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

Допущено до захисту
«___»_____ 2025 р.
Т.в.о. зав. кафедри _к.т.н., доцент___
(науковий ступінь, вчене звання)
_____ ____Андрій ВОЙТІК_____
(підпис) (ініціали, прізвище)

Кваліфікаційна робота (дипломний проект)

перший (бакалаврський)
(назва освітнього рівня)

тема проекту: «Удосконалення конструкції робочих органів агрегату для поверхневого обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією»

Виконав: студент 3 курсу, групи 31к-ім
освітньої програми___бакалавра_____
спеціальності _208 «Агроінженерія»_
_Прокопенко Олег Вячеславович_____
(прізвище та ініціали)
Керівник к.е.н., доцент Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Умань – 2025

ЗМІСТ

Вступ……... 3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ…… 4
1.1. Причини виникнення процесів деградації ґрунтів на схилах…… 4
1.2. Напрямки удосконалення ґрунтообробних машин для поверхневого обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією…….. 7
Висновки по розділу……. 8
РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ…….. 10
2.1. Математична модель технологічного процесу обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією…. 10
2.2. Математична модель технологічного процесу роботи удосконаленого робочого органу та обґрунтування його параметрів……... 16
Висновки по розділу……. 23
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ……. 24
3.1. Організація охорони праці у сільськогосподарському підприємстві…... 24
3.2. Заходи з охорони праці під час роботи з ґрунтообробними машинами... 25
Висновки по розділу……. 26
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ…… 27
Висновки по розділу……. 28
Загальні висновки…….. 29
Список використаних джерел…….. 30

ВСТУП

Збереження грунту від деградації при вирощуванні сільськогосподарських культур залишається найважливішою проблемою сільськогосподарського виробництва. Якщо на всіх полях відбувається машинна деградація грунту, дегуміфікація, підкислення, виснаження грунту, то при розміщенні сільськогосподарських угідь на схилах, деградаційні процеси посилюються за рахунок ерозій грунту.

Механічна ерозія виникає за рахунок зсуву грунту вниз по схилах робочими органами грунтообробних машин при обробітку грунту. Така ерозія з роками оголює верхню частину схилів від гумусу та продуктивної частини грунту й посилює водну ерозію.

Проте, до цього часу не розкриті механіко-технологічні основи виникнення механічної ерозії грунту при роботі робочих органів на схилах. В їх розробці не враховуються зміни технологічних параметрів робочого органу й виникнення бокової сили, діючої на грунт та приведення до зміщення грунту вниз по схилу. Крім цього, при роботі грунтообробних машин на схилах змінюється характер технологічного процесу багатьох операцій з обробітку грунту.

Для суттєвого зменшення ерозії ґрунту необхідно удосконалювати не тільки робочі органи, але й технології обробітку ґрунту. Зміна технологій особливо потрібна при обробітку для просапних культур, які дуже схильні ерозійним процесам. При обробітку для зернових культур необхідно враховувати, що використовувані технології повинні бути не тільки ґрунтозахисними, але й енерго- та ресурсозбереженими.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1 Причини виникнення процесів деградації ґрунтів на схилах

Під деградацією ґрунтів розуміються процеси та результати зміни їх властивостей і природних режимів, що в сукупності призводять до зміни функцій ґрунту, як елемента екологічної системи та зниження ґрунтової родючості [3]. Вона обумовлена великою кількістю, як природних, так і антропогенних факторів.

Якщо природні фактори деградації проявляються локально і не призводять до суттєвих змін властивостей ґрунтів на значних площах, то на антропогенні фактори деградації ґрунтів поширюється значно ширше розуміння (наприклад, ущільнення ґрунтів під впливом важкої сільськогосподарської техніки, зміщення ґрунту на схил під дією робочих органів ґрунтообробних машин, засолення та закислення грунтів, тощо).

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

Однією із серйозних проблем, з якою зіткнулося землеробство, це так звана машинна деградація ґрунту.

Машинна деградація ґрунту полягає в переущільненні продуктивного шару ґрунту ходовими частинами тракторів, сільськогосподарських машин і робочими органами агрегатів при одночасному руйнуванні структури ґрунтового шару. Щільність ґрунту замість необхідних 1,0-1,2 г/см^3 зростає до 1,5-1,8 г/см^3, що в середньому на 20% знижує урожай зернових, на 40% – ефективність добрив і 18% підвищує сумарні витрата пального [3].

Рух важких сільськогосподарських агрегатів та 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 внаслідок тривалого

обробітку ґрунту на одну і ту саму глибину, що веде до утворення на глибині оранки плужної підошви з високою об’ємною масою та малим числом мікропор.

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

- перехід до мінімальної, а потім й до нульової системи обробітку ґрунту, що знижує кількість проходів по полю;

- суміщення 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;

- організація заправки агрегатів насінням, добривами, паливом тільки на краю поля;

- виключення утворення плужної підошви щорічною зміною глибини основного обробітку, щілюванням та чизелюванням ґрунту.

Серед проблем деградації ґрунтів під впливом господарської діяльності людини на першому місці стоїть ерозія. У сільськогосподарському виробництві при вирощуванні культур руйнування ґрунтового шару полів відбувається в основному трьома видами ерозії: водною, вітровою та механічною або ж у різному їх поєднанні.

При ерозії різко погіршуються 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 зливи. А це в свою чергу призводить до неповного використання опадів і зниження урожайності культур. Щорічні втрати талих вод у районах недостатнього та нестійкого зволоження становлять 50-60 млрд. м^3. Якщо навіть лише наполовину зменшити цей стік, то можна було б отримати додатково врожаю до 16-32 млн. тонн зерна [1].

Залежно від складності ландшафтів та ступеня сільськогосподарського освоєння, ерозія в різних природно-сільськогосподарських зонах розвинена по-

різному і форми її прояву різні. Тому, заходи щодо захисту ґрунтів від ерозії та відновлення родючості еродованих земель мають бути адаптовані до конкретного зонального та локального прояву ерозії.

Деякими науковцями рекомендовано градацію схилів за крутизною та ерозійною небезпекою при розорюванні (Табл. 1.1) і запропоновані заходи боротьби з ерозією грунту [1].

Таблиця 1.1 – Градація схилів за крутизною та ерозійною небезпекою при розорюванні

Схили	Крутизна	Ерозійна небезпека і заходи боротьби з нею
Слабопологі	$<3^0$	Безпечні
Пологі Слабопохилі	$3\text{-}5^0$ $5\text{-}7^0$	Небезпечні, потребують ґрунтозахисних зональних систем землеробства
Похилі Сильнопохилі	$7\text{-}10^0$ $10\text{-}15^0$	Дуже небезпечні, потребують спеціальних ґрунтозахисних систем землеробства
Круті Дуже круті	$15\text{-}20^0$ $20\text{-}40^0$	Землеробство можливе лише за штучного терасування схилів
Обривисті	$>40^0$	Землеробство, як правило, неможливе

При водній та вітровій ерозії щорічно рілля втрачає в середньому 1 мм своєї товщини. Якщо врахувати, що водна ерозія на кожному полі відбувається не щорічно, а один раз на чотири-п’ять років, то напрошується висновок, що на схилах винуватцем таких великих втрат ґрунту є не тільки водна ерозія. Тут паралельно з водною працює і механічна ерозія ґрунту.

Під механічною ерозією ґрунту мається на увазі систематичне зміщення ґрунту на схил під дією робочих органів ґрунтообробних машин. Це помітно на схилах, де товщина гумусного шару на верхній частині завжди менша, а нижня частина схилу містить родючий ґрунт. Це пояснюється тим, що протягом десятиліть при кожному обробітку весь шар ґрунту, що обробляється, зміщується

вниз по схилу (сповзає). При цьому на нижню частину схилу надходить гумусний шар з верхньої ділянки, а на найвищих ділянках такого надходження немає.

Механічна ерозія руйнує шар ґрунту, що обробляється, змінює форму мікрорельєфу поля та призводить до появи порогів-бровок, що погіршує умови обробітку ґрунтів.

Тому, одним із 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 обробітку 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 Напрямки удосконалення ґрунтообробних машин для поверхневого обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією

Впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій у рослинництві, що базується на скороченні та суміщенні операцій, докорінно змінює вимоги до агрегатів для їх здійснення. Однією з основних особливостей сучасних технологій є суміщення операцій обробітку ґрунту. Тому, сучасні ґрунтообробні машини повинні відповідати вимогам, що висуваються до ґрунтообробних. Проте, на даний час в Україні відсутні сучасні регламентовані вимоги до даних типів машин. Існуючі агротехнічні вимоги грунтообробних машин. І навіть у них відсутні вимоги щодо обмеження механічної ерозії ґрунту. Тому, в даний час потрібно розробити, як вимоги до використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій, так й удосконалювати технічні засоби і, в першу чергу, як найбільш енергоємні – це ґрунтообробні машини.

На урожайність сільськогосподарських культур впливають багато факторів (родючість ґрунту, наявність гумусу та поживних речовин, сорт насіння,

випадання опадів у період вегетації тощо). Однак, важливу роль в одержанні врожаю відіграє і якісне проведення передпосівних робіт.

До передпосівного обробітку ґрунту висуваються такі вимоги [3]:

- поверхня поля, на якій виконувався передпосівний обробіток ґрунту, має бути вирівняна;

- висота гребенів або глибина борозен має бути не більше 4 см;

- на поверхні поля не допускається наявність грудок розміром понад 10 см;

- оброблений шар ґрунту повинен бути розпушеним і дрібнокомкуватим;

- в обробленому шарі допускаються грудки розміром з найбільшим діаметром 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/см^2;

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

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

- поверхні поля, схильні до вітрової ерозії, мають оброблятися за спеціальною технологією;

- повинно бути не менше 60% стерні та інших рослинних решток;

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

Таким чином, удосконалені ґрунтообробні машини повинні задовольняти вихідним агротехнічним вимогам. Крім цього необхідно врахувати, що вони працюватимуть і на схилах. Для цього необхідно в конструкцію машин закласти можливість їх адаптації до рельєфу поля, щоб агротехнічні вимоги виконувались і схилах.

Висновки по розділу

Із проведених досліджень в першому розділі визначено, що на деградацію грунтів, особливо на схилах впливають водна, вітрова та механічна ерозія грунту. Такі грунти потребують спеціального обробітку грунту щоб забезпечити

агротехнічні вимоги, які висуваються до передпосівного обробітку грунту. Тому, при удосконалені грунтообробних машин необхідно враховувати, що вони працюватимуть і на схилах. Такі машини повинні мати можливість адаптації до рельєфу поля, щоб агротехнічні вимоги якісного обробітку грунту виконувались і схилах.

РОЗДІЛ 2
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Математична модель технологічного процесу обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією

Для початку побудови математичної моделі необхідно визначити початкові умови. В якості початкових умов необхідно задати значення швидкості потоку V_o на вході в розрахункову область й фізико-механічні властивості грунтообробного середовища (Рис. 2.1) [5].

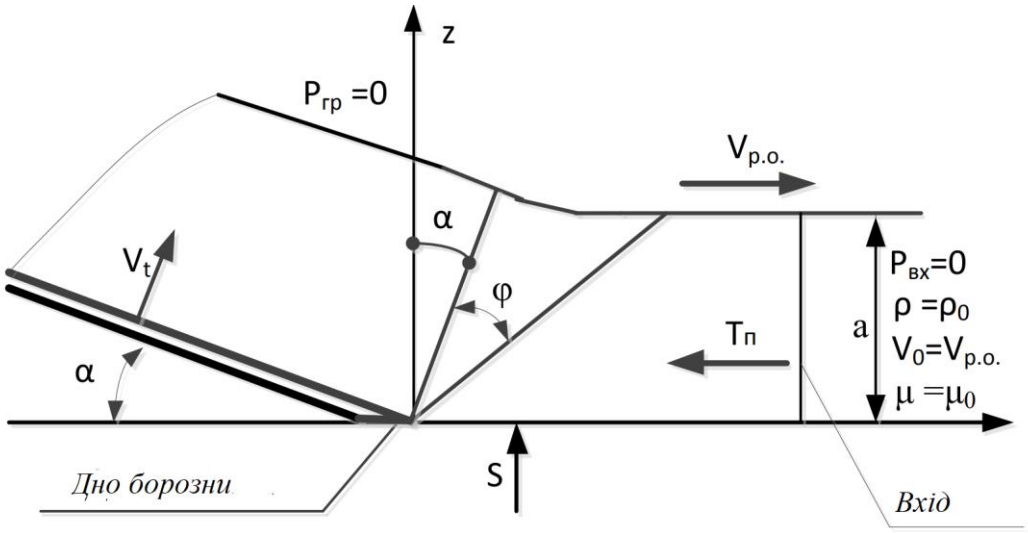


Рисунок 2.1 – Початкові та граничні умови взаємодії робочого органу з ґрунтом

Як встановлено із умови подібності [9] швидкість середовища має дорівнювати швидкості $V_{p.o.}$ робочого органу:

$$V_o = V_{p.o}, \tag{2.1}$$

У зв'язку з тим, що межа розрахункової області береться за межами зони деформації ґрунту робочим органом, змін в межах розрахункової області не буде. Отже, на межі «вхід» і «вихід» тиск зі сторони робочого органу відсутній, а діє лише вага ґрунтового шару. Тому, на межах «вхід» та «вихід» має дотримуватися умова:

$$P_{вх} = 0, P_{вих} = 0, \tag{2.2}$$

В якості фізичних параметрів ґрунтового середовища задається щільність ρ і в'язкість μ середовища.

Геометричні параметри робочого органу вводяться при побудові в системі автоматизованого проектування (САПР).

Гранична умова при русі робочого органу у ґрунті визначається в області контакту з поверхнею робочого органу (рис. 2.1). Гранична умову виражаємо з умови непроникності тіла. Ця умова полягає в тому, що в будь-якій точці, що належить межі тіла, перпендикулярна до поверхні складової швидкості V_t повинна дорівнювати нулю:

$$V_t = 0, \tag{2.3}$$

Гранична умова поділу ґрунтового середовища та повітря визначається рівністю нулю тиску на межі їх розділення:

$$P_{гр} = 0, \tag{2.4}$$

При визначенні граничної умови дна борозни необхідно враховувати 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 в процесі деформації грунту.

Розглянемо процес взаємодії робочого органу у вигляді плоского двогранного клина з ґрунтовим середовищем при роботі на горизонтальній площині (Рис. 2.2).

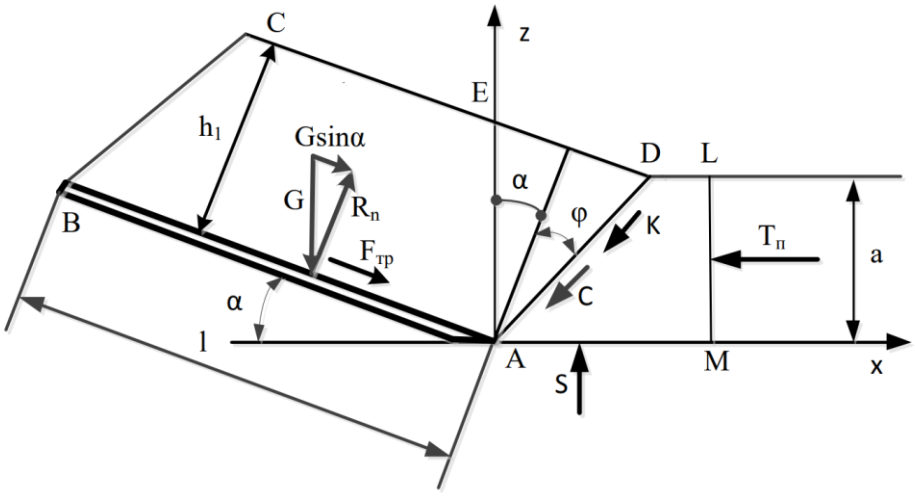


Рисунок 2.2 – Сили, що діють на шар грунту

Шар ґрунту *ABCDLM* умовно можемо розділити на дві зони. В першу зону *ABCD* віднесемо шар грунту, що знаходиться на поверхні робочого органу до площини руйнування. У другу зону віднесемо шар грунту попереду площини руйнування *ADLM* з товщиною, що дорівнює глибині обробітку *a*. В процесі обробітку на шар грунту в першій зоні діють наступні сили: сили тяжіння *G*, нормальна сила тиску робочого органу на грунт R_n, сили внутрішнього тертя $F_{вн.тр}$, сила тертя ковзання $F_{тр}$, сила зчеплення *C*, сила підпору неруйнованого шару грунту, а також сила, обумовлена прискоренням ґрунту *K*. На другу зону шару грунту діє сила з боку першої зони та сили підпору з боку неруйнованого ґрунту (Сили T_n і *S*).

Для визначення товщини шару ґрунту h_1 після попадання 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 (Рис. 2.3).

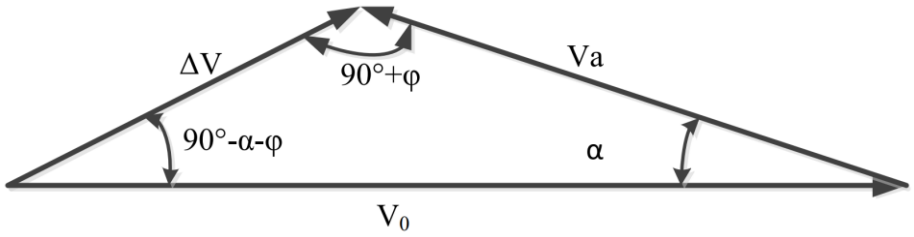


Рисунок 2.3 – Схема зміни швидкості руху ґрунту

За теоремою синусів $\frac{V_a}{\sin(90°-\alpha-\varphi)} = \frac{V_0}{\sin(90+\varphi)}$.

Звідки видно, що відносна швидкість ґрунту по робочому органу знижується на $\frac{\cos(\alpha+\varphi)}{\cos\varphi}$ рази. У зв'язку з цим товщина ґрунту збільшується на:

$$h_1 = a \cdot \frac{\cos\varphi}{\cos(\alpha+\varphi)}. \quad (2.5)$$

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

Коли шар ґрунту доходить до краю робочого органу (точки *B*), його дія на шар припиняється по лінії *BC* і ґрунт далі рухається по інерції по траєкторії вільного падіння. Тому, на робочий орган діє сила тяжіння шару грунту *ABCE*.

$$\mathbf{G = \left(l \cdot h_1 - \frac{h_1^2}{2} (\sin \varphi + \sin \alpha) \right) \cdot в_р \cdot \rho \cdot g,} \quad (2.6)$$

де l – довжина робочої поверхні крила лапи, м; g – прискорення вільного падіння, м/с^2; ρ – об'ємна маса ґрунту в цій зоні, кг/м^3; $в_р$ – ширина робочого органу, м.

Сила тяжіння ґрунту діятиме на два напрямки: перпендикулярно до поверхні робочого органу Gcosα та вздовж поверхні робочого органу в напрямку вниз до леза робочого органу Gsinα.

У зв'язку з цим виникають реакція робочого органу $R_п$=Gcosα та сила тертя грунту об поверхню робочого органу $F_{тр}$=Gcosα·tgφ.

Вага шару грунту *G*, сила інерції шару *K*, когезійна сила *C* діють на робочий орган і не впливають на грунт перед робочим органом. Силами, які впливають на величину підпору, є сила тертя $F_{тр}$=G·cosα·tgφ і складова сили тяжіння шару грунту, що діє вздовж робочого органу Gsinα. Тоді сила підпору дорівнюватиме їх сумі, тобто. $W_п$=G·cosα·tgφ+Gsinα.

Сила підпору $W_п$ діятиме у двох напрямках: в горизонтальному по ходу руху робочого органу $T_п$ і вертикальному S, спрямованому вгору. Вертикальна складова дорівнює:

$$\mathbf{S = W_п \cdot \sin \alpha = (G \cdot \cos \alpha \cdot tg\varphi + G \sin \alpha) \cdot \sin \alpha.} \quad (2.7)$$

Після перетворення отримаємо:

$$\mathbf{S = \left(l \cdot h_1 - \frac{h_1^2}{2} (\sin \varphi + \sin \alpha) \right) (tg\varphi + tg\alpha) \cdot \frac{\sin 2\alpha}{2} \cdot в_р \cdot \rho \cdot g.} \quad (2.8)$$

Наявність цієї сили призводить до стиснення ґрунту перед підрізанням ґрунту лезом лемеша. Зріз ґрунту, що знаходиться під натиском, призводить до ущільнення ґрунту на глибині обробітку ґрунту та утворення плужної підошви при оранці і утворенню насіннєвого ложа при передпосівній культивації.

При роботі робочого органу на схилах з крутизною Ω та під час руху 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 (Рис. 2.4).

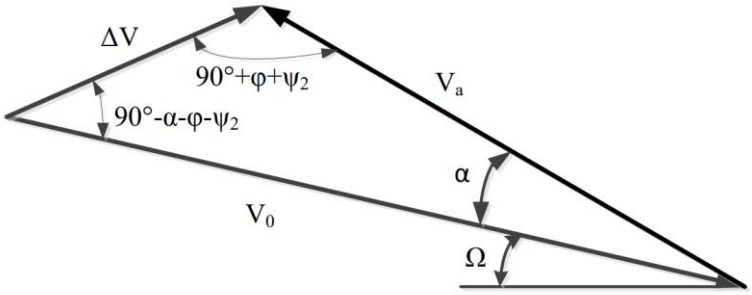


Рисунок 2.4 – Схема зміни швидкостей ґрунту на схилах

Тоді товщина ґрунту перед робочим органом визначатиметься:

$$\mathbf{h_1 = a \cdot \frac{\cos(\varphi+\psi_2)}{\cos(\alpha+\varphi+\psi_2)}}. \tag{2.9}$$

Для знаходження сили тяжіння шару грунту, що діє на робочий орган, намалюємо схему роботи робочого органу на схилі (Рис. 2.5). Звідки видно, що:

$$\mathbf{G = \left(l \cdot h_1 - \frac{h_1^2}{2}(\sin(\varphi+\psi_2) + \sin(\Omega+\alpha))\right) \cdot в_p \cdot \rho \cdot g}, \tag{2.10}$$

А сила підпору:

$$\mathbf{S = (G \cdot \cos(\alpha+\Omega) \cdot tg\varphi + G \sin(\alpha+\Omega)) \cdot \sin\alpha},$$

І остаточно:

$$\mathbf{S = \left(l \cdot h_1 - \frac{h_1^2}{2}(\sin(\varphi+\psi_2) + \sin(\Omega+\alpha))\right) \cdot} \\ \mathbf{\cdot [\cos(\alpha+\Omega) \cdot tg\varphi + \sin(\alpha+\Omega)] \cdot \sin\alpha \cdot в_p \cdot \rho \cdot g}, \text{ Н} \tag{2.11}$$

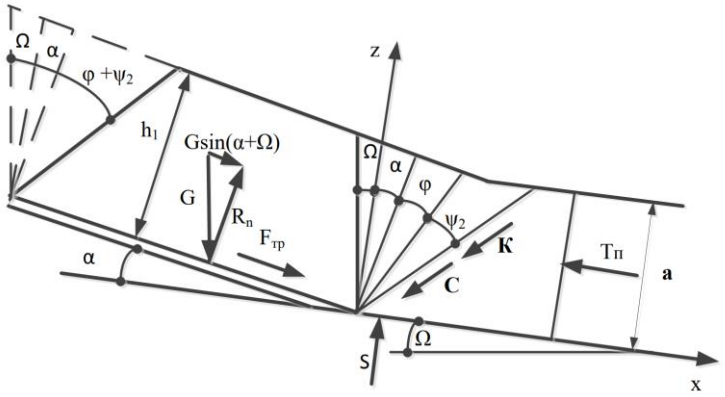


Рисунок 2.5 – Схема дії сил на схилах

При переміщенні робочого органу вгору схилом сила підпору S розраховується за тією ж формулою при негативних значеннях крутизни схилу.

Аналіз отриманих даних показують (Рис. 2.6), що при зміні крутості схилу вздовж напрямку руху відбувається суттєва зміна сили тяжіння ґрунту на робочому органі. Попри це величина підпору дна борозни практично залишається постійною. Це означає, що умови утворення насіннєвого ложа не залежать від схилу.

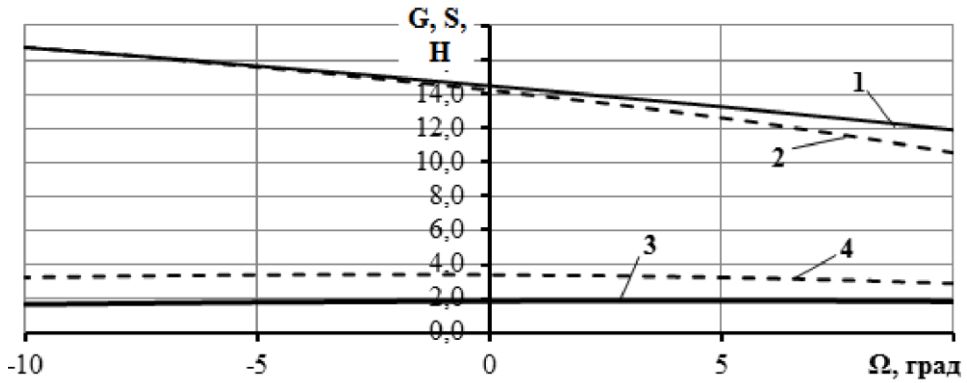


Рисунок 2.6 – Залежність сили тяжіння ґрунту на робочому органі G та сили підпору S від крутості схилу Ω

1 – сила тяжіння ґрунту на робочому органі при γ = 30° та ε = 20°,
2 – сила тяжіння ґрунту на робочому органі при γ = 35° та ε = 28°,
3 – підпір дна борозни при γ = 30 ° і ε = 20 °,
4 – підпір дна борозни при γ = 35° та ε = 28°

Проте, на величину підпору впливають кути γ і ε робочого органу (Рисунки 2.7 і 2.8). Величина підпору збільшується із збільшенням цих кутів, що веде до збільшення ущільнення насіннєвого ложа.

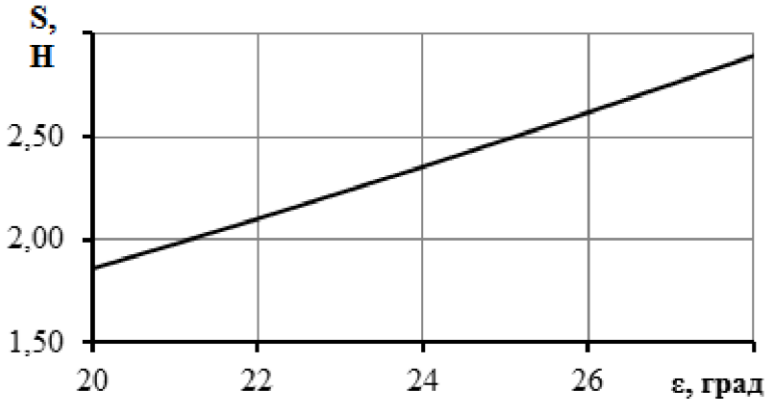


Рисунок 2.7 – Залежність сили підпору S від кута ε при γ = 30°

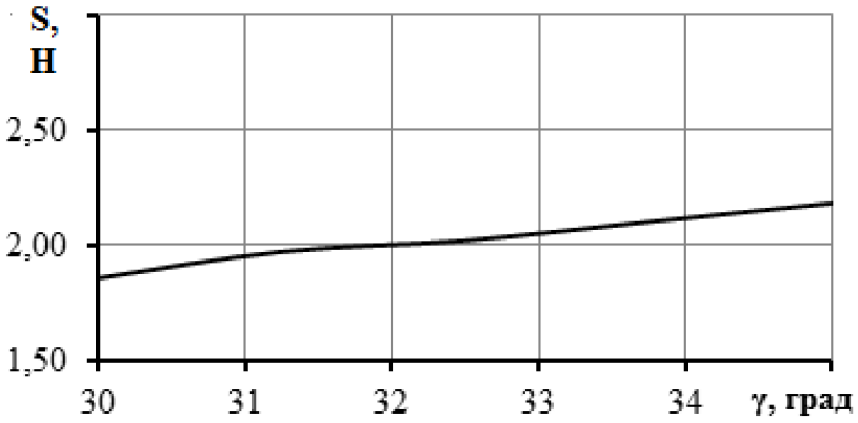


Рисунок 2.8 – Залежність сили підпору S від кута γ при ε = 20°

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

2.2 Математична модель технологічного процесу роботи удосконаленого робочого органу та обґрунтування його параметрів

Нами розроблено математичну модель процесу взаємодії робочого органу з ґрунтом при його роботі на схилах різної крутизни. Розрахунок даної моделі виконаний в програмному середовищі FlowVision.

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

Результати реалізації моделі технологічного процесу роботи удосконаленого робочого органу, що має форму стрілчастої лапи, з визначенням тягового опору при глибині обробітку грунту 8 см і швидкості руху 3 м/с показані в таблицях 2.1-2.2 та на рисунках 2.9-2.10.

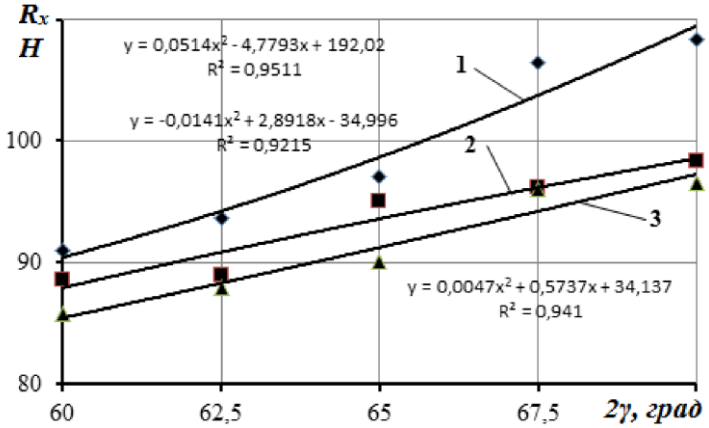
Таблиця 2.1 – Зміна опору робочого органу залежно від кута 2γ і крутизни схилу Ω при ε=24°.

Крутизна схилу Ω, град	Кут 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 2.2 – Зміна опору робочого органу залежно від кутів 2γ і ε при крутизні схилу Ω=3°

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 2.1 представлені значення опору робочого органу по горизонталі R_x від зміни кута розходження лапи 2γ і крутизни схилу Ω при куті установки лемеша до дна борозни ε=24°. На Рис. 2.9 показано графічну інтерпретацію.

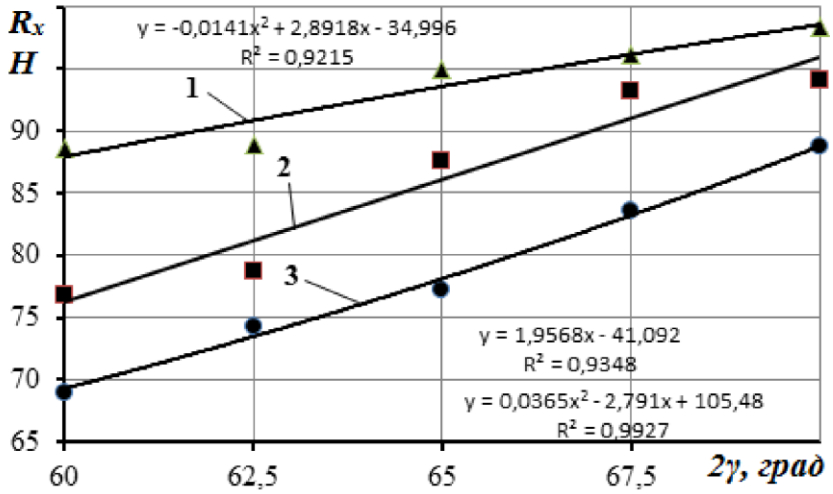


1- Ω=0°, 2- Ω=3°, 3- Ω=6°

Рисунок 2.9– Залежність тягового опору робочого органу від зміни кута 2γ і крутизни схилу Ω при ε=24°.

Як видно з рисунка 2.9, опір робочого органу R_x збільшується із збільшенням кута розходження лапи 2γ. Зі збільшенням крутизни схилу відбувається деяке зниження тягового опору, який можна пояснити зменшенням нормальної складової сили тяжіння шару грунту.

В таблиці 2.2 представлені значення опору робочого органу по горизонталі R_x від зміни кутів 2γ та ε при крутизні схилу Ω=3°. На рисунку 2.10 показані дані залежності в графічному вигляді.



1 – ε =24°, 2 – ε =22°, 3 – ε =20°

Рисунок 2.10 – Залежність опору робочого органу від кута 2γ при різних кутах ε та крутизни схилу Ω=3°

З рис. 2.10 видно, що із збільшенням кутів ε і 2γ відбувається збільшення тягового опору.

Реалізація розробленої моделі процесу взаємодії робочого органу стрілчастого типу з ґрунтом дозволила встановити, що на його тяговий опір мають вплив конструктивні параметри та крутизна схилу. При роботі на схилах найкращим є стрілчастий робочий орган з кутами розходження лапи 2γ=60...65° і установки лемеша на дно борозни ε=20°.

Для створення щільного насіннєвого ложа та скорочення кількості операцій при вирощуванні зернових культур широко використовуються лапові сошники, за допомогою яких відбувається поєднання операцій передпосівної культивації й

посіву. Недоліком лапових сошників є: по-перше, що вони розсувають ґрунт у дві сторони, залишаючи після себе розвальну борозну. При цьому загортання насіння відбувається за рахунок самозасипання поверхневого шару ґрунту, де вологість набагато менше ніж на глибині посіву, а це погіршує умови проростання насіння, що в результаті знижується урожайність культур. І по-друге, на схилах призводять до виникнення механічної ерозії грунту.

Дана проблема вирішується при встановленні на робочій поверхні лапи по обидва боки направників (Рис. 2.11).

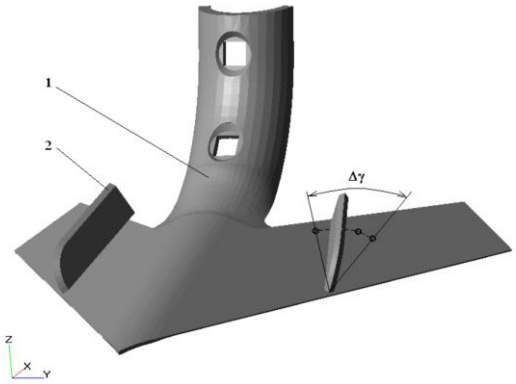


Рисунок 2.11 – Робочий орган

1 – лапа, 2 – направник

За відсутності направників ґрунт переміщається у бік від стійки під кутом $\eta_г$ (Рис. 2.12, а). При їх установці, ґрунт, що знаходиться між направниками починає переміщатися вже у бік стійки і цим самим заповнювати об’єм борозни (Рис. 2.12, б).

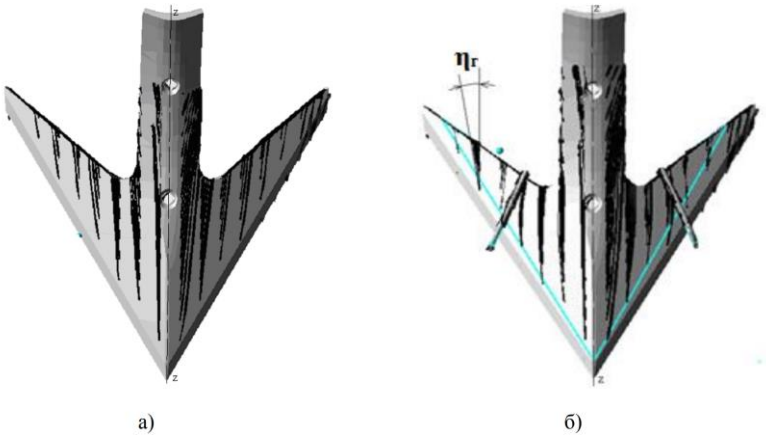
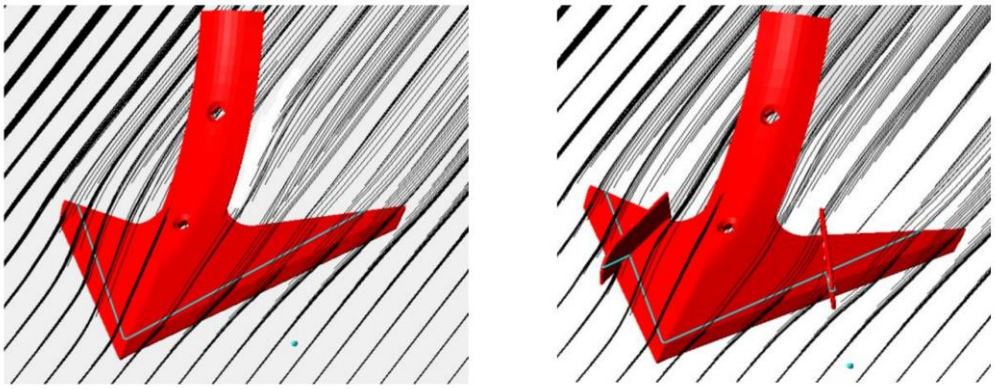


Рисунок 2.12 – Траєкторії руху частинок ґрунту по робочому органу:

а – без пристроїв; б – з направниками ($\Delta\gamma=25^0$)

Також змінюється напрям векторів швидкостей частинок грунту, що переміщаються по робочому органу.

Як видно з рис. 2.13, а) без встановлення направника за стійкою робочого органу залишається не заповнена частинками грунту область. При встановленні направників частинки ґрунту переміщаються до центральної частини дна борозни (Рис. 2.13, б).



а) б)

Рисунок 2.13 – Траєкторії руху частинок ґрунту:
а – без додаткових пристроїв; б – з додатковими направниками ($\Delta\gamma=25^0$)

Для обґрунтування параметрів направників були проведені експерименти при різних кутах установки відкрилок $\Delta\gamma$ до напрямку руху. На рис. 2.14 показаний розріз профілю поля після проходу лапи при різних кутах установки направників. При кутах $\Delta\gamma$ в межах $0\text{-}20^0$ профіль поверхні поля стає більш вирівняним в порівнянні з серійним робочим органом без додаткових пристроїв. Глибина борозни після проходу серійної лапи становить 3 см, а при встановленні додаткових відкрилків під кутом в діапазоні $0\ldots20^0$ знижується приблизно на 18...40%.

Подальше збільшення кута установки відкрилок веде до зсуву ґрунту перед лапою. Тому, оптимальний кут установки додаткових відкрилок знаходиться в межах $0\ldots20^0$.

Крім цього, встановлення направників забезпечує найкраще кришення ґрунту та загортання насіння нижніми вологими шарами ґрунту.

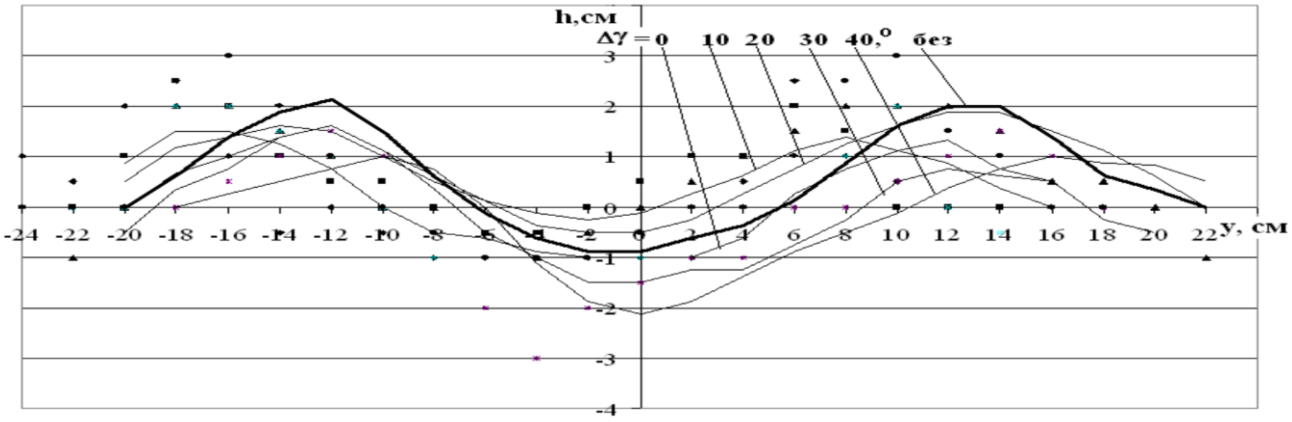


Рисунок 2.14 – Поперечний профіль гребенів після проходу робочого органу

Як видно з рис. 2.14, борозна, що утворюється при встановленні направників під кутом Δγ=10° має мінімальні розміри по ширині та глибині. За допомогою математичної моделі ми перевірили вплив направників на зміну величини механічної ерозії грунту. Слід зазначити, що їх установка призводить до розподілу потоку ґрунту по крилу стрілчастої лапи. У зовнішніх зонах лапи далі направників переміщення грунту відбувається в сторони від стійки (коли крутизна схилу менше критичної), а між направниками ґрунт переміщається у бік до стійки. Тобто, уявлення про те, що нижнє крило штовхає ґрунт вниз не справджується, бо частина нижнього крила ближче до стійки робочого органу від направника починає штовхати ґрунт вгору. Тому, механічна ерозія для внутрішньої зони визначається вже, як різниця зміщення ґрунту між верхнім та нижнім крилом лапи. Ми також перевірили, чи це не призводить до збільшення механічної ерозії грунту.

Для цього ми взяли робочий орган з параметрами 2γ=60…70° і ε=20° та порівняли механічну ерозію ґрунту без направників та з двома варіантами їх встановлення: під кутом Δγ=10° та Δγ=16° (табл. 2.3, рис. 2.15) при різних параметрах робочого органу 2γ та ε.

Таблиця 2.3 – Відхилення траєкторії руху ґрунту $\eta_г$, зміщення ґрунту робочим органом Δ_1 та Δ_2 й механічна ерозія Δ залежно від параметрів робочого органу 2γ, крутизни схилу Ω та установки направників ґрунту при $\varepsilon=20°$

2γ	Установка направників	Розташування крил	Крутизна схилу, град					
			3			6		
			$\eta_г$	Δ_1, Δ_2	Δ	$\eta_г$	Δ_1, Δ_2	Δ
60°	без направ	нижнє	4,08	13,98	4,14	4,12	14,19	6,22
		верхнє	2,99	9,84		2,46	7,98	
	з направ $\Delta\gamma$ =10°	нижнє	-3,03	-8,25*	2,15	-2,29	-6,36	4,17
		верхнє	-3,91	-10,39		-3,96	-10,56	
	з направ $\Delta\gamma$ =16°	нижнє	-3,69	-9,87	1,77	-3,37	-9,13	3,80
		верхнє	-4,44	-11,64		-4,98	-12,93	
62,5°	без направ	нижнє	4	13,08	4,23	4,02	13,21	6,09
		верхнє	2,82	8,85		2,3	7,12	
	з направ $\Delta\gamma$ =10°	нижнє	-3,09	-8,13	2,06	-2,33	-6,28	4,22
		верхнє	-3,96	-10,18		-4,08	-10,5	
	з направ $\Delta\gamma$= 16°	нижнє	-4,04	-10,37	1,88	-3,99	-10,3	2,58
		верхнє	-4,87	-12,24		-5,13	-12,87	
65°	без направ	нижнє	3,36	10,32	2,24	3,56	11,06	4,77
		верхнє	2,69	8,08		2,12	6,28	
	з направ $\Delta\gamma$= 10°	нижнє	-3,11	-7,92	2,07	-2,35	-6,13	4,60
		верхнє	-4,01	-9,99		-4,22	-1073	
	з направ $\Delta\gamma$= 16°	нижнє	-4,18	-10,37	2,48	-4,13	-10,30	4,01
		верхнє	-5,32	-12,85		-5,99	-14,31	

* - знак мінус означає рух ґрунту у бік стійки робочого органу

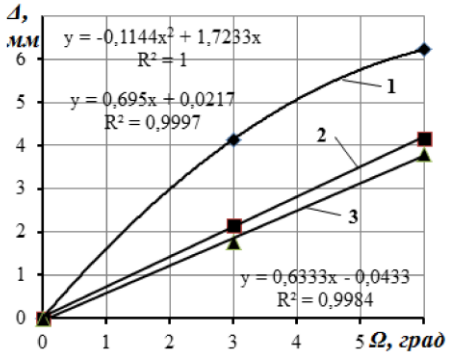


Рисунок 2.15 – Залежність механічної ерозії грунту від установки направників, їх параметрів $\Delta\gamma$ та крутизни схилу Ω при параметрах робочого органу $\varepsilon=20°$ та $2\gamma=60°$

1 – при роботі без направників ґрунту; 2 – при роботі з направниками з кутом установки $\Delta\gamma=10°$, 3 – при роботі з направниками з кутом установки $\Delta\gamma=16°$

Як видно з даних графіків (Рис. 2.15), встановлення направників призводить до зниження механічної ерозії грунту при всіх розглянутих параметрах робочого органу. Крім цього, збільшення кута їх відхилення від поздовжньої осі також призводить до зменшення механічної ерозії грунту. Тому, для зниження механічної ерозії грунту рекомендується встановлювати направники під кутом $\Delta\gamma=10\div20°$.

Висновки по розділу

Таким чином, розроблено математичну модель технологічного процесу обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією пропонованим робочим органом.

Встановлено початкові та граничні умови математичної моделі технологічного процесу обробітку ґрунту з врахуванням крутизни схилу.

Обґрунтовано основні шляхи зниження механічної ерозії грунту при використанні удосконаленого робочого органу. Тобто, при обробітку ґрунту використовувати стрілчасті лапи з кутом розходження $2\gamma=60\div65°$, установки лемеша на дно борозни $\varepsilon=20°$; установки на стрілчасту лапу направників під кутом $\Delta\gamma=10\div20°$.

РОЗДІЛ 3
ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Організація охорони праці у сільськогосподарському підприємстві

Організація охорони праці у сільськогосподарському підприємстві – це передбачений чинним законодавством комплекс заходів щодо державного регулювання охорони здоров'я працівників, забезпечення виконання основних вимог законодавства з охорони праці безпосередньо на підприємствах, додержання кожним працівником правил і норм з охорони праці [4].

Забезпечення додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці покладається на роботодавця. Тому, він забезпечує функціонування системи управління охороною праці, яка створюється суб'єктом господарювання і має передбачати підготовку, прийняття та реалізацію завдань щодо здійснення організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності найманих працівників у процесі їх трудової діяльності.

З метою забезпечення пропорційної участі працівників у вирішенні будь-яких питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на підприємстві за рішенням трудового колективу може створюватися комісія з питань охорони праці. До її складу входять представники роботодавця та професійної спілки, а також уповноважені найманими працівниками особи, спеціалісти з безпеки, гігієни праці та інших служб підприємства відповідно до Типового положення про комісію з питань охорони праці підприємства, затвердженого наказом. Комісія є постійно діючим консультативно-дорадчим органом та раз на рік звітує про виконану роботу на загальних зборах (конференції) трудового колективу. Рішення комісії оформлюється протоколом та мають рекомендаційний характер.

До обов'язків роботодавця з охорони праці входить складання переліків професій і посад, згідно з якими працівники повинні проходити обов'язкові попередні і періодичні медичні огляди, покладається на службу охорони праці підприємства. Цей же нормативний документ містить і перелік шкідливих та

небезпечних факторів виробничого середовища і трудового процесу, при роботі з якими обов'язковий попередній (періодичні) медичні огляди працівників. У сільському господарстві такими факторами є вплив на організм людини пестицидів, добрив, збудників інфекційних захворювань тварин та людини, вібрація, шум, підвищена температура тощо.

3.2 Заходи з охорони праці під час роботи з ґрунтообробними машинами

З початком проведення весняно-польових робіт в агропромисловому комплексі значно зростають обсяги та інтенсивність виконання відповідних технологічних операцій, пов'язаних із обробітком грунту. 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 [4].

Заходи з охорони праці під час роботи з грунтообробними машинами наступні:

- під час руху та роботи трактора забороняється переходити з трактора на причіпні чи навісні машини та механізми;

- працювати з причіпними або навісними машинами та механізмами, на яких місце для розміщення робітника не обладнане або воно знаходиться у технічно несправному стані;

- сидіти на крилах, підніжках, драбинках, майданчиках та інших місцях, крім спеціального сидіння;

- робити круті повороти на косогорах;

- передавати керування трактором іншим особам незалежно від займаної ними посади;

- тракторист і робітники, які обслуговують причіпні або навісні механізми, повинні працювати в заправленому та застебнутому на всі гудзики одязі;

- перед початком руху трактора з місця стоянки тракторист зобов’язаний: переконатися, що немає людей під трактором, причіпними машинами чи механізмами у гусениць (колес), а також між трактором та причіпними машинами або механізмами;

- у момент зчеплення з агрегатом слід зупинити трактор;

- під час руху трактора з причіпними машинами або знаряддями тракторист повинен спостерігати за станом шляху.

Висновки по розділу

Таким чином, в розділі охорони праці наведені основні положення щодо охорони праці та техніки безпеки під час роботи з ґрунтообробними машинами. Дані положення необхідно дотримуватись безумовно працівниками господарства при виконані сільськогосподарських робіт, оскільки це дозволяє запобігти виникненню аварій і травм працівників.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Впровадження пропонованої машини призводить до зниження водної та механічної ерозії, тому одержуваний економічний ефект підвищується за рахунок збереження ґрунту та поживних речовин.

Економічна ефективність при використанні різних технологій обробітку ґрунту отримується за рахунок:

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

Показники економічної ефективності пропонованим новим культиватором у порівнянні із серійним культиватором в агрегаті з трактором МТЗ-82 при обробітку 400 га посівів під соняшник та 100 га посівів під пшеницю представлені у таблиці 4.1. Розрахунки проводилися за методикою наведеною в [11].

Таблиця 4.1 – Показники економічної ефективності нового культиватора

№ п/п	Найменування показників	Культура	
		соняшник	пшениця
1.	Об’єм робіт, га	400	100
2.	Додатковий збір зерна, т	92	32
3.	Вартість 1 т зерна, грн.	12900	9000
4.	Отримано прибутку, грн.	1186800	288000
5.	Економія палива на 1 га, кг/га	2,3	2,3
6.	Економія по всій площі, кг	920	230
	Економія по всій площі, грн.	9200	2300
7.	Загальна економія, грн.	1196000	288230
8.	Економічний ефект в розрахунку на 1 га, грн.	2990	2882,3

З таблиці видно, що загальна економія від впровадження пропонованої машини дорівнює 1848230 грн., а економічний ефект в розрахунку на 1 га для вирощування соняшника становить 2990 грн., для пшениці – 2882,3 грн.

Висновки по розділу

Таким чином, розрахунки економічної ефективності удосконаленого ґрунтообробного агрегату для поверхневого обробітку ґрунту показали доцільність його застосування. Зокрема, загальна економія витрат на різних культурах становить 1848230 грн., а економічний ефект в розрахунку на 1 га для вирощування соняшника становить 2990 грн., для пшениці – 2882,3 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень встановлено, що зниження ерозійних процесів при обробітку ґрунту на схилах можливе не тільки за рахунок застосування спеціальних технологічних прийомів обробітку ґрунту, а й за рахунок зміни конструктивно-технологічних параметрів ґрунтообробних машин. В якості параметру оцінки величини механічної ерозії рекомендується використовувати різницю зсувів ґрунту робочим органом вниз і вгору по схилу.

В даній роботі нами запропоновано модель робочого органу для обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією.

Розроблено математичну модель технологічного процесу взаємодії робочих органів із ґрунтом з врахуванням особливостей їх роботи на схилах. Обґрунтовані початкові та граничні умови моделі з врахуванням конструктивно-технологічних параметрів робочих органів, фізичних властивостей ґрунту, крутизни схилу та напрямку руху агрегату. Розв’язання розробленої моделі та аналіз отриманих даних дозволяє обґрунтувати параметри стрілчастих лап, які забезпечують зниження механічної ерозії грунту під час роботи на схилах: кут розходження лапи $2\gamma=60...65$ °, кут установки лемеша на дно борозни $\varepsilon=20$ °. Для подальшого зниження механічної ерозії грунту та зменшення ширини розвальної борозни рекомендується встановлювати на крило стрілчастої лапи направники. При установці направників у напрямку руху, ширина розвальної борозни, що утворюється під час проходу робочого органу, знижується на 15...20 %, а при встановленні під кутом 10° – до 30%. Тобто, відбувається краще розпушування грунту.

Визначено економічний ефект від застосування удосконаленого грунтообробного агрегату для виконання поверхневого обробітку грунту на похилих агроландшафтах пошкоджених водною та вітровою ерозією. Дані розрахунків показали, що загальна економія витрат на різних культурах становить 1848230 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бей А.А. Ґрунтозахисна технологія на похилих землях України. *Землеробство*. 1984. №4. С. 25-26.

2. Бурченко П.М. Механіко-технологічні основи ґрунтообробних машин нового покоління Київ : Вища школа, 2002. 211 с.

3. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ : Нора-прінт, 1999. 280 с.

4. Закон України «Про охорону праці». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text. (Дата звернення: 02.02.2025).

5. Килимов І.Т. Визначення зміщення ґрунту плоскорізом. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1994. №10. С.34-35.

6. Кобець А.С. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія. Дніпропетровськ : Вид-во «Свидлер А.Л.», 2011. 140 с.

7. Коломієць С.М. Опис реакцій ґрунту на робочі органи культиватора. Вісник *Харківського державного технічного університету сільського господарства*. Харків, 2000. Вип. №1. С. 280-285.

8. Пушка О.С., Войтік А.В., Ковальчук Ю.О. Інструктивно-методичні матеріали до виконання дипломних проектів студентами спеціальності 208 «Агроінженерія» першого освітнього рівня (бакалаврського). Умань : УНУС, 2020. 27 с.

9. Сізов О.А. Робота леза у ґрунті. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 1998. № 3. С. 9-10.

10. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С. , Мартишко В.М. , Гуменюк Ю.О. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.

11. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки. ГОСТ 23728-88, ГОСТ 23730-88.

12. Crowe C.T. Numerical models for dilute gas-particle flows. *Jornal of Basic Engineering*. 1992. V.104. №3. P. 297-303.