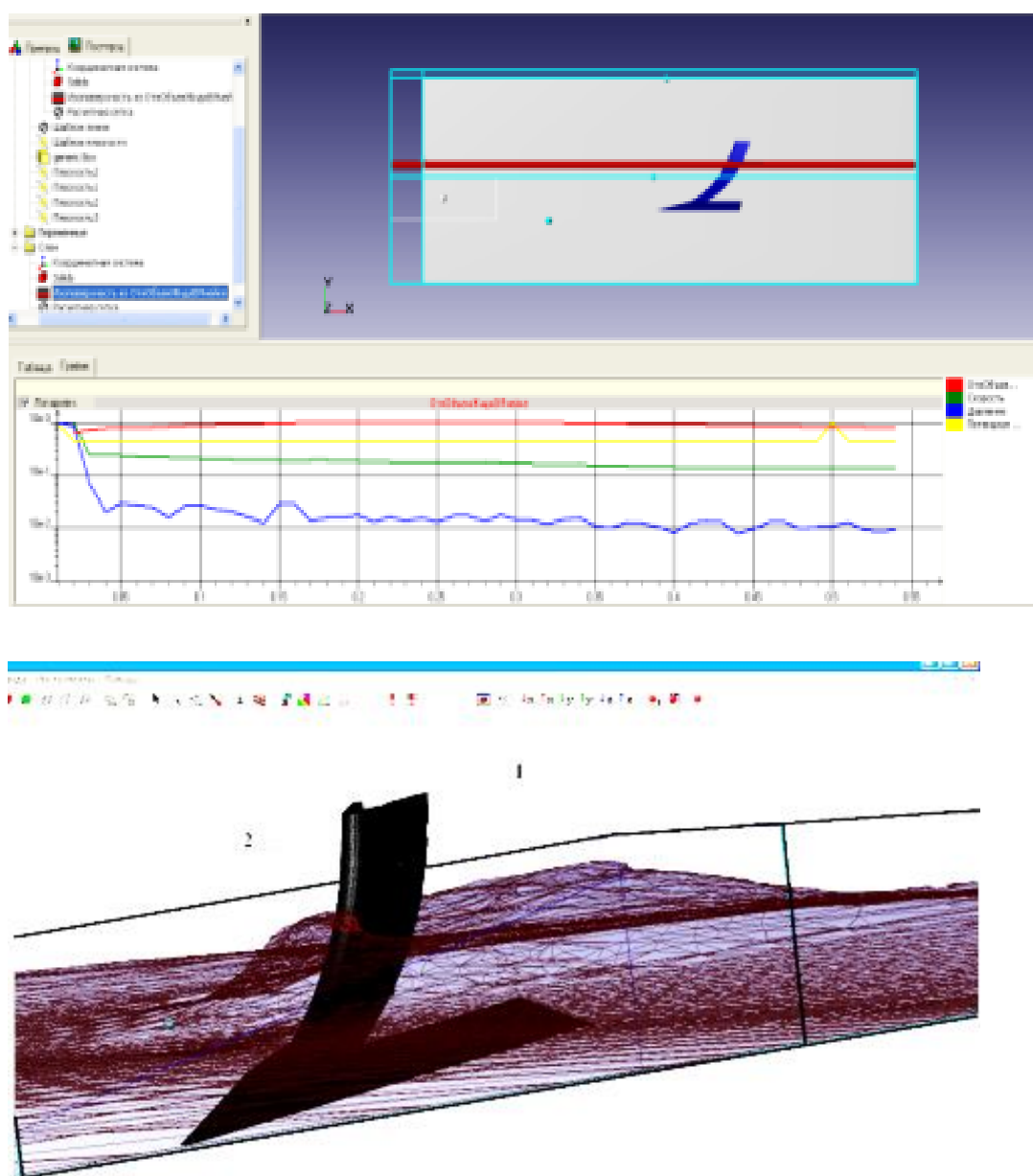


Рисунок 2.16 – Процес розрахунку.

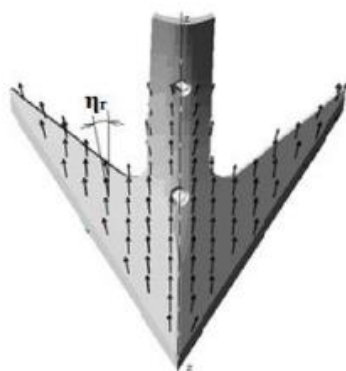


Рисунок 2.17 – Об'ємна картина деформування середовища робочим органом. 1 – поверхня ґрунтового середовища, 2 – робочий орган.

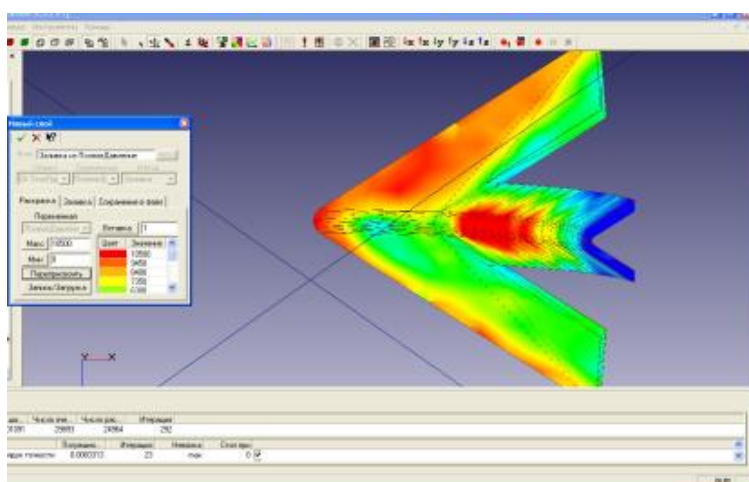


Рисунок 2.18 – Вектори швидкостей руху частинок по поверхні робочого органу

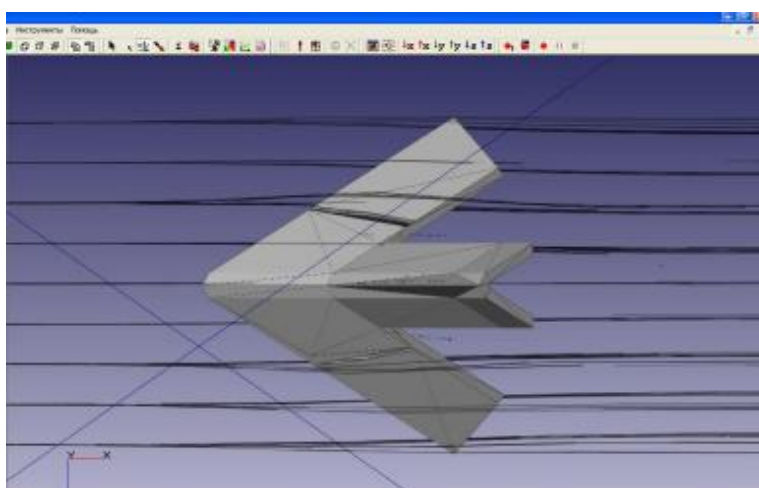


Рисунок 2.19 – Розподіл тисків на поверхні робочого органу.

Имя	Значение
Поток массы	0
ИнтегралX	28.9313
ИнтегралY	-57.3417
ИнтегралZ	6.6276
СилаСтренимX	54.8551
СилаСтренимY	-44.9597
СилаСтренимZ	0.415325
ОбщаяПлощадь	0.0992806
ТочкаПриложенияМоментaX	1.66963
ТочкаПриложенияМоментaY	-0.0202082
ТочкаПриложенияМоментaZ	0.995819
МоментX	0.205654
МоментY	0.143842
МоментZ	-0.554162
МоментБезТренияX	0.334553
МоментБезТренияY	-0.040762
МоментБезТренияZ	1.03086
Площадь	0.0887639
<f> по площади	586.105
Интеграл	52.025
Движущееся тело	Движущееся тело в Шаблон геометрии
ЦентрВращенияX	1.5
ЦентрВращенияY	-0.06
ЦентрВращенияZ	1
СилаСтренимX	54.0458
СилаСтренимY	-44.1252
СилаСтренимZ	-0.430441
МоментX	-0.0858505
МоментY	0.0844601
МоментZ	-10.1625
УголТангажа	-90
УголКрена	90
УголРыскания	-90

Рисунок 2.20 – Траєкторії руху частинок.

На основі розробленої моделі можна визначити траєкторію руху частинок при роботі робочого органу на схилах, силову навантаженість робочого органу. За отриманими даними можна оптимізувати геометричні та технологічні параметри ґрунтообробних робочих органів для забезпечення необхідних агротехнічних вимог та зниження величини зміщення ґрунту та механічної ерозії, а також для зниження енергоємності обробки ґрунту.

2.2 Експериментальна оцінка переміщення ґрунту робочим органом

Методика передбачає використання в дослідах ґрунт без внутрішніх зв'язків, тобто. коли пласт ґрунту діє лише робочий орган і сила тяжкості пласта. Цій умові відповідає сухий пісок, який був використаний під час проведення експериментальних досліджень.

На шар піску з боку леміша завжди діятиме лише сила R , і всі частинки, незалежно від глибини залягання в шарі, що рухається, будуть рухатися в напрямку цієї сили (рисунк 2.22). Так як на кожен частинку діє однакова за напрямом сила, то їх абсолютні та відносні траєкторії будуть однакові.

Якщо взяти на площині леміша точку L , то відповідною точкою, що лежить на лінії дії того ж вектора сил, точка L , що лежить на поверхні. Як видно із схеми, коли мічена частка, що знаходиться в точці L , досягне точки K , відповідна точка на поверхні L займе положення K . Так як на частинки, що лежать на леміші та на поверхні, діють однакові сили, їх траєкторії відносного руху будуть паралельні.

Вимірявши параметри руху «міченої» частинки ґрунту на поверхневому шарі, з певною похибкою можемо застосувати ці параметри для всього пласта ґрунту.

На цій підставі можна зробити висновок, що траєкторії відносного руху частинок на леміші і частинок поверхневого шару однакові. Тому при визначенні величин кутів за пропонованою методикою достатньо «мічену» частинку покласти на поверхню ґрунту і заміряти параметри траєкторії її руху.

Ці ж параметри матимуть усі частинки пласта ґрунту, що проходять через цей робочий орган.

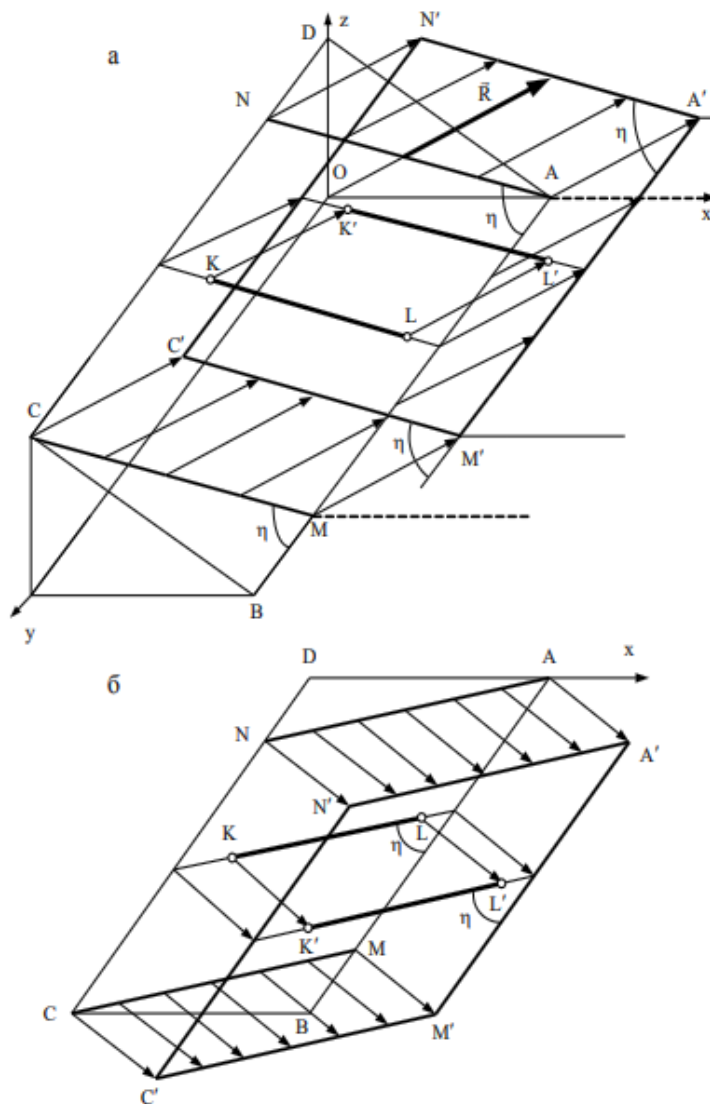


Рисунок 2.22 – Схема руху частинок пласта по робочому органу: а – загальний вигляд; б – вид зверху.

Розглянемо принцип визначення розглянутих кутів за допомогою додаткової площини (приладу) з прикладу кута η (рисунок 2.23). Нехай леміш ABCD переміщається у напрямку осі x (вигляд зверху). На висоті 10-15 см від леміша горизонтально закріпимо до стійки робочого органу прозору пластину (додаткову площину) UOPORON₀.

Для наочності розглянемо переміщення частинки поверхнею робочого органу.

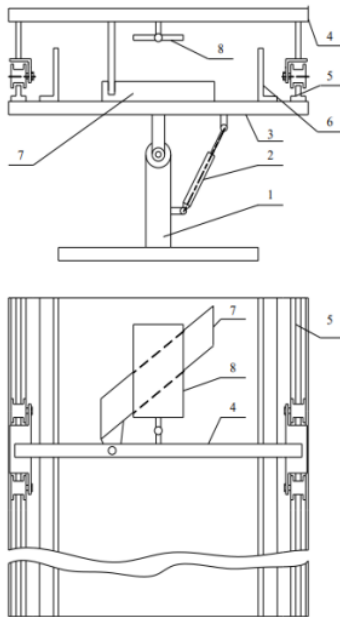


Рисунок 2.24 – Лабораторний стіл: 1 – опора; 2 – фіксатор; 3 – робоча поверхня; 4 – міст; 5 – рейка; 6 – щит; 7 – робочий орган; 8 – прилад.

Для визначення кутів і виміру зміщення ґрунту над робочим органом встановлюється прилад 8. Прилад (рисунок 2.25) кріпиться до мосту лабораторного столу за допомогою сферичної головки 9, який дозволяє кріпити прилад в будь-якому необхідному положенні в залежності від параметра, що знімається.

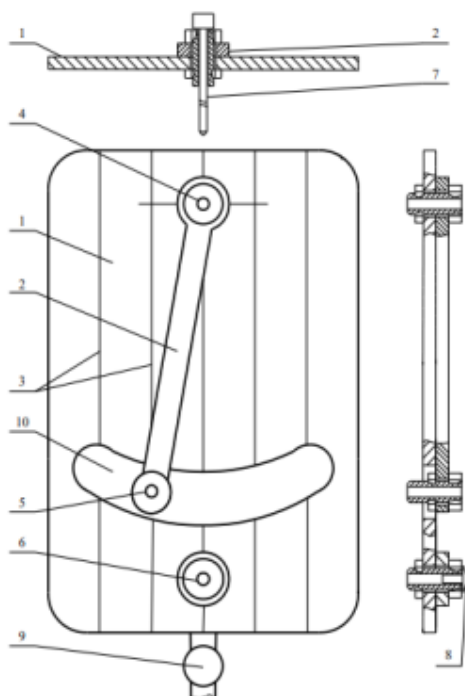


Рисунок 2.25 – Прилад визначення кутів: 1 – основа приладу; 2 - маятнікова пластина; 3 – лінії; 4, 5, 6 – болти з отвором та гайкою; 7 – стрижень; 8 – гострий штифт; 9 – сферична головка; 10 – вікно.

Прилад виготовлений з прозорого органічного скла (основи) 1, на якому проведені паралельні лінії 3 для установки приладу строго в потрібному напрямку (у напрямку руху робочого органу або паралельно лезу леміша).

На центральній лінії просвердлені два отвори для установки болтів з поздовжніми наскрізними отворами 4 і 6. Переднім болтом 4 (по ходу моста) кріпиться маятникова пластина 2. Задній болт 6 спільно з переднім показують напрямок осі приладу. На іншому кінці маятничкової пластини 2 закріплений болт 5 такої конструкції, який може переміщатися щодо переднього болта в межах вирізаного вікна 10. У центральний отвір болтів по необхідності встановлюється або стрижень 7 або гострий штифт 8.

Прилад працює в такий спосіб. Для визначення кута α прилад встановлюємо на міст для кріплення робочого органу лабораторного столу таким чином, щоб прилад знаходився паралельно поверхні столу, лінія симетрії була паралельна напрямку руху робочого органу і болти, що знаходяться на маятничковій платівці 2, знаходилися над зоною деформації ґрунту клином. Міст пересуваємо таким чином, щоб робочий орган занурювався у ґрунт та починав працювати. Зупиняємо міст, вводимо в отвір переднього болта 4 стрижень 7 до зіткнення з ґрунтом (піском). На точку зіткнення кладемо мічений точковий предмет (в дослідах використовувався шматочок повсті).

Потім витягаємо стрижень і пересуваємо міст до тих пір, поки мічений предмет не стане проти заднього болта 5 маятничкової пластинки 2. Встановлюємо стрижень 7 на цей болт і кінець стрижня встановлюємо над міченим предметом, повертаючи при цьому рухому пластинку 2 навколо переднього. Кут, утворений болтами 5, 4, 6, з вершиною на передньому болті 4 і буде показувати α .

Для зняття отриманого кута в отвір болтів встановлюємо гострі штифти 9. Беремо папір, який перекриває всі три болти, натискаємо через папір на штифти. При цьому на папері проколюються три отвори. З'єднавши ці точки, одержуємо кут α .

Вимір решти кутів виробляється за вищеописаною методикою.

2.3 Перевірка адекватності математичної моделі.

При виконанні даної роботи параметри траєкторії руху і зміщення ґрунту при переміщенні робочого органу в ґрунті визначені теоретично за розрахунковими формулами, моделюванням, використовуючи математичну модель технологічного процесу роботи робочого органу та експериментально в лабораторній установці.

Для використання моделі при обґрунтуванні раціональних параметрів робочих органів необхідно перевірити відповідність теоретичних та експериментальних даних із даними моделі. Для цього було проведено порівняння теоретичних та експериментальних даних з даними моделі для плоскорізних лап при русі агрегату поперек напрямку схилу для різних значень параметрів γ і ε і при різних крутизнях схилу Ω (таблиця 2.1), порівняння теоретичних даних та даних, отриманих за моделлю для культиваторних лап при русі агрегату впоперек схилу для різних параметрів робочого органу γ і ε і при різних крутизнях схилу (таблиця 2.2) та порівняння теоретичних даних та даних, отриманих за моделлю для робочого органу з параметрами $\gamma = 30^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$ при зміні напрямку руху агрегату щодо горизонталі поля (кута θ) та крутості схилу (при різних значеннях поперечного та поздовжнього нахилу робочого органу) (таблиця 2.3). На рисунках 2.26, 2.27 та 2.28 показані ці залежності у вигляді графіків для кожного варіанта по одній залежності.

Для отримання заданих у таблиці 2.3 конкретних значень нахилу робочого органу в поперечному та поздовжньому напрямках вводиться в математичну модель підібрані значення напрямку руху агрегату (кут θ) та необхідна крутість схилу Ω . Для деяких нахилів робочих органів такі значення напрямку руху та крутості схилу показані в таблиці 2.4.

Таблиця 2.1 - Зміна кута η для робочого органу плоскорізного типу при різних його параметрах ε і γ і крутості схилу Ω (рух уперек схилу)

Параметри		Спосіб отримання даних	Крутизна схилу, град						
ε	γ		-9	-6	-3	0	3	6	9
20	40	теоретич.	0,68	1,91	2,78	3,46	4,06	4,62	5,18
		моделюв.	-5,15	-3,42	0	6,54	8,21	16,05	18,1
		експеримент	1,9	2	1,8	2,2	5,6	7,2	8,1
	60	теоретич.	-2,54	-0,37	1,56	3,18	4,52	5,67	6,7
		моделюв.	-3,8	-4,32	1,78	6,85	7,87	8,47	13,86
		експеримент	-1,8	0	2	3	3,5	5,3	8
30	40	теоретич.	4,17	5,57	6,75	7,81	8,82	9,81	10,8
		моделюв.	-3,05	-2,75	1,76	7,88	8,83	16,4	17,41
		експеримент	1	3,6	5,5	8,4	7,8	9,8	12
	60	теоретич.	-1,07	2,15	5,04	7,58	9,84	11,87	13,78
		моделюв.	-5,4	0	5,4	5,91	6,25	6,52	8,13
		експеримент	0	1,5	3,2	6	8,5	11,1	14

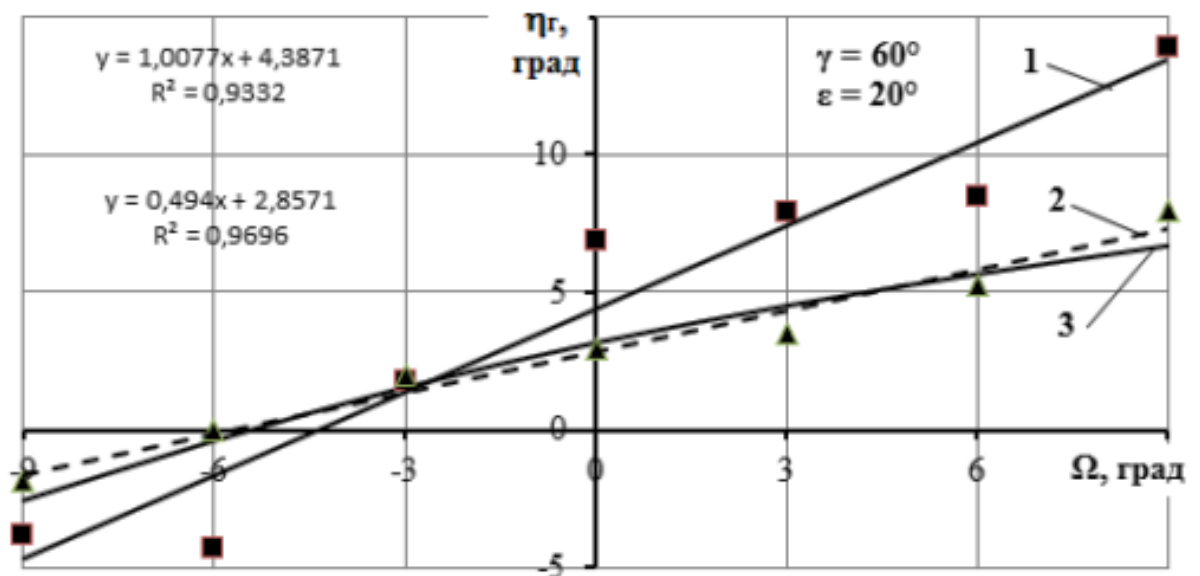


Рисунок 2.26 – Залежність кута $\eta\gamma$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 60^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами. 1 – за моделлю, 2 – експериментальні значення, 3 – теоретичні значення.

Таблиця 3.2 - Зміна кута η для культиваторних лап в залежності від його параметрів γ і ε і крутості схилу Ω при русі агрегату поперек схилу

Параметри		Спосіб отримання даних	Нахил схилу, град.				
ε	γ		-6	-3	0	3	6
20	30	теоретич.	2,28	2,66	2,99	3,32	3,69
		моделюв.	2,46	2,99	3,61	4,08	4,12
	31,25	теоретич.	2,77	2,7	3,07	3,43	3,82
		моделюв.	2,3	2,82	3,49	4	4,02
	32,5	теоретич.	2,25	2,74	3,14	3,53	3,94
		моделюв.	2,12	2,69	3,45	3,36	3,56
	33,75	теоретич.	2,22	2,76	3,21	3,63	4,06
		моделюв.	1,98	2,61	3,34	3,05	3,17
	35	теоретич.	2,18	2,78	3,27	3,73	4,18
		моделюв.	1,79	2,53	3,31	2,88	3,03
22	30	теоретич.	2,82	3,23	3,6	3,99	4,4
		моделюв.	3,66	3,57	3,69	4,24	4,5
	31,25	теоретич.	2,83	3,29	3,7	4,12	4,55
		моделюв.	3,69	3,63	3,63	4,26	4,52
	32,5	теоретич.	2,82	3,34	3,79	4,24	4,7
		моделюв.	3,75	3,7	3,57	4,28	4,58
	33,75	теоретич.	2,8	3,38	3,88	4,36	4,85
		моделюв.	3,79	3,79	3,49	4,39	4,66
	35	теоретич.	2,76	3,41	3,95	4,47	4,99
		моделюв.	3,9	3,83	3,42	4,55	4,7
24	30	теоретич.	3,41	3,85	4,27	4,71	5,17
		моделюв.	3,96	3,85	3,77	3,84	3,89
	31,25	теоретич.	3,43	3,93	4,39	4,86	5,35
		моделюв.	4,01	3,99	3,81	3,91	3,99
	32,5	теоретич.	3,43	3,99	4,5	5	5,53
		моделюв.	4,07	4,13	3,83	3,93	4,16
	33,75	теоретич.	3,43	4,05	4,6	5,14	5,7
		моделюв.	4,21	4,19	3,85	4,23	4,29
	35	теоретич.	3,41	4,1	4,7	5,28	5,86
		моделюв.	4,29	4,22	3,88	4,51	4,4

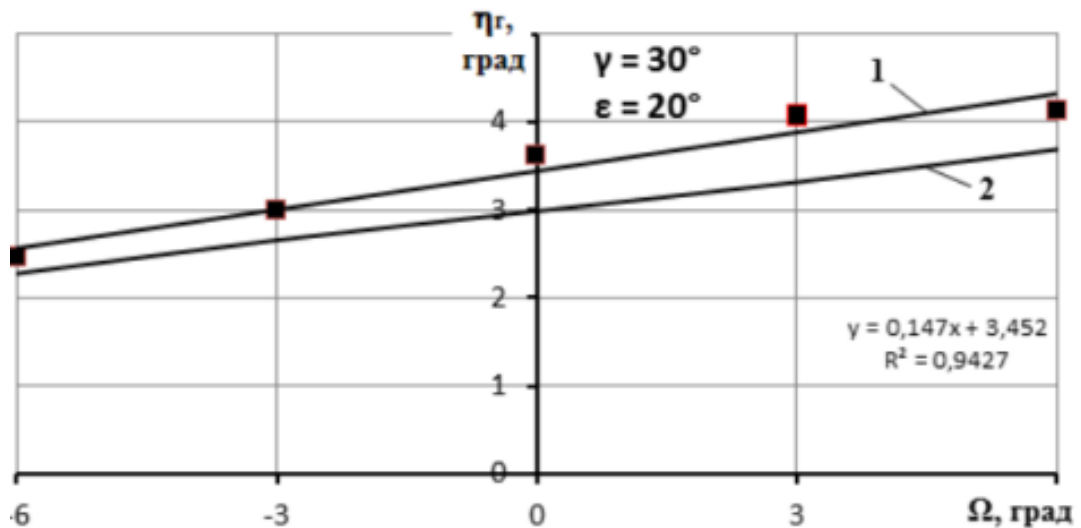


Рисунок 2.27– Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 30^\circ$ та $\epsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1- за моделлю, 2- теоретичні значення

Таблиця 3.3 – Зміна кута η_g для культиваторної лапи з параметрами $\gamma = 30^\circ$ та $\epsilon = 20^\circ$ залежно від поперечного та поздовжнього нахилів робочого органу.

Поперечний нахил робочого органу	Спосіб отримання даних	Поздовжній нахил робочого органу назад, град			0	Поздовжній нахил робочого органу вперед, град		
		-9	-6	-3		3	6	9
		Величина кута η_r						
-6	теорет.	-0,43	0,64	1,54	2,28	2,94	3,57	4,24
	модельов.	0	1,99	2,39	2,46	3,01	4,07	5
-3	теорет.	-0,12	0,88	1,79	2,66	3,5	4,36	5,37
	модельов.	1,32	2,67	3,25	4,19	5,09	5,99	7,03
0	теорет.	0,36	1,2	2,07	2,99	3,95	4,99	6,11
	модельов.	1,56	2,13	2,59	3,61	4	5,12	7,39
3	теорет.	0,8	1,62	2,43	3,32	4,34	5,47	6,78
	модельов.	2,23	3,93	4,11	4,72	5,13	6,68	7,5
6	теорет.	1,35	2,44	2,79	3,69	4,73	5,,9	7,21
	модельов.	2,9	4,01	4,45	5,23	5,85	7,35	7,99

Графіки залежностей інших параметрів робочого органу γ і ε та інших напрямів руху агрегату, побудовані за даними таблиць 3.1-3.3 наведено у додатку Д.

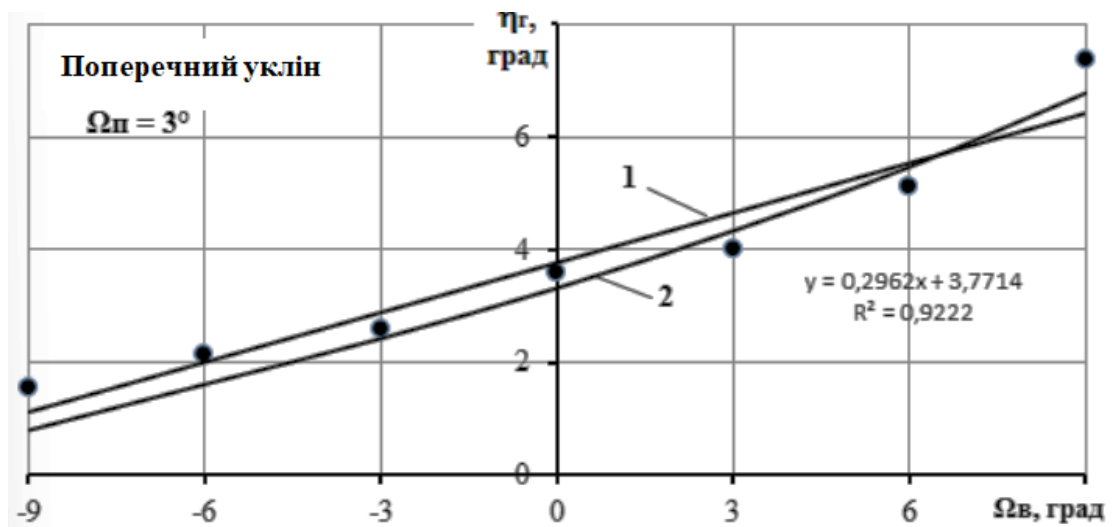


Рисунок 2.27 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від поздовжнього нахилу $\Omega_{\text{в}}$ робочого органу з параметрами $\gamma = 30^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$ при поперечному нахилі робочого органу 3° . 1 – за моделлю, 2 – теоретичні значення.

Таблиця 3.4 - Зміна напрямку руху агрегату θ і крутості схилу Ω для отримання певних нахилів робочого органу в поперечному та поздовжньому напрямках $\Omega_{\text{п}}$ і $\Omega_{\text{в}}$.

θ , град	27	45	45	56	63	72	135	207	252	304	333
Ω , град	6,7	4,25	8,45	10,7	6,7	9,6	4,25	6,7	9,6	10,7	6,7
$\Omega_{\text{п}}$, град	6	3	6	6	3	3	-3	-6	-3	6	6
$\Omega_{\text{в}}$, град	3	3	6	9	6	9	3	-3	-9	-9	-3

Аналіз отриманих даних показує відповідність результатів моделювання даним теоретичних та експериментальних досліджень, що дає можливість використання методу моделювання для визначення кутів, що характеризують траєкторію руху ґрунту по робочому органу, визначення зміщення ґрунту, оцінки величини механічної ерозії, а також для отримання силових і кінематичних параметрів при роботі робочого органу на схилах.

3.4 Реалізація математичної моделі технологічного процесу та обґрунтування параметрів робочих органів

З урахуванням коригування параметрів області розрахунку та системи рівнянь (3.1) розроблена математична модель процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом за його роботи на схилах різної крутості. Чисельна реалізація даної моделі зроблено у програмному комплексі FlowVision.

Результати реалізації моделі процесу роботи стрілкового робочого органу з визначення тягового опору при глибині обробки ґрунту 8 см і швидкості руху 3 м/с показані в таблицях 3.5-3.6 та на рисунках 3.36-3.37.

Таблиця 3.5 – Зміна опору робочого органу залежно від кута 2γ та крутості схилу при $\varepsilon = 24^\circ$.

Крутизна схилу Ω , град	Угол 2γ , град				
	60	62,5	65	67,5	70
0	90,94	93,69	97,01	106,45	108,39
3	88,61	88,96	94,99	96,15	98,32
6	80,80	87,91	90,12	96,06	96,51

Таблиця 3.6 – Зміна опору робочого органу залежно від кутів 2γ та ε при крутості схилу $\Omega = 3^\circ$

2γ , град	ε , град		
	20	22	24
60	69,00	76,84	88,61
62,5	74,29	78,75	88,96
65	77,18	87,65	94,99
67,5	83,58	93,17	96,15
70	88,71	94,09	98,32

У таблиці 3.5 представлені значення складової опору робочого органу по горизонталі R_x від зміни кута розчину лапи 2γ і крутизни схилу Ω при куті установки леміша на дно борозни $\varepsilon = 24^\circ$, а на рисунку 3.36 – їх графічна інтерпретація.

Як видно з рисунка 2.28, опір робочого органу R_x збільшується при збільшенні кута розчину лапи 2γ . Зі збільшенням крутості схилу відбувається деяке зниження тягового опору, яке можна пояснити зменшенням нормальної складової сили тяжіння пласта.

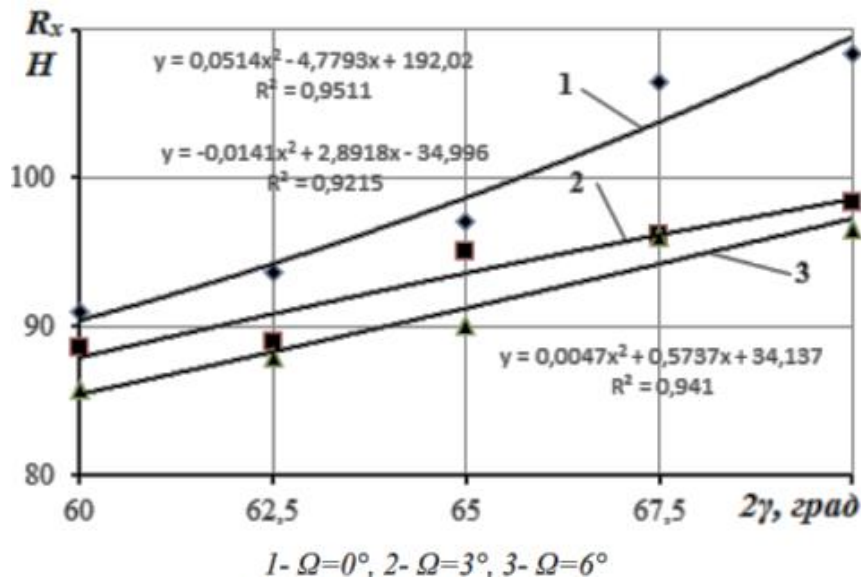


Рисунок 2.28 – Залежність тягового опору робочого органу від зміни кута 2γ та крутості схилу Ω при $\epsilon = 24^\circ$.

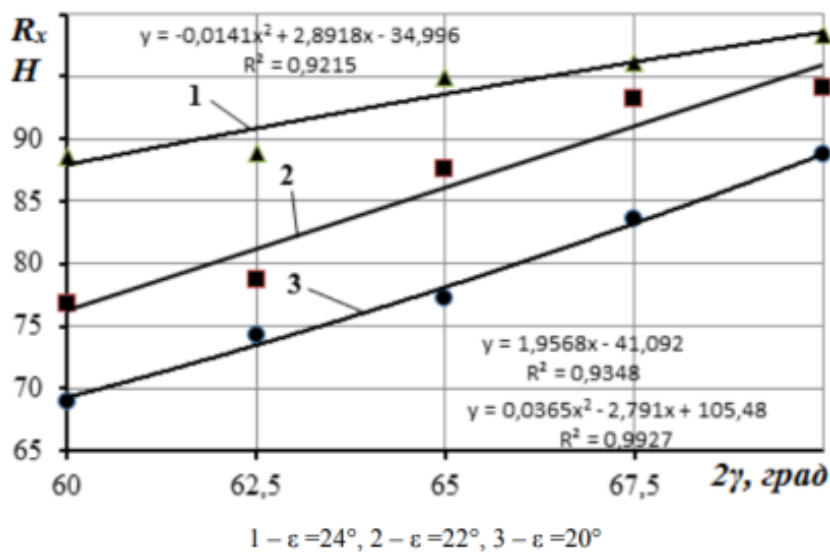


Рисунок 2.29 – Залежність опору робочого органу від кута 2γ при різних кутах ϵ і крутості схилу $\Omega = 3^\circ$

У таблиці 3.6 представлені значення складової опору робочого органу горизонталі R_x від зміни кутів 2γ і ϵ при крутості схилу $\Omega = 3^\circ$. На рисунку 3.37 показані дані залежності у графічному вигляді.

З рисунка 2.29 видно, що зі збільшенням кутів і 2γ відбувається збільшення тягового опору.

Реалізація розробленої моделі процесу взаємодії робочого органу стрілкового типу з ґрунтом дозволила встановити, що на його тяговий опір має істотне значення, як конструктивні параметри, так і крутість схилу. При роботі на схилах найбільш кращим є стрілковий робочий орган з кутами розчину лапи $2\gamma = 60 \dots 65^\circ$ і установки леміша на дно борозни $\varepsilon = 20^\circ$.

Для створення щільного насінневого ложа та скорочення кількості операцій при обробі зернових культур широко використовуються лапові сошники, за допомогою яких відбувається поєднання операцій передпосівної культивування та посіву. Недоліком лапових сошників є, по-перше, те, що вони, як було показано в другому розділі, розсувають ґрунт у дві сторони, залишаючи після себе розвальну борозну. При цьому закладення насіння відбувається за рахунок самоосипання поверхневого шару ґрунту, де вологість набагато менша, ніж на глибині посіву. І це погіршує умови проростання насіння, що у результаті призводить до зниження врожайності культур. І по-друге, на схилах призводять до механічної ерозії.

Ця проблема вирішується при встановленні на робочій поверхні лапи з обох сторін напрямників (рисунок 2.30) [17].

За відсутності напрямників ґрунт переміщається убік від стійки під кутом $\eta\gamma$ (рисунок 3.39а). При їх установці ґрунт, що знаходиться між напрямниками починає переміщатися вже у бік стійки, тим самим заповнюючи обсяг борозенки (рисунок 2.3б).

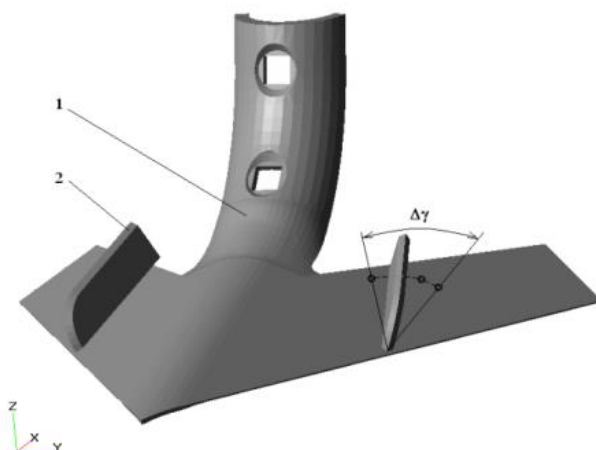


Рисунок 2.30 – Робочий орган. 1 – лапа; 2 – напрямник

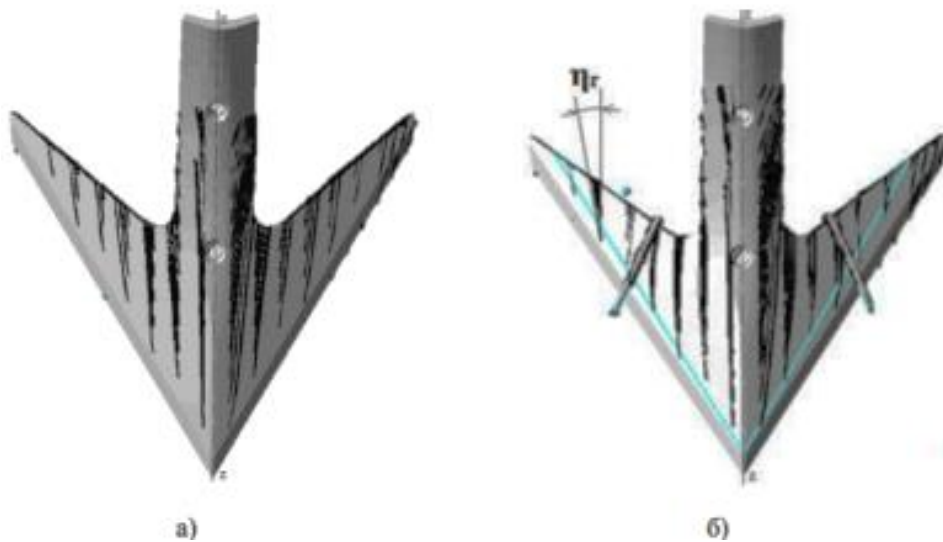


Рисунок 2.31 – Траєкторії руху частинок ґрунту по робочому органу: а – без пристроїв; б – з напрямниками ($\square\square=250$).

Також змінюється напрямки векторів швидкостей частинок, які переміщуються по робочому органу (рисунок 2.32).

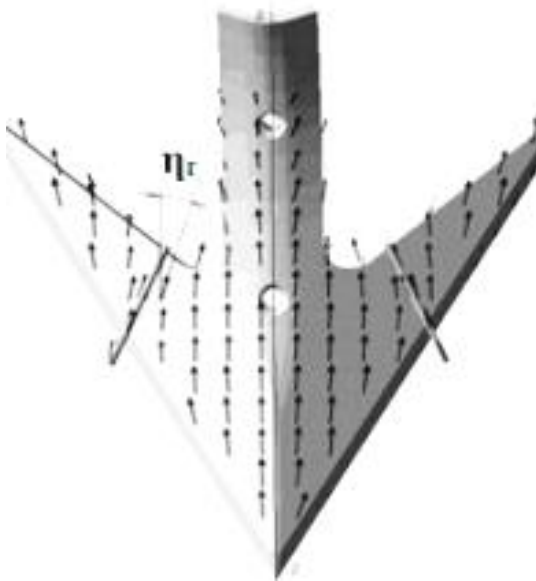


Рисунок 2.32 – Вектори швидкостей частинок ґрунту на поверхні лапи з додатковими напрямниками ($\square\square=250$)

Як видно з рисунка 2.33а без встановлення напрямника за стійкою робочого органу залишається не заповнена частинками область. При встановленні напрямників частинки ґрунту переміщуються в центральну частину дна борозни (рисунок 2.33б).

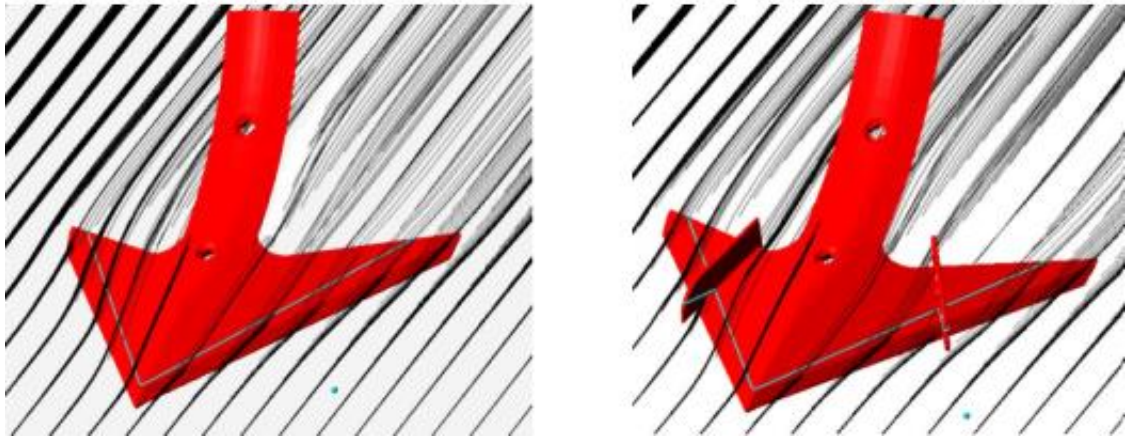


Рисунок 2.33 – Траєкторії руху частинок ґрунту: а - без додаткових пристроїв; б - з додатковими напрямниками ($\Delta\gamma = 25^\circ$)

Для обґрунтування параметрів напрямників були проведені експерименти при різних кутах установки відкриток $\square\square$ до напрямку руху. На рисунку 2.34 показаний розріз профілю поля після проходу лапи за різних кутів установки напрямників. При кутах $\Delta\gamma$ в межах 0-200 профіль поверхні поля стає більш вирівняним порівняно із серійним робочим органом без додаткових пристроїв. Глибина борозенки після проходу серійної лапи становить 3 см, а при встановленні додаткових відкритків під кутом в діапазоні 0...20 $^\circ$ знижується приблизно на 18...40%.

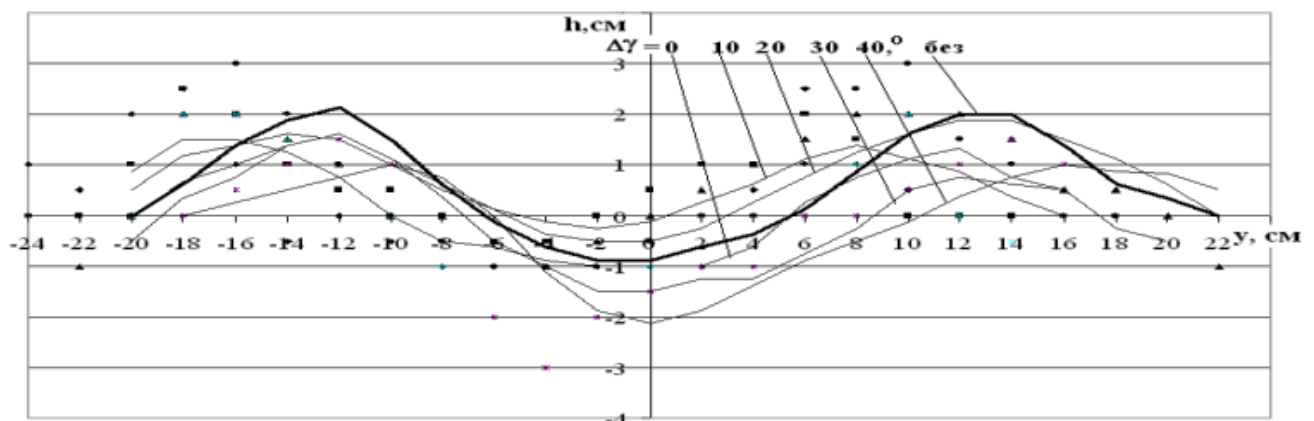


Рисунок 2.34 – Поперечний профіль гребенів після проходу робочого органу.

Подальше збільшення кута установки відкриток веде до звантаження ґрунту перед лапою. Тому оптимальний кут установки додаткових відкриток знаходиться в межах 0–20 $^\circ$.

Крім цього, встановлення напрямників забезпечує краще фарбування ґрунту та загортання насіння нижніми вологими шарами ґрунту.

Як видно з рисунка 3.42, борозна, що утворюється при встановленні напрямників під кутом $\Delta\gamma = 10^\circ$ має мінімальні розміри по ширині і глибині. За допомогою математичної моделі перевіримо впливи напрямників на зміну величини механічної ерозії ґрунту. Необхідно відзначити, що їх установка призводить до поділу потоку ґрунту по крилу стрілчастої лапи. У зовнішніх зонах лапи далі напрямників переміщення ґрунту відбувається в сторони від стійки (коли крутість схилу менше критичної), а між напрямителями ґрунт переміщається у бік до стійки. Тобто. звичне уявлення про те, що нижнє крило штовхає ґрунт вниз не виходить, і частина нижнього крила ближче до стійки робочого органу від напрямника починає штовхати ґрунт вгору. Тому механічна ерозія для внутрішньої зони визначається вже як різниця між зміщенням ґрунту верхнім крилом лапи та нижнім. Нам залишається лише перевірити, чи це призводить до збільшення механічної ерозії.

З цією метою візьмемо робочий орган з параметрами $2\gamma = 60-70^\circ$ і $\varepsilon = 20^\circ$ і порівняємо механічну ерозію ґрунту без напрямників і із двома варіантами їх установки: під кутом $\Delta\gamma = 10^\circ$ і $\Delta\gamma = 16^\circ$ (таблиця 3.7, Рисунок 2.35 та малюнки у додатку Е) при різних параметрах робочого органу 2γ та ε .

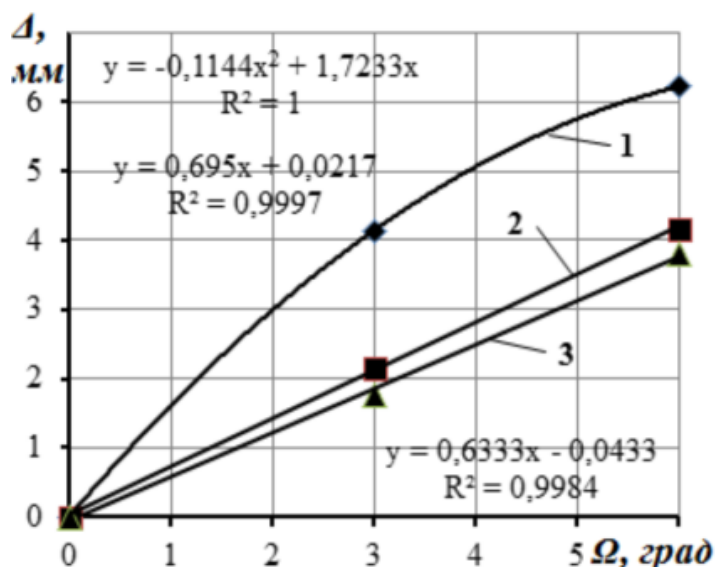


Рисунок 2.35— Залежність механічної ерозії Δ від установки напрямників ґрунту та їх параметрів $\Delta\gamma$ та крутості схилу Ω при параметрах робочого органу $\varepsilon = 20^\circ$ та $2\gamma = 60^\circ$

Як видно з графіку (рисунок 3.43), установка направників призводить до зниження механічної ерозії при всіх розглянутих параметрах робочого органу. Крім цього, збільшення кута їхнього відхилення від поздовжньої осі призводить до зменшення механічної ерозії. Тому рекомендується для зниження механічної ерозії встановлювати відбивачі під кутом $\Delta\gamma = 10\div 20^\circ$.

Висновки по розділу.

1. Розроблено математичну модель технологічного процесу обробітку ґрунту на схилах різними типами робочих органів.

2. Встановлено початкові та граничні умови математичної моделі технологічного процесу обробітку ґрунту з урахуванням крутості схилів.

3. Розроблено методику реалізації математичної моделі процесу обробітку ґрунту на схилах, яка дозволяє використовувати дану математичну модель при роботі робочого органу на схилах різної крутості.

4. Розроблено методику експериментального визначення траєкторій руху та зміщення ґрунту робочим органом шляхом відображення їх проєкцій на додаткову площину та виготовлено лабораторну установку.

5. Проведено порівняння результатів досліджень, отриманих теоретичним способом на основі розрахункових формул, методом моделювання на ЕОМ на основі розробленої математичної моделі та експериментальним шляхом. Результати показали ідентичність отриманих даних, що підтверджує адекватність даних теоретичних і результатів моделювання реального процесу. Це дозволяє використовувати метод моделювання для обґрунтування параметрів робочих органів на схилах різної крутості, що знижують механічну ерозію.

6. Обґрунтовано основні шляхи зниження механічної ерозії при використанні існуючих робочих органів:

- при обробці ґрунту використовувати стрілочасті лапи з кутом розчину $2\gamma = 60\div 65^\circ$ та кутом кришення $\varepsilon = 20^\circ$;

- Установка на лаповий сошник направників під кутом $\Delta\gamma = 10\div 20^\circ$.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМПЛЕКСИ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА НА СКЛОНОВИХ АГРОЛАНДШАФТАХ.

3.1 Вплив технологічних прийомів на зниження ерозійних процесів у ґрунті.

Нами 2 було встановлено, що механічна ерозія ґрунту залежить від типу робочих органів, їх параметрів, крутизни схилу, напрямки руху агрегату щодо горизонталі поля та кількості обробок. Кількість обробок і тип використовуваних робочих органів багато в чому залежить від технології обробітку сільськогосподарських культур. А кількість обробок у свою чергу впливає на механічну ерозію. Тому для збереження ґрунту від механічної ерозії необхідно вибирати ті технології обробітку культур і використовувати при цьому робочі органи, які дозволять знизити механічну ерозію.

Водна ерозія також залежить від технології обробітку культур, від використовуваних робочих органів, крутості схилу та погодно-кліматичних умов року.

При використанні енергозберігаючої технології за рахунок зменшення кількості обробок і глибини навіть на схилах 6 ° механічна ерозія верхнього шару ґрунту знижується і не перевищує 15 мм. Тоді навіть при використанні ґрунтозахисної технології механічна ерозія в окремих випадках сягає 35 мм. Тому використання мінімальної обробки ґрунту під окремі культури слід вважати пріоритетним напрямом у справі зниження механічної ерозії. Однак для підтримки щільності ґрунту в оптимальних межах, зниження змиву ґрунту, більшого збереження вологи в ґрунті, а також при обробітку бобових і просапних культур ми змушені виробляти через 2-3 роки глибоку обробку ґрунту.

Використання ґрунтозахисної технології вирощування сільськогосподарських культур спрямоване на захист ґрунту від ерозій за рахунок зниження стоку води та збільшення кількості поглинається вологи. При цьому основна обробка ґрунту проводиться безвідвальними знаряддями, такими як плоскоріз-щілинник, плуги із стійками СибіМе, чизелі. Як видно з

таблиці 2.1 на схилах 6° використання плоскорізів-щілинників і плугів зі стійками СибіМЕ призводить до загального зміщення ґрунту на всій глибині обробки на 18–20,5 мм, а загальне зміщення з урахуванням передпосівної культивування і посіву доходить 33–35 мм. Тому на схилах понад 5 ° необхідно для основної обробки використовувати чизельні знаряддя, які ведуть до зниження механічної ерозії. Резервом для зниження механічної ерозії при ґрунтозахисній технології залишається заміна стрілочастих робочих органів на розпушувальні при передпосівній культивуванні.

При використанні традиційної технології обробітку зернових культур усі використовувані машини призводять до зростання механічної ерозії.

З цього числа обробок розглянемо ті операції, у яких як робочого органу використовується частина тригранного клина. До цих операцій належать:

- основне обробіток ґрунту на глибину до 30 см;
- культивування на глибину 10...12 см;
- передпосівна культивування на глибину 8...10 см;
- міжрядне оброблення на глибину 10 ... 12 см;
- міжрядне оброблення на глибину 7 ... 8 см;
- міжрядне оброблення на глибину 5 ... 8 см.

3.1.2 Вплив технологій та машин на водну ерозію

Системи обробки ґрунту для зниження деградаційних процесів повинні використовуватися з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов зони.

За роки спостережень атмосферні опади випадали в достатній кількості, проте в період вегетації розподілялися дуже нерівномірно; опади влітку часто були у вигляді зливових дощів, що призводить до змиву ґрунту.

Територія господарства, де було закладено дослід, загалом має хвилясто-овалистий, слабогорбистий характер, із загальним ухилом території на південь. Основне ґрунтове дно утворюють різні підтипи сірих лісових ґрунтів. Потужність орного шару знаходиться в межах від 24 см у незмитих до 18 см у сильнозмитих ґрунтів [14].

За умовами рельєфу площі сівозмін розміщуються на ділянках з ухилами: до 1 - 6,5%; 1-2° - 21,5%; 2-3 - 37%; 3-5° - 21% і понад 5° - 14% [14].

Основна обробка проводиться відвальним способом. Розташування 72% ріллі на схилах крутістю понад 2° веде до сильного змиву ґрунту та появи механічної ерозії, про що свідчить мала товщина орного шару (18-24 см). Тому в умовах зони необхідно було вивчити та обґрунтувати можливість використання інших способів обробки ґрунту та посіву, які призвели б до зменшення змиву та механічної ерозії ґрунту без зниження врожайності оброблюваних культур.

Можливість зниження інтенсивності водної ерозії на схилах показують чотирирічні дані, отримані на дослідному полі і виробничих полях господарства. Було визначено кількість змитого ґрунту талими водами на полях різної крутості, зораних уздовж схилу: на схилі 2 - 4,6 м³/га, на схилі 3 - 37,4 м³ / га, 4 - 53,8 м³ /га і схилі 6° – 146,8 м³/га, тобто у разі поля втратило рівномірний шар ґрунту 1,5 див [1, 13, 16].

Змив ґрунту на полі з крутістю 3°, зораному поперек схилу склав 10,5 м³/га, тобто. тільки за рахунок зміни напрямку оранки можна скоротити змив ґрунту в 3-4 рази. Однак вже при крутості схилу 3 основна відвальна обробка поперек схилу не припиняє змив ґрунту, а тільки знижує його.

Як показують дані по змиву (Додаток Ж), отримані на дослідному полі, при проведенні основної обробки ґрунту без обігу пласта наявність стерні і кореневої системи рослин на поверхні ґрунту підвищує протиерозійну стійкість ґрунту, зменшує глибину промерзання ґрунту за рахунок більшої товщини снігу, збільшує водопроникність ґрунту. Плоскоріз-щілинник [12, 16] на схилах до 3-4 ° практично виключає змив ґрунту, одночасно збільшуючи кількість ґрунтової вологи.

Водної ерозії від зливових дощів піддаються парові поля

Таким чином, при виборі технологій на схилах необхідно врахувати їх вплив на водну та механічну ерозію.

Незважаючи на ці негативні сторони, багато господарств для вирішення питань щодо зниження витрат при вирощуванні культур і для збереження ґрунту починають переходити на мінімальні та нульові системи обробки ґрунту та посіву. При цьому основою для переходу стає придбана ґрунтообробна або посівна техніка. Вважається, що якщо техніка є, отже, основна проблема з переходу вирішена.

Однак до переходу на мінімальну та нульову систем обробки ґрунту та посіву необхідно підійти комплексно – необхідно знати можливості саморозуцільнення ґрунту, провести підготовчі роботи.

З вищесказаного можна зробити такі висновки:

1. Процес прогресуючої деградації ґрунтів свідчить про нагальну необхідність організувати гнучку систему використання земель, яка б максимально уникнути зниження їх родючості, виведення з сільськогосподарського обороту зе-мель. Цьому сприятиме перехід на мінімальну обробку ґрунту і навіть на прямий посів зернових культур.

2. При переході особливо в нульові технології необхідно агрономічній службі провести ретельний аналіз по можливості ґрунту саморозуцільнюватися. Якщо ґрунту цієї властивості немає, то від нульової технології необхідно відмовитися, а роботи вести тільки в напрямку переходу в мінімальні технології.

3. За результатами польових дослідів можна зробити такі висновки:

а) При вирощуванні сільськогосподарських культур за будь-якою технології необхідно чітко виконувати технологію. Тільки при цьому ми можемо отримати бажану врожайність.

б) Мінімальна технологія передбачає зменшення глибини обробітку ґрунту та зменшення кількості обробітків, а не повне виключення обробітку ґрунту. Тому навіть проведення передпосівної культивуації при посіві сівалкою призвело до поліпшення структури врожаю та підвищення врожайності. Необхідно для отримання врожаю проводити осінню поверхневу основну обробку ґрунту.

в) Головною відмінністю нульового посіву є те, що знищенням бур'янів займаються гербіциди суцільної дії.

г) Досліди показали, що використання дискових сошників має переваги в порівнянні з лаповими сошниками.

д) Використання лапових сошників призводить до більшого висушення ґрунту, що погіршує умови куціння рослин та розвитку.

4. Виходячи з вищесказаного, при переході на мінімальну і нульову технологію обробітку культур необхідно проводити всі передбачені операції, тобто. не треба займатися спрощенням технологій. Якщо в даний період у господарстві немає такої можливості щодо виконання технологічної дисципліни, то поки краще обробляти культури за традиційними технологіями.

3.2.2 Перспективні напрямки вдосконалення технологій вирощування зернових культур.

Враховуючи неминуче наростання негативних екологічних наслідків. Сутність агроландшафтного землеробства полягає в більш раціональному використанні всіх природних взаємопов'язаних ресурсів, установленні рівноваги в обміні енергії та забезпеченні розширеного відтворення відновлюваних ресурсів, перш за все - родючості ґрунту [2].

Головними принципами адаптації землеробства є [2, 15]:

- Підбір адаптивних рослин, що забезпечують стійку продуктивність екосистем;
- рівновага антропогенного впливу на ґрунт, рослини та навколишнє середовище, яке не повинно перевищувати межі, за яким йде зниження продуктивності агроекосистеми, погіршується екологічна обстановка.

При переході (освоєння) на адаптивно-ландшафтні основи систем землеробства необхідно виконати такі етапи робіт:

- 1) повна інвентаризація земель з метою уточнення виробничого використання їх залежно від реальної родючості ґрунтів;

2) оптимізація структури використання ріллі, посівів зернових, технічних та кормових культур на основі підбору культур та сортів, найбільш адаптованих до місцевих умов;

3) організація території та господарств на ландшафтно-контурній основі з урахуванням гідрологічного та вітрового режимів місцевості (полів, робочих ділянок);

4) коригування сівозмін, системи обробки ґрунту, системи добрив та інших організаційно-технологічних рішень при контурно-ландшафтній організації території.

Одним з головних принципів підвищення стійкості виробництва рослинницької продукції є адаптивний підхід до структури використання ріллі, який включає наступні основні елементи [13, 14, 18]:

- сильноеродовані поля на крутосхильних землях відвести під залуження або ґрунтозахисні сівозміни;

- більш родючі площі ріллі використовувати для обробітку інтенсивних польових культур виходячи з зональної та господарської спеціалізації виробництва;

Дослідження показали, що на схилах полів, на слабоеродованих вилюжених, типових і опідзолених чорноземах врожайність ярої пшениці знижується на 18-20%, середньоеродованих - на 36-44, сильноеродованих на 58-63, на темно-сірих і сірих лісах ґрунтах – відповідно на 20-27, 39-46 і 55% порівняно з нееродованими ґрунтами. На еродованих ґрунтах особливо різко знижується врожайність технічних та круп'яних культур [25]. Тому необхідно врахувати ці особливості еродованих ґрунтів.

Чергування на схилах полів різних культур зменшує дію водної ерозії. Поля багаторічних трав та озимих служать у цьому випадку буферами при весняному стоку снігової води та зливових дощів.

В умовах орієнтації землеробства на адаптивно-ландшафтні основи система обробки ґрунту в сівозмінах, крім обліку ґрунтово-кліматичних умов, повинна відповідати біологічним особливостям оброблюваних культур,

забезпечувати енергоресурсозбереження та охорону навколишнього середовища [20, 22].

На мінімальні та нульові обробітки ґрунту можна переходити для всіх культур у сівозміні або ж тільки для окремих культур у сівозміні. У разі реальнішим виходить другий варіант, тобто. мінімальну обробку необхідно використовувати лише окремих культур.

Багаторічні дослідження показали, що в степовій зоні в зернопаропропашних сівозмінах найбільш раціональними є комбінована плоскорізно-плужна і безвідвально-мінімальна системи обробки чорноземів типових і карбонатних [12].

На важкосуглинистих чорноземах більш ефективно чергування глибокої безвідвальної обробки при підйомі чорної пари, і традиційної різноглибинної оранки і мінімальної обробки під окремі культури сівозміни.

На чорноземних ґрунтах північного і північно-східного лісостепу система обробки повинна бути спрямована на поступове поглиблення і окультурення орного шару шляхом поєднання традиційної оранки і глибоких безвідвальних розпушування знаряддями з чизельними робочими органами і спеціальними ґрунтопоглиблювачами, в т.ч. в осінній період на зяб. У зв'язку з тим, що зернові культури не вимагають свого розвитку глибокооброблений фон, то зяблеву обробку під зернові культури протягом 2-3 років можна проводити за мінімальною технологією [12].

Основна обробка та посів сільськогосподарських культур на схилах проводяться поперек схилів і по горизонталі рельєфу. Це одна з основних вимог адаптивно-ландшафтного землеробства та контурно-меліоративної організації території.

Мінімальна обробка рекомендується в зернопарових сівозмінах з короткою ротацією в степових районах, на ґрунтах пухкої складання з рівноважною щільністю не більше 1,2 г/см³ [5].

Обсяги та кратність окремих видів основної обробки (відвальної, безвідвальної глибокої та дрібної, плоскорізної, мінімальної, нульової)

вибираються в залежності від типів ґрунту та їх механічного складу, посушливості клімату та складу культур у сівозміні, місця культури у сівозміні, ступеня засміченості ґрунту та посівів.

Повний перехід до ґрунтозахисних і енергозберігаючих технологій вимагає від сільгосптоваровиробників великих капітальних витрат.

У всіх технологіях обробки ґрунту та посіву необхідно забезпечити енерго та ресурсозбереження: при традиційній технології – за рахунок суміщення операцій використанням комбінованих машин, при мінімальній технології – за рахунок використання широкозахватних комбінованих машин з малим питомим опором або в деяких випадках за рахунок виключення деяких операцій, за нульової технології – за рахунок використання широкозахватних ґрунтообробних машин з малим питомим опором на метр ширини захвату.

3.2.3 Рекомендовані технології та комплекс машин для вирощування зернових культур.

Використовувані в господарствах різні технології обробітку сільськогосподарських культур розроблені протягом багатьох років і дають позитивні результати при виконанні технологічних операцій у визначені терміни з машинами, забезпеченими робочими органами, що відповідає умовам зони та типу ґрунту. При цьому застосовувані робочі органи повинні виконувати технологічні операції відповідно до агротехнічних вимог і створювати умови для зростання і розвитку сільськогосподарських культур.

На практиці необхідно застосовувати технологію, знаряддя або агрегат, робота якого забезпечить максимальний прибуток: $\Pi - Z = \max$,

де Π – вироблена продукція у грошах; Z - витрати (праця + капітал + енергія + матеріали) у грошовому вираженні.

В останні роки у зв'язку з поступовим переходом до адаптивно-ландшафтної системи землеробства з'явилася можливість приймати конкретні рішення щодо системи обробітку ґрунту.

На основі аналізу вимог різних культур до створення певної структури та щільності ґрунтів, з урахуванням необхідності накопичення вологи та економного її використання, а також економічних та екологічних факторів, колективом вчених розроблено універсальну ресурсо-зберігаючу технологію обробітку ґрунту, яка передбачає при- змін комбінованих і універсальних знарядь з різними типами робочих органів стосовно різних типів ґрунтів і оброблюваної культури в ланках сівозміни. Однак вона застосовна тільки для рівнини. Нами проведено її вдосконалення для можливості використання і на схилах з урахуванням їхньої крутості.

Вибрана технологія обробітку ґрунту включає після збирання зернових з розкиданням соломки осіннє післязбиральне поверхнєве вологоакумулююче розпушування по стерні на глибину 3-5 см, основне зяблеве безоборотне вологопоглинаюче розпушування орного шару на глибину на глибину 35 -45 см, навесні – поверхнєве вологозакриваюче розпушування на глибину загортання насіння і вологозберігаючу, мульчуючу, що вирівнює передпосівну обробку зі створенням ущільненого насіннєвого ложа і вичісування бур'янів у початковій стадії їх розвитку, що дозволяє створити стабільний тепло- .

На рисунку рисунку 3.1 – робочі органи машин, що виконують спосіб обробітку ґрунту на схилах.

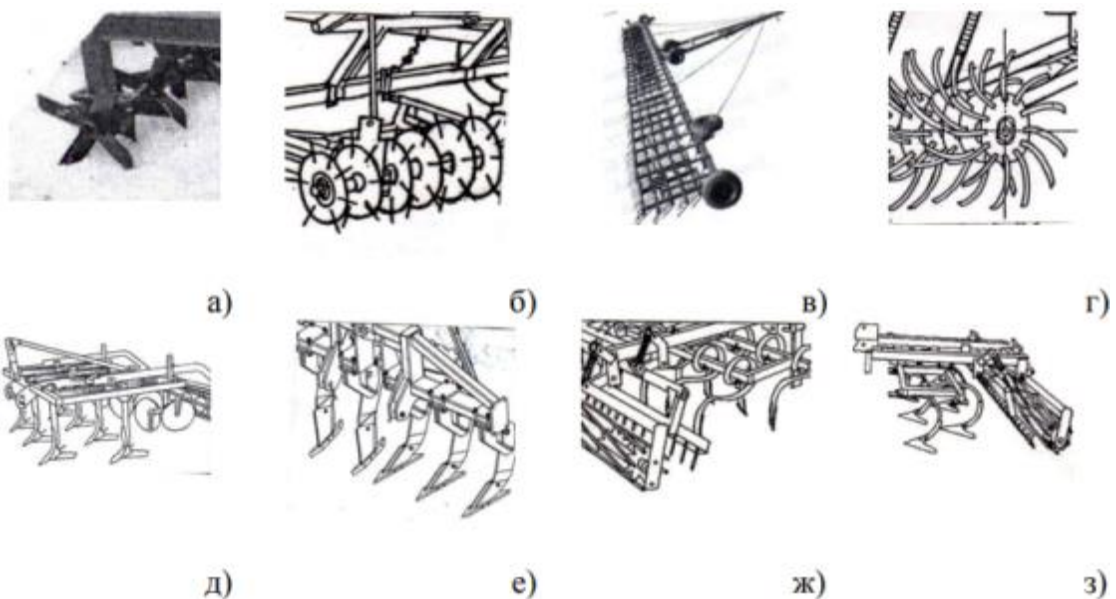


Рисунок 3.1– Робочі органи машин, що виконують спосіб обробітку ґрунту.

Технологічний результат досягається наступними операціями з обробітку ґрунту.

Перша операція - післязбиральне поверхнєве розпушування ґрунту по стерні на глибину 3-5 см, що виключає капілярне випаровування і провокує проростання насіння бур'янів. Ця операція може виконуватися легкими робочими органами ножової борони (рисунок 3.1а), конічної диско-зубової борони (рисунок 3.1б), голчастої ротаційною бороною (рисунок 3.1г) залежно від ґрунтово-кліматичних умов зони та крутості схилу. На схилах крутістю понад 3-4° рекомендується борони з голчастими робочими органами (рисунок 3.1в, г).

Друга операція - основне зяблеве безоборотне розпушування на глибину 10-30 см в залежності від місця культури в сівозміні, виду культури і фактичної глибини орного шару, яке одночасно знищує зійшло бур'яни і культурні рослини від опалого насіння попередника, обмежуючи або виключаючи застосування гербіцидів, забезпечуючи екологічно чистий майбутній урожай зерна. Ця операція виконується робочими органами важких культиваторів, лапи яких забезпечені долотом для створення щілини (рисунок 3.1д) або робочими органами типу стійки СибІМЕ, забезпечених ґрунтопоглиблювачем або в залежності від потреби оброблюваної культури корпусу плуга, забезпеченої ґрунту .

Третя операція – глибоке чизельне розпушування на глибину 35-45 див знищення плужної підшви, із створенням пухкого горизонту, що дозволяє накопичувати вологу нижньому шарі ґрунту. Виконується один раз у сівозміні. При оранці весняна волога після танення снігу зазвичай йде на змив родючого верхнього шару через відсутність умови поглинання, внаслідок цього відбувається утворення паводків. У цьому вся найважливіше екологічне значення операції. Вона виконується засобами з чизельними робочими органами.

Четверта операція - весняне поверхнєве розпушування на глибину 4-5 см, яке завдяки знищенню бур'янів у початковій стадії їх розвитку обмежує застосування гербіцидів, сприяючи екологічній чистоті майбутнього врожаю.

Виконується ця операція блочно-модульними культиваторами серії КБМ з долотоподібними реактивними вібраційними вертикально-коливальними, поздовжньо-коливальними розпушувальними робочими органами (рисунки 5.4 ж) і прутковими гвинтоподібними котками.

П'ята операція - остаточна вирівнююча мульчуюча передпосівна обробка ґрунту лаповими робочими органами або реактивними вібраційними робочими органами або розпушувальною лапою, коливальним вирівнювачем і гвинтовим підресорним котком на глибину 4-7 см з створенням у стадії «білих ниток», що остаточно виключає застосування гербіцидів і забезпечує екологічний чистий урожай (рисунки 3.13).

Впровадження обраної технології обробітку ґрунту дозволить:

- створити можливість рівномірного загортання насіння на задану глибину, потужного розвитку рослин з утворенням вторинної кореневої системи та гарного кущіння;
- забезпечить стабільний тепло-волого-повітряний режим у посівному шарі;
- виключити водну, вітрову та механічну ерозії;
- виключити масове засмічення полів;
- виробляти екологічно чисту аграрну продукцію;
- гарантувати збільшення родючості ґрунту;
- обмежити утворення паводків.

Вибрана технологія обробітку ґрунту враховує особливості ґрунтово-кліматичних зон, оброблювану культуру, місце культури у сівозміні та дозволяє вибрати відповідний стану та типу ґрунтів робочі органи.

Залежно від ступеня посухи, ґрунтових умов та засміченості полів одна, дві чи три операції з технології можуть бути виключені, крім другої та

останньої. Крім того, перша і друга, а також четверта і п'ята операції можуть бути поєднані використанням комбінованих машин.

Для використання даної універсальної технології на схилах необхідно вдосконалити її таким чином, щоб вона враховувала і крутість схилу. А це необхідно при підборі типу робочих органів застосовуваних машин і знарядь для зниження водної та механічної ерозії. Наприклад, оранка відвальними плугами на схилах створює умови для виникнення водної ерозії і призводить до механічної ерозії, а чизелі усувають виникнення водної ерозії і не призводять до механічної ерозії. Використання стрілчастих лап призводить до механічної ерозії, а при використанні розпушувальних лап механічна ерозія відсутня. Крім цього, при використанні стрілчастих лап величину механічної ерозії можна зменшити за рахунок зміни параметрів робочого органу, а також встановлення напрямників ґрунту.

У зв'язку з цим з урахуванням висновків, наведених у розділах 1, 2, 3, а також у цій главі, пропонується використовувати різні типи робочих органів машин і знарядь для зниження водної та механічної ерозії в залежності від крутості схилу.

Незалежно від крутості схилу необхідно провести післяприбиральне поверхневе вологостимулююче розпушування голчастими і ножовими робочими органами, що дає можливість усунути випаровування вологи і більше накопичити вологи за рахунок осінніх опадів. Крім цього, при розкиданні подрібненої соломи дана операція виробляє рівномірний її розподіл за площею і створює шар, що мульчує.

На схилах з крутістю 0-2 ° у зв'язку з практичною відсутністю водної і механічної ерозії необхідно використовувати технології та технічні засоби найбільш придатні для даної культури та ґрунтово-кліматичних умов зони обробітку з урахуванням заощадження ґрунту та ресурсів.

На схилах з крутістю 2-5 ° необхідно переходити до безвідвальної системи основної обробки ґрунту (лапи СІБІМЕ, плоскорізи-щілинники, чизелі, а при переході до мінімальної системи обробки ґрунту - важкі

культиватори) з попереднім розкиданням подрібненої соломи під час збирання зернових.

При використанні відвальної обробки ґрунту під окремі культури необхідно передбачити заходи для зниження як водної, так і механічної ерозії - оранка поперек схилу, встановлення розпушувачів для створення рельєфного дна борозни, при використанні оборотних плугів - відвалювання пласта вгору по схилу.

При передпосівному обробітку ґрунту необхідно зменшити кількість обробітків з використанням стрічастих лап за рахунок суміщення технологічних операцій комбінованими машинами. За відсутності загрози виникнення водної ерозії (якщо після культивації проводиться інша операція, наприклад, посів) використовувати такі напрями руху агрегату щодо горизонталі поля, коли виходить мінімальна механічна ерозія. При можливості вибору стрічастих лап з різними параметрами необхідно їх використовувати з мінімальними кутами γ і ϵ ($2\gamma = 60-65^\circ$ і $\epsilon = 20^\circ$). Крім цього, по можливості необхідно використовувати культиватори з розпушувальними робочими органами.

При використанні лапових сошників у ґрунтообробно-посівних агрегатах необхідно використовувати робочі органи з мінімальними величинами параметрів робочого органу γ і ϵ з урахуванням якісного виконання технологічного процесу. Крім цього необхідно встановити на лапи напрямники ґрунту, які знижують механічну ерозію і підвищують якість загортання насіння.

На схилах понад 5° необхідно відмовитися від використання робочих органів, що мають форму тригранного клину. Для основної обробки ґрунту необхідно використовувати чизелі, чизельні культиватори та культиватори з розпушувальними робочими органами. Для закриття вологи і перед-посівної обробки також необхідно використовувати культиватори з розпушувальними робочими органами або важкі голчасті борони. При смуговому посіві лаповими сошниками необхідно встановити напрямники ґрунту.

Найкращі результати на схилах щодо збереження ґрунту від водної та механічної ерозії показує технологія нульового посіву. Однак навіть при переході на нульову технологію бажано на схилах провести осінню чизельну обробку поперек схилу для зменшення стоку води та накопичення ґрунтової вологи за рахунок осінніх дощів та талих вод.

Для впровадження даної технології нами розроблено відповідно до результатів досліджень комплекс машин для виконання обробки ґрунту та посіву на схилах, що агрегуються з тракторами різного тягового класу

Висновки по розділу.

1. Реальну загрозу сільському господарству становлять деградації ґрунтів на схилах у вигляді механічної та водної ерозій. Тому при розробці технологічних прийомів і машин необхідно найсерйознішим чином враховувати вплив їх на збереження ґрунтів.

2. Механічна ерозія залежить від технологій обробки і використовуваних машин. Дані, отримані за один цикл вирощування культур показують:

- за традиційної технології обробки зернових культур всі використовувані машини призводять до зростання механічної ерозії. Лушення стерні дисковим лушпильником призводить до зміщення ґрунту на схилі 2 на 26 мм, на схилі 4 на 54 мм, а на схилі 6 на 71 мм. Передпосівна обробка і посів сприяють подальшому збільшенню механічної ерозії - загальне зміщення верхнього шару ґрунту за сезон досягає на схилі 2 ° - 56 мм, на схилі 4 ° - 103 мм і на схилі 6° - 145 мм.

- на схилах 6° використання навіть плоскорізів-щілинників та плугів зі стійками СибІМЕ призводить до загального зміщення ґрунту на всій глибині обробки на 18-20,5 мм, а загальне зміщення з урахуванням передпосівної культивування та посіву сягає 33-35,5 мм. Тому на схилах понад 5° для основної обробки необхідно використовувати чизельні знаряддя.

- при використанні енергозберігаючої технології за рахунок зменшення кількості обробок і глибини навіть на схилах 6° механічна ерозія верхнього шару ґрунту знижується і не перевищує 15 мм, тоді як навіть при використанні ґрунтозахисної технології механічна ерозія в окремих випадках доходить до 35 мм. Тому впровадження мінімальної обробки ґрунту під окремі культури необхідно вважати пріоритетним напрямом у справі зниження механічної ерозії.

- при обробітку просапних культур через багаторазових обробітків верхній шар ґрунту зміщується на схилах 2° на 36 мм, на схилах в 4° - на 59 мм і на схилах в 6° - на 87 мм, що вимагає пошуку інших технологій їх обробітку.

3. Відчутного зниження водної ерозії забезпечує стерня, що залишається, на поверхні ріллі і ще краще створення мульчуючого шару на поверхні за рахунок розкидання подрібненої соломи.

4. За даними, отриманими в різних умовах і зонах встановлено, що нульова та мінімальна технологія обробітку зернових культур, а також смуговий посів просапних культур (технологія Strip-Till) знижують водну, вітрову та механічну ерозії на схилах крутих $3-4^\circ$ практично до нуля.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.

4.1 Загальні вимоги х охорони праці.

З початком проведення весняно-польових робіт в агропромисловому комплексі значно зростають обсяги та інтенсивність виконання відповідних технологічних операцій, пов'язаних із посівною компанією. Зокрема, зростає кількість осіб, що беруть участь у виробництві, у тому числі за рахунок тимчасово залучених, збільшується кількість задіяної техніки, тривалість сільськогосподарських робіт протягом доби тощо. Цей травмонебезпечний період в сільськогосподарському виробництві зумовлений максимальним напруженням, перенасиченістю праці, що призводить до помилкових дій, нехтування безпекою та відсутністю належного контролю за безпечним виконанням робіт з боку інженерно-технічного персоналу.

Вимоги безпеки під час виконання робіт у сільськогосподарському виробництві регламентують Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві, затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240, зареєстровані у Міністерстві юстиції України 21.09.2018 за № 1090/32542 (НПАОП 01.0-1.02-18); Правила охорони праці під час технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання сільськогосподарського виробництва, затверджені наказом Міністерства праці України від 30.11.2001 № 512 (НПАОП 01.41-1.01-01).

Під час обробітку ґрунту, можуть діяти небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що може призвести до нещасного випадку:

- зовнішні метеорологічні фактори (вітер, опади, гроза, сонячна радіація, низька або висока температура зовнішнього повітря, ожеледиця тощо);
- неправильні режими роботи технологічних систем;
- транспорт, що рухається;
- машини і механізми технологічних систем для обробітку ґрунту;
- рухомі агрегати і машини: причіпні (навісні) пристрої, робочі органи тощо;
- інженерні комунікації;

- устаткування, що працює під тиском;
- електрифіковане устаткування, інструмент і електропроводка;
- ручні роботи, що викликають фізичні і нервово-психічні перевантаження.

4.2 Вимоги безпеки під час обробітку ґрунту:

1. Завантаження сівалок і садильних машин насінням, садильним матеріалом та добривами повинно бути механізованим. Ручне завантаження допускається лише за умови зупинення посівного або садильного агрегату та вимкнення двигуна трактора.

2. Машини повинні бути укомплектовані необхідними засобами для очищення робочих органів. Очищення або технологічне регулювання робочих органів на агрегаті, що рухається, або при працюючому двигуні забороняється.

3. Не дозволяється перебування працівників у кузові автомашини або тракторного причепа під час заповнення їх технологічним продуктом, а також під час транспортування продукту до місця складування.

4. Перед початком руху агрегату, ввімкненням гідросистеми або валу відбору потужності трактора необхідно подати сигнал (отримати зворотній сигнал, якщо агрегат обладнано засобами двосторонньої сигналізації), впевнитися, що це нікому не загрожує, і тільки після цього виконувати необхідні дії.

5. Заглиблення робочих органів повинно виконуватися тільки на ходу агрегату. Керувати робочими органами, а також переводити їх в робоче або транспортне положення необхідно тільки з кабіни трактора.

6. При роботі на тракторі з навісною машиною не дозволяється її піднімати з увімкненим валом відбору потужності і вмикати вал відбору потужності при транспортному положенні машини (знаряддя).

7. Зчеплення та навішування машин і обладнання на трактор необхідно виконувати удвох. Працівник, який здійснює зчеплення (навішування), не повинен стояти на шляху руху трактора, а зчеплення починати тільки після

сигналу тракториста. З'єднувати причіпну сергу з причіпним пристроєм машин потрібно тільки при зупиненому тракторі і вимкненій передачі.

8. Не дозволяється залишати без нагляду ґрунтооброблювальний агрегат з увімкненим двигуном трактора. При тривалій зупинці агрегату необхідно його загальмувати, опустити робочі органи і вимкнути двигун.

9. При аварійній ситуації необхідно негайно зупинити агрегат, загальмувати й вимкнути двигун трактора.

10. В процесі роботи агрегату необхідно періодично перевіряти надійність причіпки (навіски) причіпної машини, кріплення і роботу робочих органів.

11. Заправляти машину, замінювати, регулювати й очищати робочі органи від зайвих предметів, земляних глиб, налиплого ґрунту і залишків рослин необхідно тільки при зупиненому агрегаті, опущених робочих органах та в рукавицях із застосуванням спеціальних засобів для очищення (скребки) при вимкненому двигуні трактора.

12. На ділянках полів і доріг, над якими проходять повітряні лінії електропередач (ЛЕП), проїзд і робота машин дозволяється у разі, коли відстань від найвищої точки машини чи вантажу на транспортному засобі до проводу не менше:

13. Під час обробітку ґрунту, сівби, садіння, забороняється:

- заміна, регулювання та очищення робочих органів машин при вимкненому двигуні трактора;
- перебування людей у зоні можливого руху маркерів або навісних машин при розвороті машинно-тракторних агрегатів;
- одночасне обслуговування одним працівником двох або більше сівалок під час руху агрегату;
- заміна, очищення та регулювання робочих органів навісних машин і знарядь, які перебувають у піднятому стані, дозволено після вжиття заходів, що запобігають їх самовільному опусканню;

- експлуатація машин без передбачених конструкцією огорож рухомих елементів;
- підніматися або спускатися з машин під час їх руху;
- сівальнику працювати на навісних сівалках;
- ґрунтообробіток полів до виконання підготовчих робіт (вивезення каміння, засипання ям та інших перешкод; відбивання поворотних смуг).

4.3 Вимоги безпеки під час експлуатації сільськогосподарської техніки:

1. Обладнання, під час експлуатації якого можливе виділення шкідливих речовин у повітря робочої зони, має бути обладнане місцевою вентиляцією. Пуск місцевої вентиляції має бути заблокований із пуском технологічного обладнання.

2. Вузли та елементи сільськогосподарських машин, що рухаються, обертаються та можуть становити небезпеку, мають бути огорожені захисними кожухами, які забезпечують безпеку працівників.

3. Не дозволяється:

- експлуатація несправних машини та обладнання;
- експлуатація сільськогосподарських тракторів без електростартерного запуску двигуна та з відсутньою або несправною системою блокування запуску двигуна за ввімкнутої передачі.

4. Зовнішні поверхні всіх захисних засобів, приводів і карданів повинні бути пофарбовані в жовтий сигнальний колір.

5. Сівалки, ґрунтооброблювальні та посадкові машини, що допущені до експлуатації, повинні мати:

- справне сидіння сівача, площадку або підніжну дошку й поручні;
- підніжну дошку шириною не менш 350 мм і запобіжні бортики висотою 100 мм;
- гладкі й надійно закріплені поручні на висоті 1 м, якщо конструкцією передбачене робоче місце;
- захисні огороження рухливих деталей приводних передач;

- підключені прилади двосторонньої сигналізації;
- надійне кріплення маркерів у транспортному положенні;
- надійне з'єднання сім'япроводів з коробками сівальних апаратів;
- захисне огороження робочих органів фрез ґрунтооброблювальних машин, що мають примусовий привід і під час роботи розташовані над поверхнею ґрунту;
- справні та надійно закріплені циліндри і шланги гідравлічної системи машини;
- захисне огороження карданних валів приводу машин.

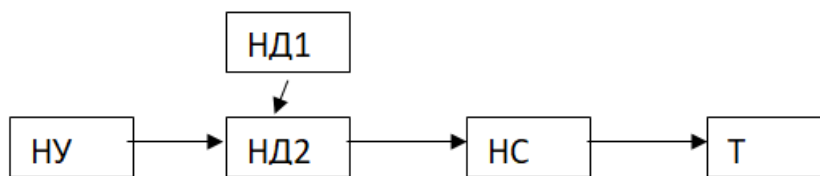


Рис. 4.1 Моделювання небезпечної ситуації під час роботи з ґрунтообробними машинами.

НУ – Гострі частини механізмів які мають підвищену небезпеку.

НД 1 – Розпізнавальні знаки погано розпізнаються;

НД 2 – Працівники близько знаходяться біля частин і механізмів машин які мають підвищену небезпеку.

НС – удар, поріз.

Т – Травма.

Висновки по розділу.

Для запобігання травмам, пов'язаним із транспортними операціями (травми механічного характеру), важливе значення має впровадження комплексної механізації та автоматизації.

Крім цього, керівники повинні знати, що сільськогосподарські роботи належать до робіт підвищеної небезпеки, виконання яких здійснюється роботодавцем на підставі відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з питань охорони праці. Видається у встановленому порядку Головним управлінням Держпраці та її територіальними органами.

РОЗДІЛ 5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

5.1 Характеристики розроблених машин

За результатами досліджень розроблені конструктивні схеми машин і робочі органи для обробки ґрунту і посіву і обґрунтовані їх параметри.

Опис-ня особливостей устрою цих машин наведені в додатку До.

Розроблені та поставлені на виробництво машини можна поділити на такі групи:

- машини для глибокого основного обробітку ґрунту,
- машини для поверхневої основної обробки ґрунту,
- машини для вологозакривної поверхневої обробки ґрунту,
- машини для передпосівної обробки ґрунту,

Крім цього, у зв'язку з тим, що машини створені як універсальні та мають змінні робочі органи, деякі з них можна віднести до двох або трьох груп. До таких машин відносяться культиватори типу КБМ і КУБМ, які можуть працювати як для закриття вологи, так і передпосівної обробки і навіть для поверхневої основної обробки ґрунту (КУБМ-14,7). Культиватори КЛДН та КЛДП при встановленні відповідних робочих органів використовуються для передпосівної обробки. Після обробки бороною голчастими важкими БТІ-21 і модульними бороною зубними типу БЗН-15 і БМЗ-24 можна провести посів без передпосівної культивації.

Розроблений за участю автора комплекс машин застосовуються при вирощуванні зернових культур у зонах лісостепу.

5.2 Рекомендації виробництва щодо зниження деградації ґрунту

Розташування земельних угідь на схилах призводить до виникнення таких видів деградації, як водна та механічна ерозії. У зв'язку з цим у кожній природній зоні, елементі ландшафту господарства повинні застосовувати свої

технології та сівозміни, а також способи обробітку ґрунту, що дозволяють знизити деградаційні процеси, що підвищують її родючість і врожайність сільськогосподарських культур, що виробляються.

Поряд із завданням сталого виробництва зерна та іншої продукції рослинництва з кожним роком все наполегливіше ставиться проблема збереження родючості ґрунтів, встановлення агроекологічної рівноваги в природокористуванні. Ця проблема загострюється у зв'язку з тим, що зі збільшенням ступеня еродованості ґрунтів відбувається зменшення її родючості.

Тому для стабільного забезпечення населення основними продуктами харчування, а промисловості - сировиною, постають два завдання. По-перше, максимально використовувати наявний потенціал ґрунту для отримання необхідної продукції, по-друге, не допустити подальшого зниження родючості ґрунту.

Для вирішення першого завдання рекомендується використовувати адаптивний підхід до структури використання ріллі, який включає наступні основні елементи [7, 9,18]:

- сильноеродовані поля на крутосхильних землях відвести під залуження або ґрунтозахисні сівозміни;
- Більш родючі площі ріллі використовувати для обробітку інтенсивних польових культур виходячи з зональної та господарської спеціалізації виробництва;

Для вирішення другого завдання необхідно ув'язати природні елементи ландшафту з антропогенними факторами. А це можливо під час переходу на адаптивно-ландшафтну систему землеробства.

Протиерозійний блок системи землеробства одночасно вирішує завдання ефективного використання опадів та охорони водних ресурсів, регулювання водного режиму агроценозів, запобігання забруднення водойм та водних джерел, повітряного басейну, природних угідь та населених пунктів

грунтовими частинками, залишками пестицидів, ніт-ратами, хвороботворними мікроорганізмами і т.д.

Раціональне розміщення угідь і польових культур на схилах вже саме собою знімає частину проблеми охорони ґрунтів, це особливо стосується фермерських і невеликих підсобних господарств. Якщо раціональним розміщенням угідь і польових культур питання охорони ґрунту не вирішується, то проводиться послідовне ускладнення та підвищення рівня ґрунто-захисних заходів за рахунок переходу на мінімальну та нульову системи обробітку ґрунту та смугове розміщення культур, створення лісомеліоративних систем та гідротехнічних споруд, переведення особливо еро-дированих земель з ріллі в пасовища, сіножаті з регульованим відчуженням продукції і щадним режимом використання цих угідь, і навіть створенням них лісових насаджень.

В даний час при обробітку сільськогосподарських культур відбувається поступовий перехід від традиційних технологій з використанням плугів з відвальними корпусами до мінімальних і нульових технологій, що веде до ресурсозбереження і до зниження деградаційних процесів (дегуміфікації, водної та механічної ерозій). Однак повністю відмовитися від відвальної обробки ґрунту неможливо.

Для зниження деградаційних процесів ґрунту та забезпечення стійкого виробництва зернових культур на схилах з урахуванням залежностей механічної ерозії від технологій та комплексу машин (таблиця 5.1) рекомендується:

Незалежно від крутості схилу провести післяприбиральне поверхнєве вологостимулююче розпушування голчастими та ножовими робочими органами. При традиційній технології обробітку необхідно відмовитися від дискових луцильників і дискаторів, використовуючи для лущення стерні голчасті борони.

На схилах з крутістю 0-2 ° використовувати технології та технічні засоби найбільш придатні для даної культури і ґрунтово-кліматичних умов зони обробітку з урахуванням заощадження ґрунту та ресурсів. Для основної

відвальної обробки ґрунту необхідно використовувати оборотні плуги з відвалюванням пласта лише вгору схилом. На схилах із крутістю 2-5° - переходити до безвідвальної системи основного обробітку ґрунту використовуючи при цьому лапи СибІМЕ, плоскорізи-щілинники, чизелі, а при переході до мінімальної системи обробітку ґрунту важкі культиватори з попереднім розкиданням подрібненої соломи під час збирання зернових культур;

- при використанні відвального обробітку ґрунту також використовувати оборотні плуги з відвалюванням пласта тільки в одну убік;

- при передпосівному обробітку ґрунту зменшити кількість обробітків з використанням стрілчастих лап за рахунок суміщення технологічних операцій комбінованими машинами;

- за відсутності загрози виникнення водної ерозії (якщо після культивації проводиться інша операція, наприклад, посів) використовувати такі напрями руху агрегату щодо горизонталі поля, коли виходить мінімальна механічна ерозія;

- використовувати стрілчасті лапи з мінімальними кутами γ та ε ($2\gamma = 60-65^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$);

- у міру можливості використовувати культиватори з розпушувальними робочими органами.

- використовувати в ґрунтообробно-посівних агрегатах робочі органи з мінімальними кутами γ і ε з урахуванням якісного виконання технологічного процесу і встановити на лапи напрямники ґрунту.

На схилах понад 5°:

- використовувати для основного обробітку ґрунту чизелі, чизельні культиватори та культиватори з розпушувальними робочими органами;

- Використовувати для закриття вологи та передпосівної обробки культиватори з розпушувальними робочими органами або важкі голчасті борони;

- встановити на лапові сошники напрямники ґрунту.

Найкращі результати на схилах щодо збереження ґрунту від водної та механічної ерозії показує технологія нульового посіву. Однак навіть при переході на нульову технологію бажано на схилах провести осінню чизельну обробку поперек схилу для зменшення стоку води та накопичення ґрунтової вологи за рахунок осінніх дощів та талих вод.

При обробітку просапних культур на схилових полях для зниження водної та механічної ерозій ґрунту пропонується технологія смугового посіву кукурудзи. Для цього рекомендується зробити смуговий посів кукурудзи комбінованим агрегатом з розпушування країв смуги за допомогою двох розпушувальних лап на глибину основної обробки перед фрезеруванням на глибину посіву.

При цьому насіння лягає на тверде насіннєве ложе і закривається дрібно розпушеним шаром ґрунту, а для проникнення кореневої системи вглиб з двох сторін є глибоко оброблені смуги від розпушувачів. Спосіб посіву повністю відповідає біологічним особливостям просапних культур, зокрема кукурудзи. При сівбі впоперек схилу при зливах волога з необробленої смуги стікає в оброблену, що краще забезпечує кореневу систему вологою.

5.3 Техніко-економічна ефективність розроблених технологій та машин.

У зв'язку з тим, що впровадження пропонованих машин призводить до зниження водної та механічної ерозії, то одержуваний економічний ефект підвищується набагато за рахунок збереження ґрунту та поживних речовин.

Економічна ефективність при використанні різних технологій обробки ґрунту і посіву виходить за рахунок:

- суміщення операцій обробки ґрунту в одному проході агрегату;
 - зниження глибини обробітку ґрунту;
 - зниження питомої металомісткості на метр ширини захвату;
 - зниження необхідної питомої потужності на метр ширини захоплення,
- що веде до зниження витрати палива;

- зниження експлуатаційних витрат на обслуговування агрегату.

У таблиці 6.2 показані розрахункові дані економічної ефективності основних типів вироблених машин і агрегатів у порівнянні з традиційною технологією та імпортними машинами.

При використанні блочно-модульних культиваторів повна ранньо-осіння підготовка ґрунту до посіву проводиться за один прохід, поєднавши операції:

- 1) боронування;
- 2) культивацію;
- 3) вирівнювання;
- 4) передпосівну культивацію;
- 5) передпосівне коткування.

Як видно з цієї таблиці, використання пропонованих машин призводить до підвищення рентабельності виробництва зернових культур.

Таблиця 5.1 - Результати економічного аналізу технологій та комплексу машин

Варіант	Технологія (комплекс техніки)	Затрати на 1 га	Розхід дизельного пального кг/га	Затрати на 1 т продукції, грн	Рентабельність %	Затрати на побічну продукцію, грн/га
1. Традиційна технологія						
	Лущення стерні (ДТ-75+ЛДГ-10), оранка зябу (Т-150+ПЛН-5-35), закриття вологи (Т-150+СП-11+24БЗТС-1), культивація (ДТ-75М+2КПС-4), передпосівна культивація (ДТ-75М+2КПС-4), посів з внесенням мінеральних добрив (Т-150+СП-11+3СЗ-3,6), коткування посівів (МТЗ-80+3КПП-6)	6421	45,7	2657	12,9	442,8

Продовження таблиці						
2.Ресурсозберігаючі (мінімальні) технології						
2.1	Розпушування безвідвальне під зябь (Т-150+Smaragd 9/600), культивация перед посівна (Т-150 + КБМ-15П), посів з внесенням мінеральних добрив (Т-150+3СЗ-3,6)	5687	28,4	2353		
2.2	Лущення стерні (МТЗ-1221 + ЛБК-10), розпушування під зяб (МТЗ-1221+КСН-3), культивация (МТЗ-1221+КБМ-10,5), посів з внесенням мінеральних добрив (Т-150+КСБМ-12,6)	5446	30	2253	33,1	375,6
2.3	Розпушування під зяб (Т-150+БДМ-3х4), закриття вологи (Т-150+24 БЗТС-1), культивация (МТЗ-1221+КБМ-10,5), посів з внесенням мінеральних добрив (Т-150+3СЗ-3,6)	5257	24,3	2175	37,9	362,5
2.4	Розпушування під зябь (МТЗ-82+КБМ-7,2П-Д), культивация (МТЗ-82+КБМ-посів з внесенням мінеральних добрив (МТЗ-82+КБМ-8,4+КСБМ-8)	5150	27,0	2131	40,4	355,2
3. Ресурсозберігаючі (нульові) технології						
3.1	Посів по стерні (Versatile 2435 + HorschТД-18,35)	5839	20,08	2416	24,1	402,7

Висновки

1. На основі аналізу виробничих ситуацій та виконаних досліджень встановлено, що зниження ерозійних процесів ґрунту при обробітку сільськогосподарських культур на схилах можливе не тільки за рахунок застосування спеціальних технологічних прийомів обробки ґрунту та посіву, але й за рахунок зміни конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних та посівних машин. Як оцінний параметр величини механічної ерозії рекомендується використовувати різницю зміщень ґрунту робочим органом вниз і вгору по схилу.

Встановлено, що основними причинами зміщення ґрунту на схилах при роботі ґрунтообробних та посівних машин є:

- крутість схилу;
- несиметричне зміщення ґрунту робочим органом вгору і вниз схилом;
- Напрямок руху агрегату по схилу;
- Параметри робочого органу;
- Додаткова бічна сила, що діє на пласт вздовж схилу вниз.

2. Розкрито механіко-технологічні основи виникнення та протікання механічної ерозії на схилах. Розроблено математичну модель процесу механічної ерозії ґрунту з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів робочого органу, крутості схилу поля та напрямки руху агрегату, яка дозволила встановити:

- залежність механічної ерозії ґрунту від крутості схилу Ω та кутів γ та ε робочого органу;
- залежність зміщення ґрунту та механічної ерозії від напрямку руху агрегату щодо горизонталі поля. При цьому максимальне зміщення ґрунту нижнім крилом робочого органу ($\Delta 1$) відбувається при русі агрегату під кутом $\theta = 45 \div 70^\circ$ до горизонталі поля;
- критичну крутість схилу $\Omega_{кр}$, при досягненні якої обидва крила стрілкової лапи починають зміщувати ґрунт вниз по схилу. Для стрілкової

лапи з параметрами $\gamma = 50^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$ $\Omega_{кр} = 7,6^\circ$, а при $\gamma = 50^\circ$ та $\varepsilon = 30^\circ$ $\Omega_{кр} = 11^\circ$; - напрямки руху агрегату щодо горизонталі поля, що забезпечують мінімальну механічну ерозію ґрунту – для стрілочастих робочих органів $90 \pm 35^\circ$, для односторонніх робочих органів $120 \pm 40^\circ$.

3. Розроблено математичну модель технологічного процесу взаємодії робочих органів із ґрунтом з урахуванням особливостей їх роботи на схилах. Обґрунтовано області розрахунку, початкові та граничні умови моделі з урахуванням конструктивно-технологічних параметрів робочих органів, фізичних властивостей ґрунту, крутості схилу та напрямки руху зброї. Рішення розробленої моделі та аналіз отриманих даних дозволяють обґрунтувати параметри стрілочастих лап, що забезпечують зниження механічної ерозії під час роботи на схилах – кут розчину лапи $2\gamma = 60 \dots 65^\circ$, кут установки леміша на дно борозни $\varepsilon = 20^\circ$. Для подальшого зниження механічної ерозії та зменшення ширини розвальної борозни рекомендується встановлювати на крило стрілочасті лапи напрямники. При встановленні напрямників у напрямку руху ширина розвальної борозни, що утворюється при проході робочого органу, знижується на 15...20%, а при встановленні під кутом 10° - до 30%.

4. Встановлено, що загальне зміщення верхнього шару ґрунту за сезон за традиційної технології обробітку зернових культур досягає на схилі 2° – 56 мм, на схилі 4° – 103 мм та на схилі 6° – 145 мм. При впровадженні енергозберігаючої технології, що рекомендується, за рахунок зменшення кількості обробок і підбору параметрів робочих органів навіть на схилах 6° механічна ерозія верхнього шару ґрунту не перевищує 15 мм.

8. Результати досліджень щодо обґрунтування параметрів робочих органів та машин для обробки ґрунту на схилах зроблено рекомендації для виготовлення

- культиватори КБМ-7,2, КБМ-10;
- культиватори КЛДП-4, КЛДН-6, КЛДП-7,2;
- борони БТІ-21, БЗН-15, БЗН-24;
- ґрунтообробно-посівні агрегати ППА;

- сівалки СКП-2,1;
- сівалки СПБМ-6, СПБМ-8;
- чизельні розпушувачі КГ-3, 7, КГ-6.
- культиватор КУБМ-14,7.

Проведено оцінку ефективності розроблених ґрунтообробних та посівних машин. Результати випробувань показали їх відповідність призначенню та агротехнічним вимогам під час роботи на схилах та запропоновані до серійного виробництва.

Впровадження розроблених технологій з використанням рекомендованих машин в порівнянні з традиційними технологіями підвищує рентабельність обробітку зернових культур з 12,9 до 40,4%.

Річний економічний ефект від застосування запропонованих машин підтверджений актами застосування і становить 199,8 тис.грн на рік.

Література

1. Боженко В. О. Сільськогосподарські машини та їх використання / В. О. Боженко. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 420 с.
2. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К.: Урожай, 1994. – 448 с.
3. Войтюк Д.Г, Дубровін В.О., Іщенко Т.Д. та ін. Сільськогосподарські машини та меліоративні машини / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Іщенко Т.Д. та інші. – К.: Вища освіта 2004. – 500 с.
4. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – 2-е вид. – К. : Каравела, 2008. – 550 с.
5. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини / Д.Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. – К.: Каравела, 2015. – 552 с.
6. Гапоненко В. С., Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини / В.С. Гапоненко, Д.Г. Войтюк. – 6-е вид., перероб. і допов. – К.: Урожай, 1992. – 448 с.
7. Головчук А.Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф. Комбайни зернозбиральні / Головчук А.Ф., В.І. Марченко, В.Ф. Орлов. – К.: Грамота, 2004. – 318 с.
8. Головчук А. Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: у 3-х книгах / А.Ф. Головчук, В.І. Марченко, В.Ф. Орлов. – Кн. 3. – Грамота, 2005. – 574 с.
9. Гольцяпин В. Я. Сучасні зернозбиральні комбайни / В.Я. Гольцяпин // Трактори і сільськогосподарські машини. – 1997. – № 3. – С. 35 – 40.
10. Грабак Н. Х. Основи ведення сільського господарства та охорона земель: Навчальний посібник / Н.Х. Грабак., І.Н. Топіха. – Київ: Професіонал, 2005. – 796 с.
11. Грінь О. М. Механізація виробництва овочів / О.М. Грінь. – К.: Урожай, 1990. – 192 с. 290
12. Данильченко П. В. Сільськогосподарські машини / П.В. Данильченко. – Тернопіль, 2001. – 272 с. 13.
13. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сільськогосподарські і меліоративні

машини / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – М.: Колос, 194. – 642 с.

14. Марченко В. І. Сільськогосподарські машини: Підручник / В.І. Марченко. – К.: Вища шк., 1999. – 344 с.

15. Машини для обробітку ґрунту та сівби: Посібник / За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНДПВТ ім.Л. Погорілого. – 2009. – 288 с.

167. Машини для післязбиральної обробки зерна / Б.С. Оксин, И.В. Горбачов, А.А. Терехин, В.М. Соловьев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 238 с.

17. Механізація сільськогосподарського виробництва і захисту рослин: Навч. посібник / Д.Г. Войтюк, І.В. Адамчук, Г.Р. Гаврилюк, О.С. Марченко; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища шк., 1993. – 512 с.

18. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Сільськогосподарські і меліоративні машини» / І. В. Гапич. – Глухів : РВВ ГДПУ, 2005. – 104 с.

19. Погорілець О. М., Живолуп Г. І. Зернозбиральні комбайни / О.М. Погорілець, Г.І. Живолуп. – К.: Урожай, 1994. – 232 с.

20. Погорілий Л. В., Коваль С. М. Напрямки розвитку конструкцій і узагальнені технологічні показники зернозбиральних комбайнів / Л.В. Погорілий, С.М. Коваль // Наук. вісн. Національного аграрного ун-ту. – К., 1998. – Вип. 9. – С. 107 – 117.

21. Практикум з дисципліни «Сільськогосподарські машини»: Навч. посіб. / П. В. Писаренко та ін. – Полтава, 2008. – 276 с. 291

22. Практикум з технологічної наладки та усунення несправностей сільськогосподарських машин / Г.Р. Гаврилюк, Г.І. Живолуп, П.С. Короткевич та ін.; За ред. Г.Р. Гаврилюка. – К.: Урожай, 1995. – 280 с.

23. Сільськогосподарські і меліоративні машини / Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.; Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

24. Сільськогосподарські машини: Посібник / М. В. Бакум та ін.; за ред. М. В. Бакум; Харківський національний технічний ун-т сільськогосподарства ім. Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ, 2008. – 284 с.

25. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. — 240 с.
26. Сільськогосподарські та лісгосподарські машини; Машини для внесення твердих добрив. Вимоги безпеки (EN 14017:2000, IDT) / пер. і наук.-техн. ред. Ю. Воронкова, Д. Воронков;. – Офіц. вид. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – IV. – 18 с.
27. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку. Навч. посібник / Д. Г. Войтюк та ін.; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми: Університетська книга, 2008. – 543 с.
28. Сидоренко А. М., Михайленко Ю. І. Меліоративні машини / А.М. Сидоренко, Ю.І. Михайленко. – К.: Урожай, 1989. – 280 с.
29. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свірень М. О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування/ П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень. – Кн.3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння. – К.: Фенікс, 2007. – 432 с.
30. Технологічна наладка та усунення несправностей сільськогосподарських машин: Довідник / Г.Р. Гаврилюк, Г.І. Живолуп, П.С. Короткевич та ін. – К.: Урожай, 1988. – 256 с. Боженко В. О. Сільськогосподарські машини та їх використання / В. О. Боженко. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 420 с.
31. Gosman A.D., Ioannides E. Aspekt of computer simulation of liquid-fueled combustors // AIAA paper/ 1981. № 81- 0323. - 12p.
32. C.T. Hammond. The taskers pateson MKB fertispread // Power Farm, 1972, № 3
34. Crowe C.T. Numerical models for dilute gas-particle flows // Jornal of Basic Engineering .1982.V.104. №3. P.297-303
33. Torobin L.B. Gauvin W.H. // Can. J. Chem. Eng. 1959. Vol. 37. N 4. P. 129-141.
34. James, P.W., Hewitt, G.F. and Whalley, P.B., “Droplet Motion in Two Phase Flow”, Proc. of the ANS/ASM/NRC Inst/ Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermohydraulics, Report NUREG/CP-0014, pp. 1484-1503/

35. Стейна (Stein) Schmehl, R., Roskamp, H., Willmann, M., and Witting, S., 1999, "CFD Analysis of Spray Propagation and Evaporation Including Wall Film Formation and Spray/Film Interaction", *Int. J. of Heat and Fluid Flow* 20, pp. 520-529.

Додатки

Додаток А

Відхилення траєкторії руху ґрунту по робочому органу залежно від його параметрів, крутизни схилу та напрямки руху агрегату щодо горизонталі поля

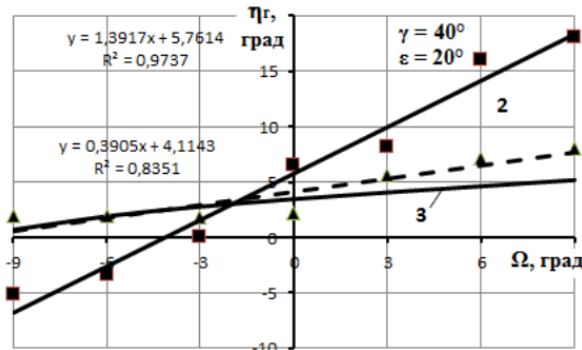
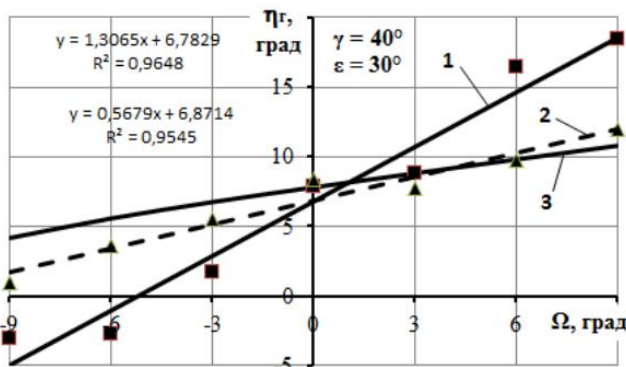


Рисунок 1 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 40^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами: 1 – за моделлю, 2 – експеримент., 3 – теоретич.

Рисунок 2 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 40^\circ$ та $\varepsilon =$



30°, підраховані різними способами: 1 – за моделлю, 2 – експеримент., 3 – теоретич

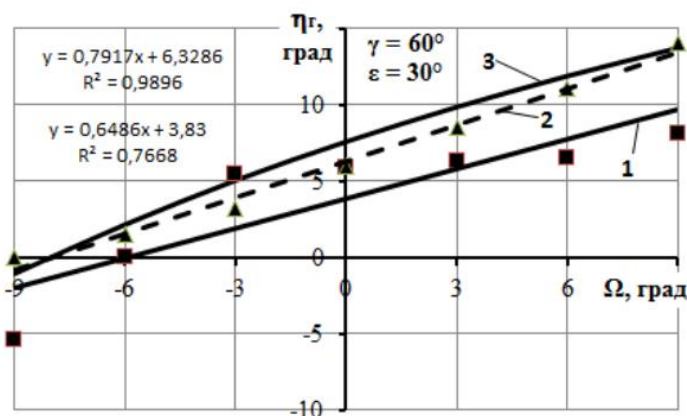


Рисунок 3 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 60^\circ$ та $\varepsilon = 30^\circ$, підраховані різними способами: 1 – за моделлю, 2 – експеримент., 3 – теоретич.

Продовження додатку А

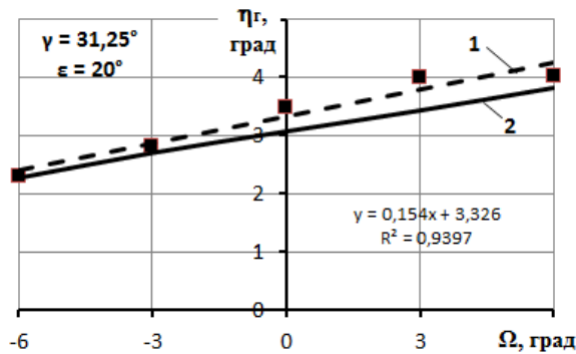


Рисунок 4 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 31,5^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу: 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

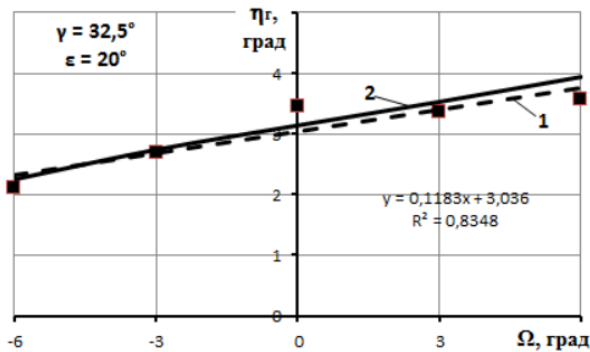


Рисунок 5 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 32,5^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

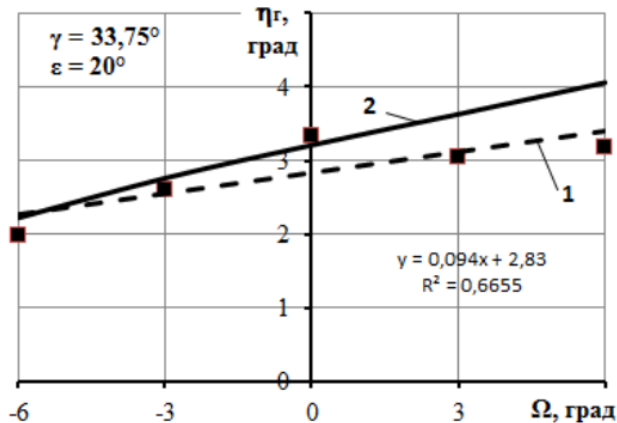


Рисунок 6 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 33,75^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

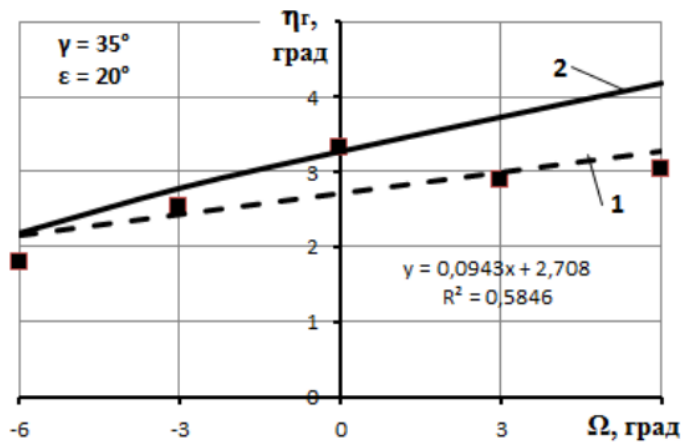


Рисунок 7 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 35^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу впоперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

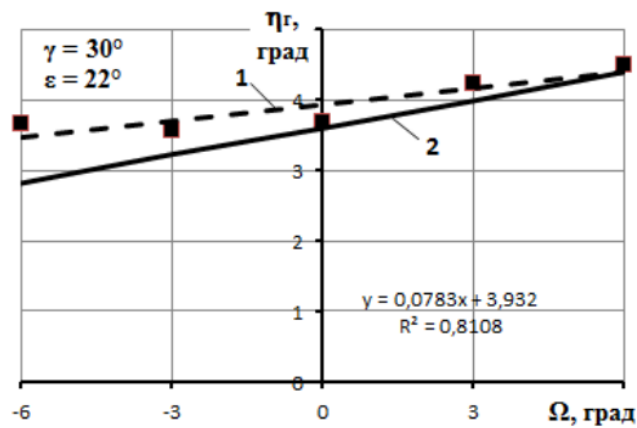


Рисунок 8 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 30^\circ$ та $\varepsilon = 22^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

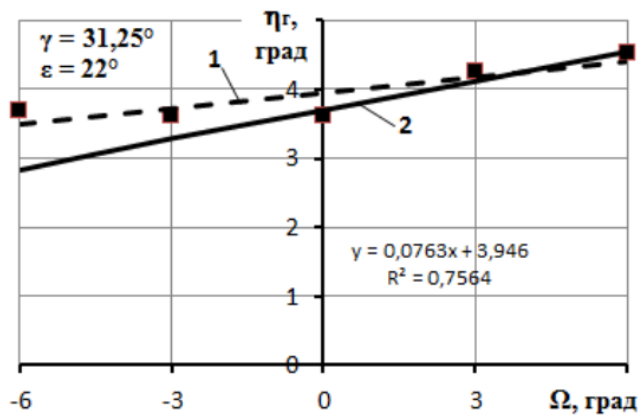


Рисунок 9 – Залежність кута η_g від крутості схилу Ω при $\gamma = 31,5^\circ$ та $\varepsilon = 22^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

Продовження додатку А

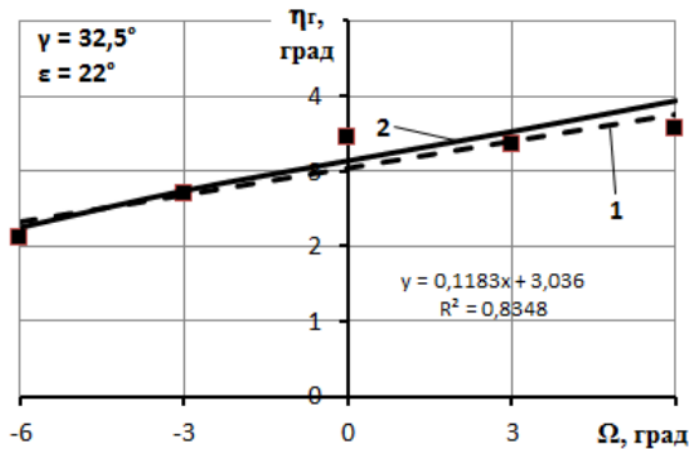


Рисунок 10 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 32,5^\circ$ та $\epsilon = 22^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

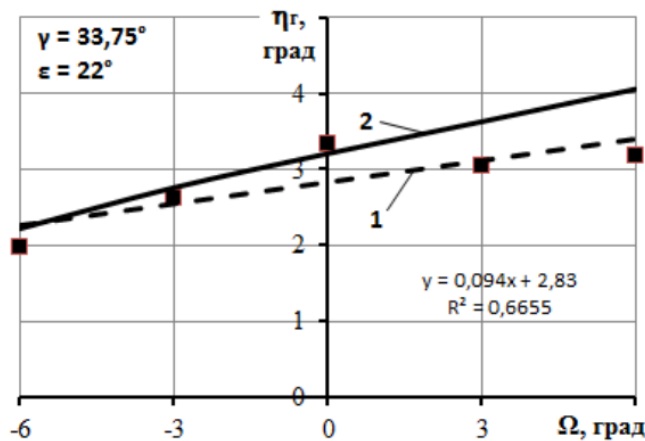


Рисунок 11 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 33,75^\circ$ та $\epsilon = 22^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

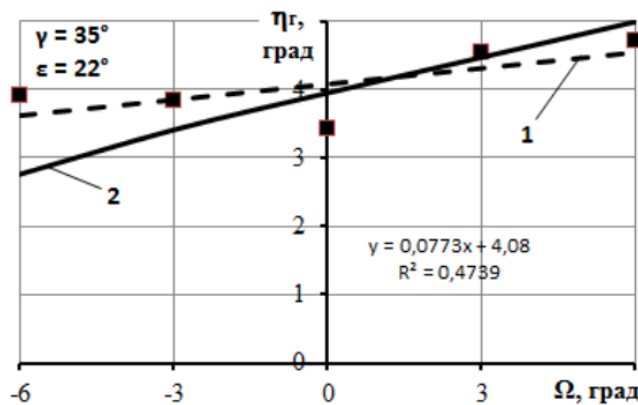


Рисунок 12 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 35^\circ$ та $\epsilon = 22^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу впоперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

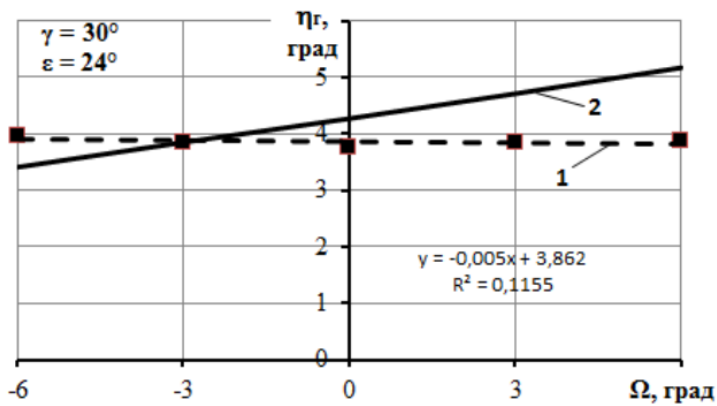


Рисунок 13 – Залежність кута η_r від крутості схилу Ω при $\gamma = 30^\circ$ та $\varepsilon = 24^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек. 1 – за моделлю, 2 – теоретич. Схилу.

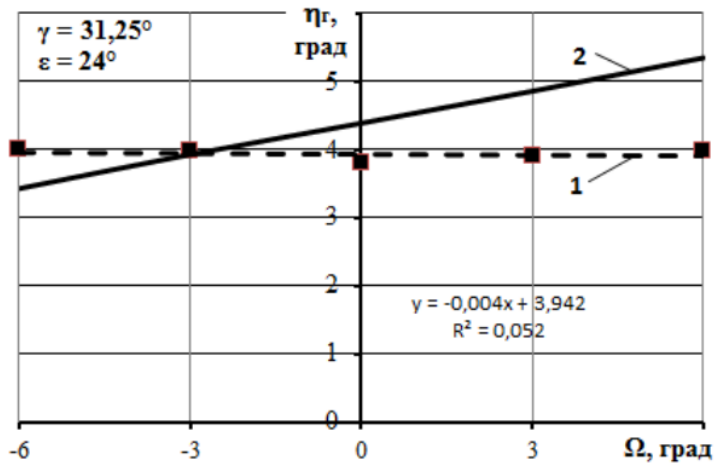


Рисунок 14 – Залежність кута η_r від крутості схилу Ω при $\gamma = 31,25^\circ$ та $\varepsilon = 24^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

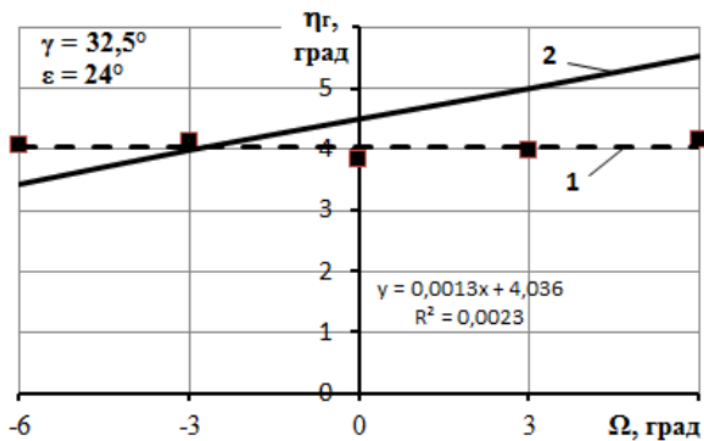


Рисунок 15 – Залежність кута η_r від крутості схилу Ω при $\gamma = 32,5^\circ$ та $\varepsilon = 24^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

Продовження додатку А

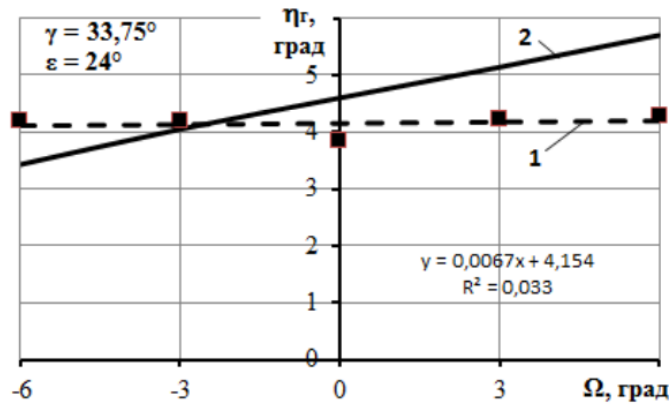


Рисунок 16 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 33,75^\circ$ та $\varepsilon = 24^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

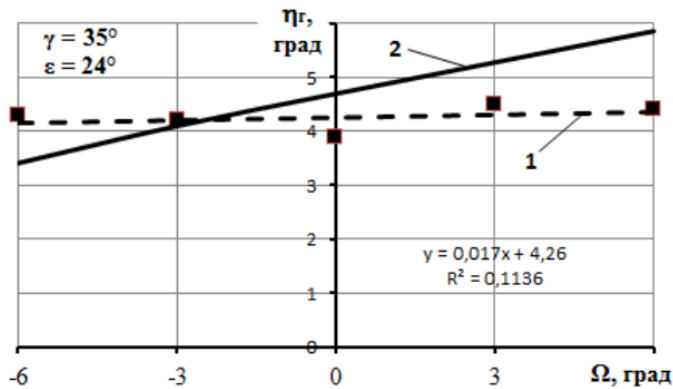


Рисунок 17 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від крутості схилу Ω при $\gamma = 35^\circ$ та $\varepsilon = 24^\circ$, підраховані різними способами при русі робочого органу поперек схилу. 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

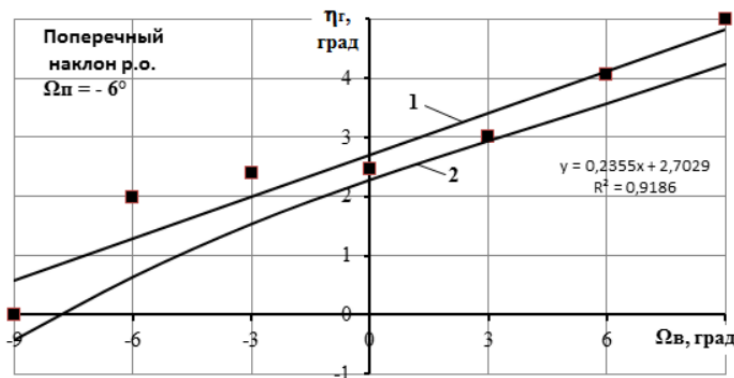


Рисунок 18 – Залежність кута $\eta_{\text{г}}$ від поздовжнього нахилу $\Omega_{\text{в}}$ робочого органу з параметрами $\gamma = 30^\circ$ та $\varepsilon = 20^\circ$ при поперечному нахилі робочого органу - 6° . 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

Продовження додатку А

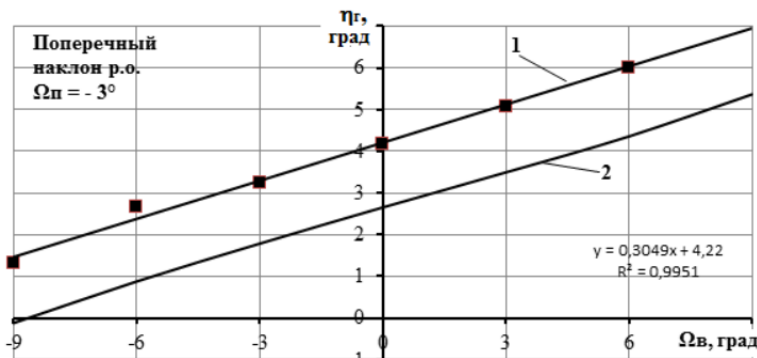


Рисунок 19 – Залежність кута $\eta_{г}$ від поздовжнього нахилу $\Omega_{в}$ робочого органу з параметрами $\gamma = 30^{\circ}$ та $\varepsilon = 20^{\circ}$ при поперечному нахилі робочого органу -3° . 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

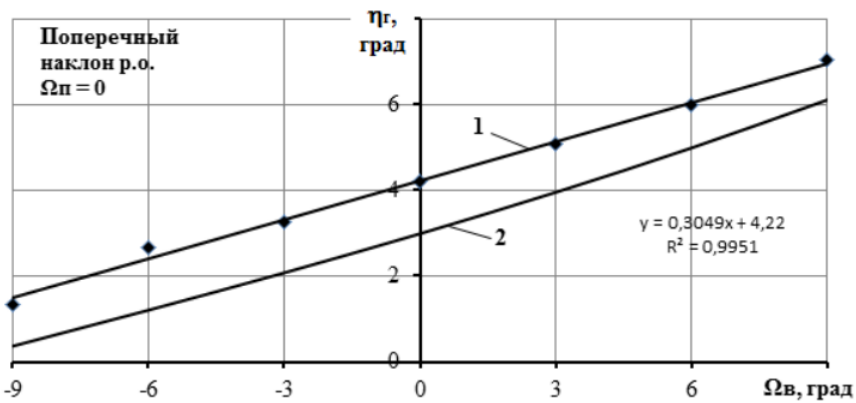


Рисунок 20 – Залежність кута $\eta_{г}$ від поздовжнього нахилу $\Omega_{в}$ робочого органу з параметрами $\gamma = 30^{\circ}$ та $\varepsilon = 20^{\circ}$ при поперечному нахилі робочого органу 0° . 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

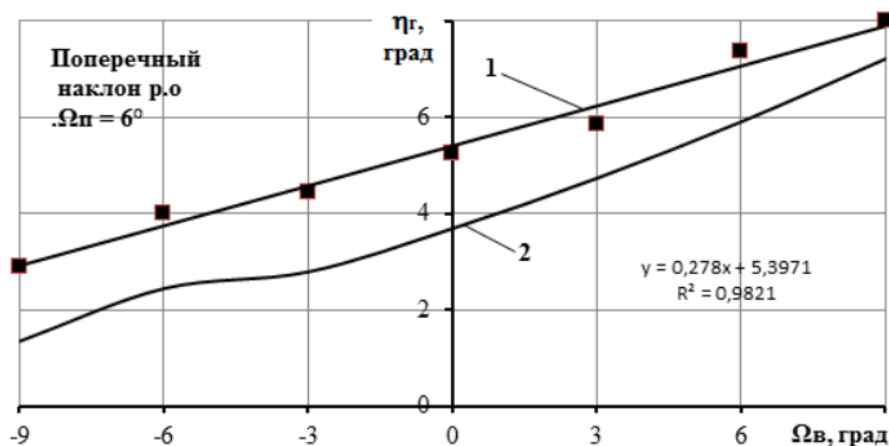


Рисунок 21 – Залежність кута $\eta_{г}$ від поздовжнього нахилу $\Omega_{в}$ робочого органу з параметрами $\gamma = 30^{\circ}$ та $\varepsilon = 20^{\circ}$ при поперечному нахилі робочого органу 6° . 1 – за моделлю, 2 – теоретич.

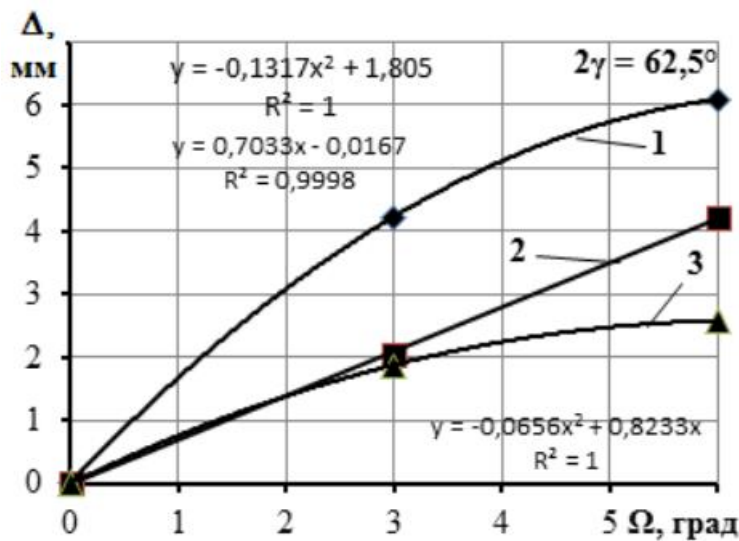


Рисунок 1 – Залежність механічної ерозії Δ від установки направників ґрунту та їх параметрів $\Delta\gamma$ та крутості схилу Ω при параметрах робочого органу $\epsilon = 20^\circ$ та $2\gamma = 62.5^\circ$. 1 – при роботі без направників ґрунту, 2 – під час роботи з направниками з кутом установки $\Delta\gamma = 10^\circ$, 3 – під час роботи з направниками з кутом установки $\Delta\gamma = 16^\circ$.

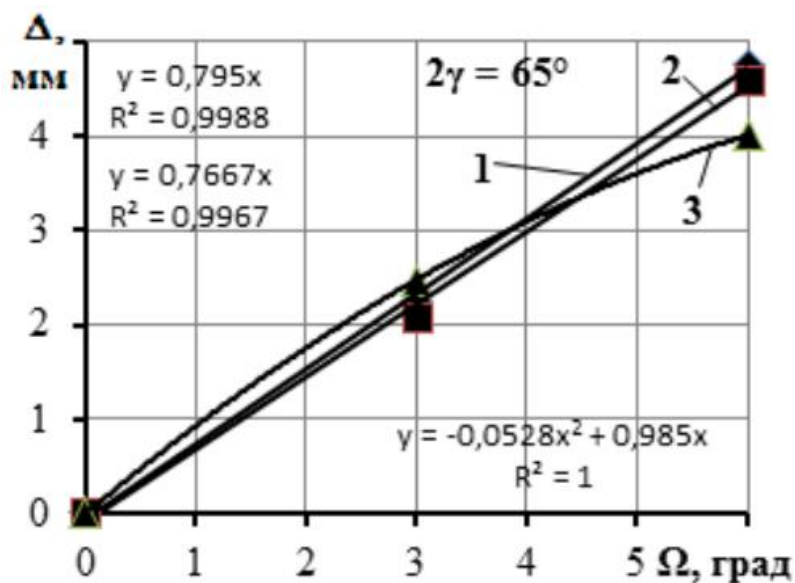


Рисунок 2 – Залежність механічної ерозії Δ від установки направників ґрунту та їх параметрів $\Delta\gamma$ та крутості схилу Ω при параметрах робочого органу $\epsilon = 20^\circ$ та $2\gamma = 65^\circ$. 1 – при роботі без направників ґрунту, 2 – під час роботи з направниками з кутом установки $\Delta\gamma = 10^\circ$, 3 – під час роботи з направниками з кутом установки $\Delta\gamma = 16^\circ$.

Таблиця 1 – Вплив способів основної обробки ґрунту та крутості схилу на змив ґрунту, м³/га.

Знаряддя основного обробітку	Поле з нахилом ⁰		
	2-3°	3-4°	6°
Плуг ПН-4-35	0,22	12,8	
	0,44	1,3	
	11,14	6,18	7,89
Плоскоріз КПШ-9	не змивається		
	не змивається	не змивається	
	1,64	3,51	4,76
Плоскоріз-щілинник КПЩ-5	не змивається	0,05	
	не змивається	не змивається	
	0,96	1,24	3,97

Таблиця 2 – Змив ґрунту (м³/га) на паровому полі після зливого дощу залежно від крутості схилу та місця визначення змиву

Крутизна схилу	Місце визначення змиву ґрунту	
	верхня частина парового поля	нижня частина парового поля
2-3°	змиву немає	змиву немає
3-4°	змиву немає	0,97
6°	0,07	7,2

Наслідки водної ерозії на полях

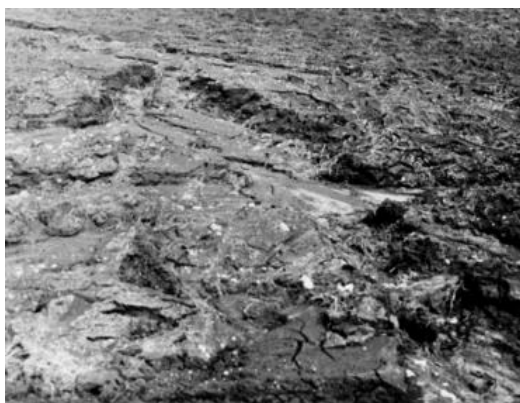


Рисунок 1 – Змив ґрунту від стоку талих вод при відвальній обробці ґрунту.

Продовження додатку В



Рисунок 2 – Змив ґрунту по колії трактора



Рисунок 3 – Відкладення змитого ґрунту на нижній частині схилу



Рисунок 4 – Водороїни після зливи.



Рисунок 5 – Змив ґрунту зливовим дощем відбувається на глибину обробітку ґрунту.



Рисунок 6 – Відкладення змитого ґрунту зливовим дощем на кордоні з луками



Рисунок 7 – Пошкодження стебел зернових культур від стоку вод зливових дощів

Продовження додатку В



Рисунок 8 – Пошкодження від стоку вод зливових дощів посівів кукурудзи, посіяних за традиційною технологією



Рисунок 9 – Необроблена смуга при сівбі комбінованим агрегатом перешкоджає розвитку водної ерозії.



Рисунок 4 – Стрілчаста лапа

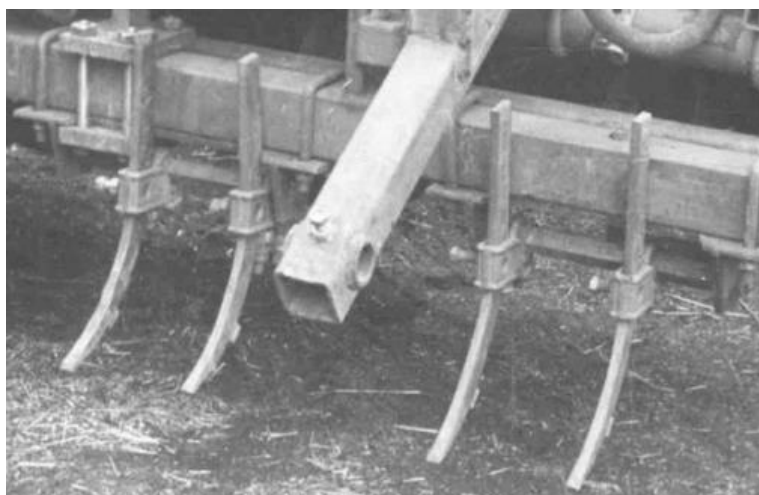


Рисунок 5 – Розпушувачі

Машини, рекомендовані для використання на схилах

1 Плуги навісні зі змінними робочими органами

Залежно від виконуваних технологічних операцій і агротехнічних вимог на раму плуга можуть встановлюватися: відвальні корпуси і безвідвальні стійки з ґрунтопоглиблювачами, похилі чизельні стійки. Плуги також забезпечуються змінними пристосуваннями для вирівнювання поверхні поля і створення шару ґрунту, що мульчує (конічні борони, пруткові котки), які змінюються в залежності від погодних умов року, типу ґрунту і виду обробки.

Таблиця 1 - Характеристики універсальних плугів

	Од. виміру	ПН-3У	ПН-4У	ПН-5У	ПН-8У	ПП-9У
Ширина захоплення	м	1,05	1,4	1,75	2,8	3,15
Глибина обробки: корпус плуга, стійка Чизельний раб. орган	см	20-27 25-40	20-27 25-40	20-27 25-40	20-27 25-40	20-27 25-40
Продуктивність	га/год	0,75	0,98	1,22	1,96	2,2
Робоча швидкість	км/год	7-9	7-9	7-9	7-9	7-9
Вага	кг	475	710	800	2100	2200
Агрегаткування		МТЗ-82	ДТ-75	Т-4, Т-150	К-701	К-744

Використання універсальних плугів зі змінними робочими органами знижує металомісткість у 2-2.5 рази, скорочує витрати на утримання парку сільськогосподарських машин, покращує техніко-економічні показники. Призначені для основної відвальної та безвідвальної обробки ґрунту, поглиблення орного шару, розуцільнення підорного горизонту, обробки пласта багаторічних трав, поліпшення лук і пасовищ, вирівнювання поверхні поля.

Глибина ходу робочих органів регулюється зміною положення опорного колеса висотою.

Широкий спектр виконуваних операцій дозволяє використовувати дані знаряддя практично протягом усього сезону

2 Плоскорізи-щілинники ПЩ-3 та ПЩ-5

Використання плоскорізів-щілинників сприяє збереженню стерні на поверхні поля, розуцільнює ґрунт, усуває плужну підшову, збільшує накопичення вологи. Ефективне застосування на обробці схилів, для усунення змиву ґрунту, на обробці полів у формі блюдця для забезпечення вбирання вологи в нижні горизонти.

За замовленням плоскорізи-щілинники забезпечуються додатковими пристосуваннями для вирівнювання та мульчування верхнього шару ґрунту (конічні борони, пруткові котки). Підвищують продуктивність праці в 1,5-2 рази, знижують витрату палива в 1,5-2 рази. Плоскорізи-щілинники ПЩ-3 і ПЩ-5 призначені для комбінованого обробітку ґрунту - суцільного розпушування на глибину 8...16 см плоскорізною лапою і нарізування щілин на глибину 25...35 см. щелерезом, встановленим за плоскорізною лапою (таблиця 2, Рисунок 1).

Таблиця 2 - Технічні характеристики плоскорізів-щілин

Показники	ПЩ-3	ПЩ-5
Ширина захоплення, м	2,7	4,4
Глибина ходу плоскорізної лапи, см	8-14	8-14
Глибина ходу щелеріза, см	25-35	25-35
Продуктивність, га/год	1,94-2,77	3,08-4,4
Робоча швидкість, м/с	1,95-2,8	3,08
Вага агрегату, кг	840	1480
Агрегатування	Т-150К, Т-150, ДП-75	К-701

Це підвищує водопроникність ґрунту в 1,5 ... 1,7 рази і сприяє збільшенню накопичення вологи в шарі ґрунту.

Дані знаряддя можуть працювати як плоскорізи при знятих щілинах і як щілинники при знятих плоскорізних лапах.

Глибина ходу щілини відносно плоскорізної лапи регулюється перестановкою його на рамі зброї на різні отвори для кріплення.

Залежно від призначення обробки на знаряддя можуть бути встановлені різні пристрої для вирівнювання поверхні поля, поверхневого розпушування, мульчування та ущільнення ґрунту на глибині посіву.

3 Плуг дисковий. Призначений для традиційної та мінімальної основний та передпосівний обробіток ґрунту під зернові, технічні та кормові культури, освіження задернілих лук і лущення стерні (таблиця 3, Рисунок 2). Зброя дозволяє скоротити кількість обробітків ґрунту в 3-5 разів за рахунок поєднання їх в одній операції. Поліпшується якість обробки (кришення, вирівнювання поверхні, подрібнення рослинних залишків).



Рисунок 2 – Дисковий плуг ПДБМ-6*4П

Принципова відмінність від існуючих дискових знарядь полягає в тому, що кожен диск кріпиться до рами індивідуально і має можливість регулювання кута атаки та робочої ширини захвату диска. Один прохід зброї еквівалентний 3-м проходкам традиційних дискових борін.

Великою перевагою, порівняно з аналогами, є набагато менша залежність від погодних умов, вологість обробітку ґрунту до 40%.

Глибина обробки регулюється зміною кута атаки, положенням причіпного пристрою та ковзанки по висоті.

4 Культиватор-глибокорозпушувач КГ-3,7

Культиватор-глибокорозпушувач КГ-3,7 призначений для глибокого розпушування ґрунту без обороту пласта, для руйнування плужної підшви, розуцільнення та відновлення структури ґрунту. Робочі органи виконують розпушування ґрунту без обороту пласта на глибину від 24 до 50 см, що відновлює структуру ґрунту, сприяє накопиченню вологи та проникненню корневих систем рослин у нижні горизонти. Виробляє рихлення глибоких шарів ґрунту без перемішування з верхнім родючим шаром, створює аерацію і дренаж ґрунту, зберігає стерню і рослинні залишки в поверхневому шарі, які перешкоджають розвитку вітрової та водної ерозії.

Культиватор може бути використаний для роботи на рівних полях і схилах, крутістю до 80, на ґрунтах різного механічного складу при вологості ґрунту до 30%, твердості ґрунту до 4,5 мПа та довжині пожнивних залишків до 25 см.



Рисунок 3 – Культиватор-глибокорозпушувач КГ-3,7

На культиваторі є місця кріплення для змінних пристосувань для вирівнювання поверхні поля і створення шару ґрунту, що мульчує, що знижує видування ґрунту і випаровування вологи. Особливо корисний у зонах,

схильних до вітрової та водної ерозій. Глибина обробки регулюється гвинтовими стяжками опорних коліс.

5 Культиватор-глибокорозпушувач КГ-6

Культиватор-глибокорозпушувач КГ-6 призначений для розпушування ґрунту по відвальних та безвідвальних фонах з поглибленням орного горизонту за безвідвальною технологією на заміну зяблевої та весняної оранки.

Застосовується для глибокого розпушування на глибину 30-60 см з метою розуцільнення плужної підшви без обороту пласта та без пошкодження стерні, а також для покращення водно-повітряного режиму кореневого шару ґрунту, що сприяє накопиченню вологи та проникненню коріння рослин у нижчі горизонти. Це покращує розвиток рослин та підвищує врожайність.

Глибина обробки ґрунту регулюється за допомогою гвинтових стяжок на опорних колесах. Положення котків, призначених для мульчування та вирівнювання ґрунту, регулюється за допомогою лаштунків



Рисунок 4 – Культиватор-глибокорозпушувач КГ-6

6 Культиватори лемішно-дискові навісні КЛДН та причіпні КЛДП
Культиватори лемішно-дискові призначені для передпосівної

обробки ґрунту догляду за парами, осінньої обробки стерневих полів, первинної обробки староорних земель. Культиватори забезпечені двома рядами

послідовно розташованих змінних робочих органів на жорсткій стійці, з зрізними болтами (розпушувачі і плоскорізальні лапи), сферичних дисків і пластинчато-пруткових котків у два ряди. За один прохід зброї виконують розпушування ґрунту на заданій глибині, підрізання бур'янів і пожнивних залишків, кришення ґрунту, вирівнювання поверхні поля, підкочування підґрунтя і ущільнення ґрунту на глибині посіву, а також створюють мульчуючий шар ґрунту (таблиця 6, малюнки.



Рисунок 5 – Культиватор лемішно-дисковий КЛДН-6,0



Рисунок 6 – Культиватор лемішно-дисковий КЛДП-7,2

7 Культиватор універсальний блочно-модульний КУБМ-14,7 ґрунту , а також для подрібненої соломи та інших рослинних решток по поверхні поля. При встановленні додаткового обладнання для обприскування на раму зброї, з модулями з пружинними зубами забезпечується можливість внесення ґрунтових гербіцидів з їх закладенням у ґрунт.

Культиватор КУБМ-14,7 може бути використаний для роботи на всіх типах ґрунтів, у тому числі і на ґрунтах засмічених камінням, з рівним рельєфом та з ухилом до 8° при абсолютній вологості ґрунту до 30% та твердості до 1,6 МПа.

Агрегатується із трактором класу тяги 3÷5.

Культиватор КУБМ-14,7 (рисунок 7) є причіпною універсальною, комбінованою зброєю і складається з гідрофікованої рами та семи змінних модулів, навішених на раму.



Рисунок 7 – Культиватор КУБМ-14,7 у

Змінні модулі (рисунок 8) оснащуються розпушувальними лапами на пружинній стійці (базовий варіант), стрілочастими лапами на пружинній посиленій стійці, на жорсткій підпружиненій і жорсткій стійках і зубами важкої борони голки.

Модулі з розпушувальними робочими органами на пружинній стійці (рисунок 8а) призначені для передпосівного обробітку ґрунту в ранні терміни, коли коренева система бур'янів знаходиться в ниткоподібній формі. Вібрація робочих органів забезпечує суцільне крошення ґрунту і винесення корневих систем бур'янів що у ниткоподібної стадії поверхню. Недолік таких робочих органів – нездатність підрізати кореневідросткові бур'яни після появи сходів, у результаті до 10 % бур'янів приживаються.

Модулі з робочими органами на пружинній стійці зі стрілкою лапою шириною 115-125 мм (рисунок 8б) застосовуються для передпосівного обробітку ґрунту після появи сходів бур'янів. При цьому з'єднуються ефект вібрації та суцільного підрізання, що забезпечує повне знищення бур'янів і малий тяговий опір. Стійки робочих органів посилено.

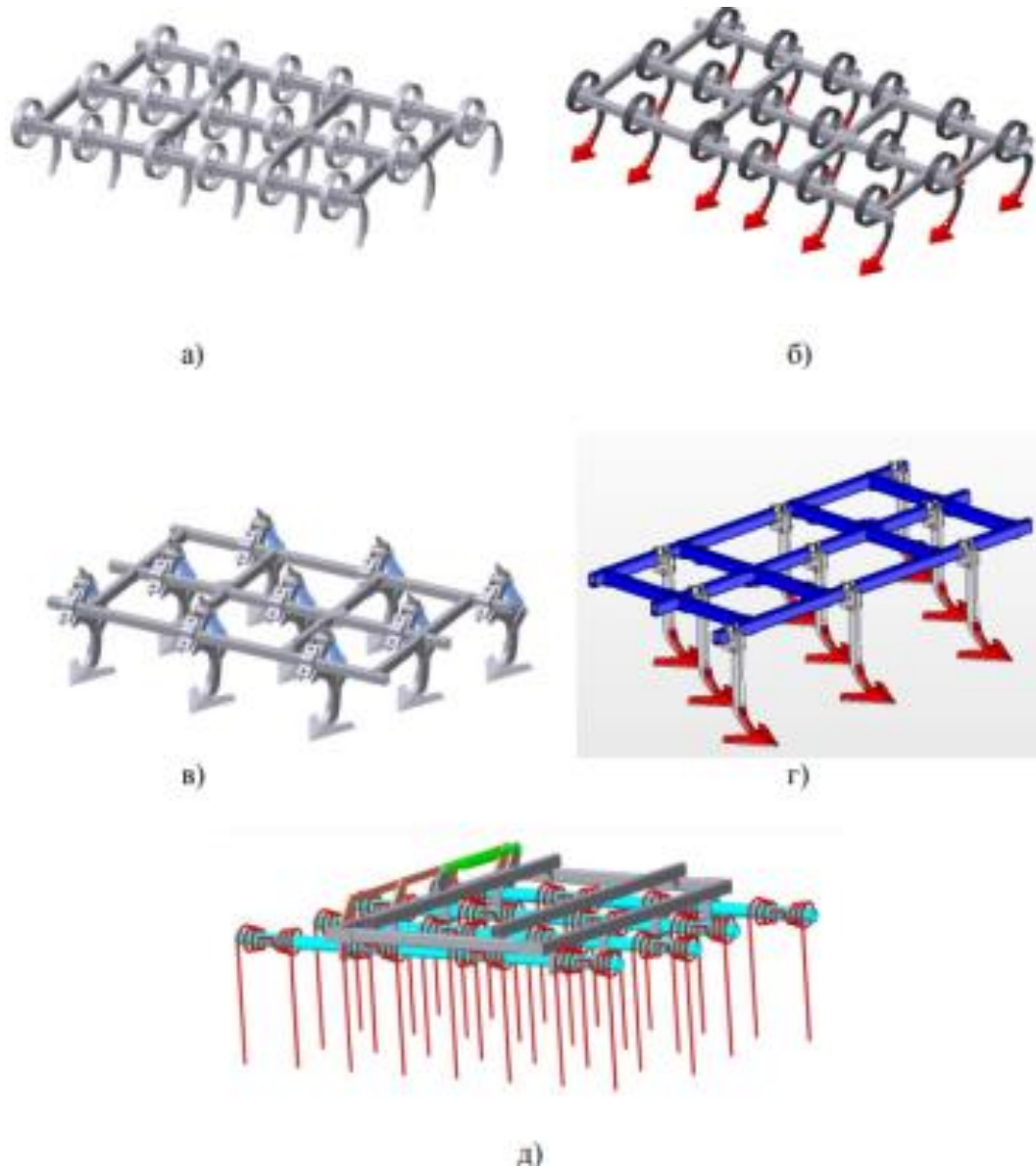


Рисунок 8 – Типи змінних модулів

Для передпосівного обробітку ґрунту по стерневому тлі застосовуються модулі з робочими органами на жорсткій стійці шарнірно закріпленій до рами (Рисунок 8в). Для забезпечення вібрації стійки в напрямку руху пов'язані з рамою через пружину. При зміні властивостей ґрунту відбувається деформація пружини, що веде до коливань стійок. При цьому налиплий ґрунт і рослинні

залишки сходять з поверхні лапи, а вібрація веде до зниження тягового опору. Такі робочі органи шириною захоплення лапи 270 мм стійко виконують технологічний процес як на глибині 4...6 см, так і 10...12 см. Їх регулювання здійснюється шляхом зміни сили попереднього стиснення пружини.

Для обробки пари на глибину до 10...12 см застосовуються модулі з робочими органами на стійці, що жорстко закріплена до рами змінного модуля (рисунок 8г). Вони прості за конструкцією, менш металомісткі і стійко витримують задану глибину обробки. Ширина захвату лапи 270 мм.

Змінні модулі пружинними зубцями (рисунок 8д) призначені для поверхневої обробки, мульчування та прикочування ґрунту. Регулювання кута нахилу зуба щодо поздовжньо-вертикальної площини від 15 ° до 90 °, яка дає можливість домагатися різного технологічного ефекту: мульчування поверхні поля, розподілу подрібненої соломи по поверхні поля, передпосівного та довсходового розпушування ґрунту, ущільнення ґрунту тощо.

Пруткові ковзанки служать для вирівнювання поверхні поля, додаткового кришення ґрунту, підґрунтового прикочування на глибині посіву, вилучення з ґрунтової рослинності і мульчування верхнього шару ґрунту.

Таким чином, культиватор КУБМ-14,7 з перерахованими змінними модулями виконує весь комплекс операцій з поверхневої обробки ґрунту і використовується протягом усього

Робоча швидкість КУБМ 14,7-01 (пружинна стійка, долота) КУБМ 14,7-02(пружинна стійка» лапа 150 мм) КУБМ 14,7-03 (підпружинена стійка, лапа 270 мм) КУБМ 14,7-05 (пружинний спарений зуб) Глибина обробки: Продуктивність за 1 годину основного часу КУБМ 14,7-01 (пружинна стійка, долота) КУБМ 14,7-02(пружинна стійка» лапа 150 мм). КУБМ 14,7-03 (підпружинена стійка, лапа 270 мм) КУБМ 14,7-05 (пружинний спарений зуб)

8 Культиватор блочно-модульний причіпний КБМ-7,2ПВ Культиватор блочно-модульний КБМ-7,2ПВ (рисунок 9)

для ранньовесняної передпосівної підготовки ґрунту, що поєднує операції боронування культивації, вирівнювання поверхні поля, підґрунтового прикочування ґрунту на глибині посіву та мульчування верхнього шару ґрунту, а також для обробки пари.

Культиватор КБМ-7,2ПВ може бути використаний для роботи на всіх типах ґрунтів, у тому числі і на ґрунтах засмічених камінням, з рівним рельєфом та з ухилом до 8° при абсолютній вологості ґрунту до 30% та твердості до 1,6 МПа. Агрегується з трактором класу тяги 1,4÷2.

Культиватор КБМ-7,2ПВ є причіпним універсальним, комбінованим знаряддям і складається з гідрофікованої рами та чотирьох змінних модулів навішених на раму.

Змінні модулі оснащуються розпушувальними лапами на пружинній стійці (базовий варіант), стрілочастими лапами на посиленій пружинній стійці і на жорсткій стійці.



Рисунок 9 – Культиватор блочно-модульний КБМ-7,2 ПВ. Борона важка голчаста БТІ-21

Борона важка голчаста БТІ-21 шириною захоплення 21 м (рисунок 10) призначена для мульчування поверхневого шару ґрунту, закриття вологи, передпосівного розпушування ґрунту, довсходового і післясхідного боронування технічних і зернових культур, вирівнювання полів і розподілення полів поверхні поля.



Рисунок 10 – Боро́на важка голча́ста БТІ-21

Боро́на містить сім розташованих у ряд модулів шириною по 3,0 м, з пружинними зубами, що мають регульований кут атаки від 15 до 90°, що дозволяє змінити глибину розпушування від 5 до 9 см. На глибину обробки впливають положення причіпного пристрою по висоті (таблиця 9).

При малому куті атаки проводиться ущільнення ґрунту на глибину посіву, що створює щільний контакт насіння із ґрунтом. Тим самим було створюючи передумови для дружних сходів зернових культур. Одночасно при цьому за рахунок вібрації зубів створюється шар ґрунту, що мульчує, що перешкоджає випару вологи.

Тяжка боро́на БТІ-21 є універсальною і легко перебудовується на різні види робіт, що збільшує тривалість її використання протягом року. Внаслідок малого тягового опору робочих органів вони мають більшу продуктивність та малу витрату палива в порівнянні з зубними боро́нами.

При закритті вологи та передпосівної обробки ґрунту на швидкості понад 10 км/год зубці боро́ни починають вібрувати, за рахунок чого відбувається вичісування бур'янів із поверхневого шару ґрунту. Агрегатується із тракторами класу тяги 3-5 залежно від призначення обробки.

10 Борона модульна зубна БМЗ-15

Призначена для вирівнювання поверхні поля, закриття вологи, закладення мінеральних добрив, довсходового і післясхідного боронування технічних, зернових культур, обробки стерні, мульчування верхнього шару ґрунту знищення сходів бур'янів у фазі «білої нитки».

Борона модульно-зубова БМЗ-15 (рисунок 11) складається з 10 розташованих у ряд модулів боронок з пружинними зубцями шириною по 1,5м., що мають регульований кут атаки від 15 до 90 °, що дозволяє змінювати глибину розпушування від 2 до 9 см.



Рисунок 11 – Борона модульна зубна БМЗ-15

Зменшений крок зубного поля голчастих борін спільно з вібрацією пружинних зубів забезпечує повне знищення бур'янів у фазі «білої нитки».

Вібрація зубів забезпечує процес самоочищення від землі і рослинних залишків при куті атаки менше 75°. Переведення агрегату з транспортного положення до робочого і навпаки повністю механізовано та виконується одним механізатором (трактористом) з кабіни трактора (таблиця 10).

Призначена для вирівнювання поверхні поля, закриття вологи, закладення мінеральних добрив, досходового та післясходового боронування технічних та зернових культур, мульчування поверхні поля та розкидання подрібненої соломи після збирання, ущільнення поверхні ґрунту.



Рисунок 12 – Борона модульна зубна БМЗ-24

Борона містить 16 розташованих у ряд модулів шириною по 1,5 м із пружинними зубами, що мають регульований кут від 15 до 90° установки зубів до горизонту, що дозволяє змінювати глибину розпушування від 2 до 9 см.

Зменшений крок зубного поля (38мм) разом із вібрацією пружинних зубів забезпечує повне знищення бур'янів у фазі «білої нитки».

Вібрація зубів забезпечує процес самоочищення від землі і рослинних залишків при куті установки зубів до горизонту менше 75°.

Переведення агрегатів з транспортного положення в робоче і навпаки повністю механізується виконується одним механізатором (трактористом) з кабіни трактора.

Агрегатується з тракторами класу 2÷3 т. (Т-150К, Т-150, МТЗ-1221, РТ-М-160 та ін.) (Таблиця 11).

Результати моделювання технологічного процесу обробітку ґрунту.

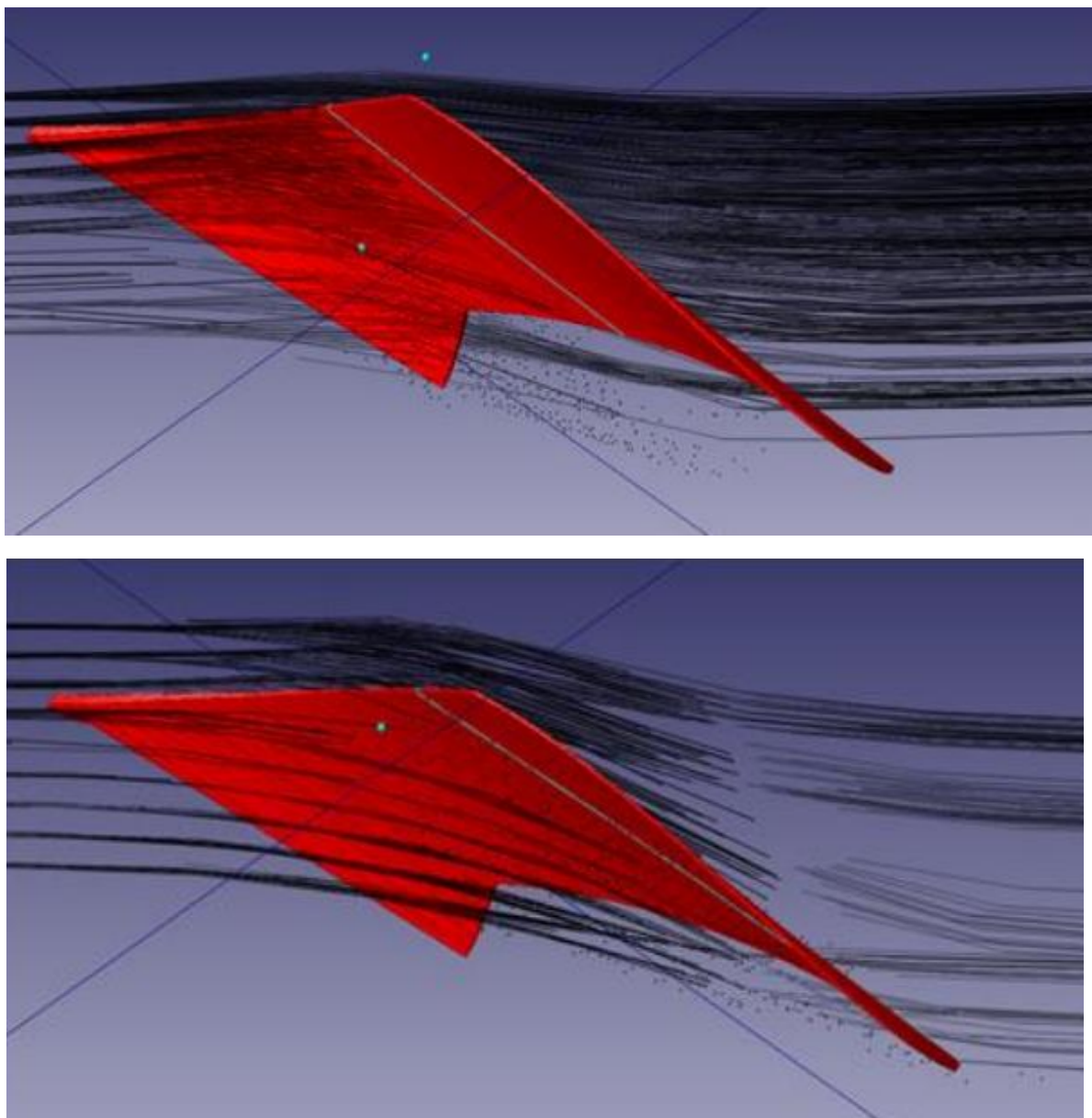


Рисунок 1 –Траєкторія руху ґрунту щодо корпусу плуга. а) при відвалюванні пласта вгору схилом б) при відвалюванні пласта вниз по схилу
Закінчення програми Л

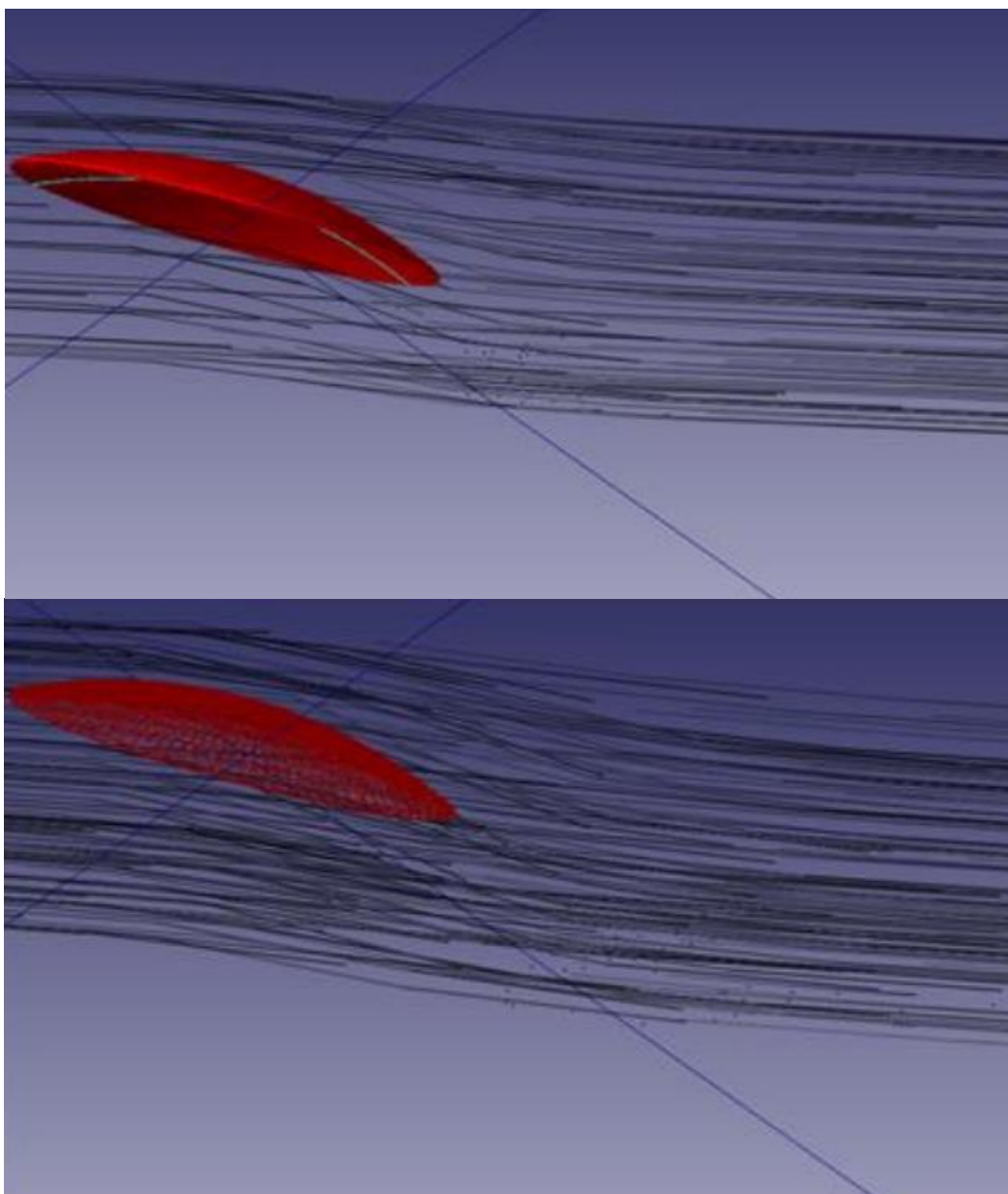


Рисунок 2 Траєкторія руху ґрунту щодо диска луцильника. а) при відвалюванні ґрунту вгору схилом. б) при відвалюванні ґрунту вниз по схилу.