

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Кузьмич Владислав Сергійович**

**УДК 631.31**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ**  
**ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ ДЛЯ РОБОТИ НА**  
**СХИЛАХ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
\_\_\_\_\_ Кузьмич В.С.

**Керівник роботи**

Міненко С.В.

доцент

**Житомир – 2024**

## АНОТАЦІЯ

**Кузьмич Владислав Сергійович. Удосконалення параметрів глибокорозпушувача ґрунту для роботи на схилах. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В магістерській роботі у результаті проведеного віртуального експерименту робочого органу глибокорозпушувача з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами визначено критичні тягові зусилля та позначено зони підвищеного зносу.

Встановлено, що поліпшення якості та зони розпушення переущільнених ґрунтів забезпечується розробленим робочим органом. Так, тягові зусилля однієї стійки глибокорозпушувача знизилися в середньому на 7 %, щільність ґрунту після обробітку становила у верхніх шарах  $1,1...1,15 \text{ г/см}^3$ , у нижніх - не більше  $1,2 \text{ г/см}^3$ , водночас понад 70 % грудок не перевищували розмірів у 7 см.

Проведені польові дослідження, спроектованого за методологією концептуального конструювання глибокорозпушувача, підтвердили його ефективність. Встановлення додаткових ґрунторозпушувальних елементів, таких як латерально-медіальні ґрунторозпушувальні пластини під кутом 35 градусів, наральник із профілем за напівкубічною параболою Нейля, нижні розширювачі, дали змогу підвищити якість обробітку ґрунту на 10-25% щодо зниження густини ґрунту до  $1,11 \text{ г/см}^3$  та формування раціональної зони розпушування, яка повторює ділянку кореневої системи більшості покривних культур. Створення стійкої внутрішньоґрунтової стінки шириною верхньої частини 45 см дало змогу зберегти стійкість схилу за нахилу в 12 градусів.

*Ключові слова: глибокорозпушувач, ґрунт, схил, щільність, дослідження, обробіток.*

## ANNOTATION

**Kuzmich Vladislav. Improving the parameters of a deep soil cultivator for working on slopes.. – Qualification work on the rights of the manuscript.**

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

In the master's thesis, as a result of a virtual experiment of the working body of a deep ripper with lateral-medial soil-ripping plates, the critical traction forces were determined and the areas of increased wear were identified.

It has been established that the improvement of the quality and the zone of loosening of compacted soils is provided by the developed working body. Thus, the pulling force of one deep ripper rack decreased by an average of 7 %, the soil density after tillage was 1.1...1.15 g/cm<sup>3</sup> in the upper layers and no more than 1.2 g/cm<sup>3</sup> in the lower layers, while more than 70 % of the clods did not exceed 7 cm in size.

Field studies of the deep ripper designed according to the methodology of conceptual design confirmed its effectiveness. The installation of additional soil-loosening elements, such as lateral-medial soil-loosening plates at an angle of 35 degrees, a harrow with a profile according to the semicircular Neil parabola, and lower extenders, made it possible to improve the quality of soil cultivation by 10-25% by reducing soil density to 1.11 g/cm<sup>3</sup> and forming a rational loosening zone that repeats the root system of most cover crops. The creation of a stable intra-soil wall with a width of the upper part of 45 cm made it possible to maintain the stability of the slope at a slope of 12 degrees.

*Keywords: deep ripper, soil, slope, density, research, cultivation.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ГРУНТОРОЗПУШУВАЛЬНОГО ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ДЛЯ ОБРОБІТКУ ПОЛІВ НА СХИЛАХ.....	19
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	48

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Землі на схилах піддаються посиленому впливу таких чинників деградації, як водна та вітрова ерозія, знеструктурування, руйнування орного схилу. Усе це потребує відповідних знарядь і технологій обробітку схилу. Зазвичай цьому питанню не приділяється належної уваги й обробляють схилі та рівнинні землі однаково, що не дає змоги використовувати ресурс ґрунтів на схилах по максимуму. Через те, що оранка є одним із найбільш трудомістких процесів обробітку ґрунту, то її часто замінюють на менш енергоємні, такі як дискування або культивація. Це призводить до того, що нижні переуцільнені шари ґрунту так і залишаються необробленими. При цьому переуцільнені нижні шари порушують водно-повітряний баланс ґрунту та ускладнюють нормальний розвиток кореневої системи рослин. Що в комплексі призводить до відчутного зниження врожаю, особливо на схилах. Найкращі результати з погляду якості розуцільнення, енергоємності та екологічної безпеки дають так звані мінімальні технології, для реалізації яких широко використовуються глибокорозпушувачі, що теоретично можуть забезпечити необхідні значення ступеню подрібнення продуктивного шару ґрунту та густини його складання. Однак серійні знаряддя і способи основного обробітку схиліх ділянок поля через свої конструктивні й технологічні особливості не в змозі досягти всіх агротехнічних вимог, що висувуються. У результаті на оброблену ділянку поля починають діяти додаткові чинники деградації такі, як вітрова та водна ерозія і, як наслідок, виникає сповзання верхнього шару обробленого ґрунту до підосви схилу, що призводить до утворення заболочених ділянок. Незважаючи на численні дослідження, остаточно не розв'язано задачу щодо досягнення відповідності між розрахунковими параметрами робочих органів, заданими фізико-механічними

властивостями ґрунту та необхідною якістю розпушення оптимальної зони. У зв'язку з цим проблема розроблення нових технологій та агрегатів, що підвищують якість основного обробітку земель на схилах глибокорозпушувачами, є актуальною.

**Об'єкт досліджень** – технологічний процес основного обробітку ґрунту глибоким розпушуванням.

**Предмет досліджень** – Закономірності впливу режимних і конструктивних параметрів глибокорозпушувача на енергоємність і якість обробітку ґрунту на схилах.

**Метою досліджень** є підвищення якості основного обробітку полів на схилах глибокорозпушувачами із забезпеченням гарантованої стійкості схилу за рахунок науково обґрунтованого вибору структури та конструктивних параметрів глибокорозпушувача.

**Завдання дослідження:**

Провести аналіз наявних технологій обробітку ділянок поля на схилах, обґрунтувати та розробити оптимальну конструктивно-технологічну схему інноваційного глибокорозпушувача.

Розробити парні стійки глибокорозпушувача, що забезпечують необхідні параметри внутрішньогрунтової стінки.

Провести імітаційні та лабораторні дослідження нового робочого органу глибокорозпушувача.

Дослідити ефективність глибокого розпушування розробленим робочим органом у польових умовах і визначити зони розпушення та параметри стійкої внутрішньогрунтової стінки.

**Методи наукового дослідження.** Теоретичні дослідження засновані на положеннях системного аналізу, класичної механіки твердих тіл і механіки ґрунтів (ґрунтів), методів оптимізації, планування повного факторного експерименту, спеціальних програм CAD/CAM, DEM з визначення силових впливів на робочий орган. Експериментальні дослідження проводилися за

загальноприйнятими методиками відповідно до чинних ДСТУ з використанням сучасних сертифікованих приладів. Оброблення результатів експериментальних досліджень та їх оцінка, а також розрахунок статистичної помилки проводилися на ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Міненко С. В., **Кузьмич В. С.** Аналіз знарядь для безполицевого обробітку ґрунту під час роботи на схилах. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 45-48.

2. Міненко С.В., **Кузьмич В.С.**, Герасимчук Д.В. Особливості обробітку земельних ділянок на схилах. XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». (01-18 жовтня 2024 р.). <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 01.12.2024).

3. Міненко С.В., **Кузьмич В.С.** Проектування та міцнісний розрахунок ґрунторозпушувального елемента у віртуальному середовищі AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції», (22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено та виготовлено глибокорозпушувач, що забезпечує під час роботи на схилі раціональну форму внутрішньогрунтової стінки за необхідної конфігурації та якості розпушення зони ґрунту, що деформується. Визначено раціональні параметри ґрунторозпушувальних пластин (деформаторів), отримано залежності ступеня розпушення і тягових опорів від форми і кута встановлення розпушувальних елементів.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 24 найменувань.

Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 40 рисунків та 2 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1. Особливості обробітку земельних ділянок на схилах

При обробітку орних земель недостатня увага приділяється агрофонам, що мають нахил, хоча понад 20% орних земель мають схил від 3-5 градусів і вище та зазнають додаткових чинників деградації, таких як: переущільнення, засолення, заболочування, ерозія (рис. 1.1). Це призводить до втрати потенційно можливої продуктивності оброблюваних земельних ділянок, які знаходяться на схилах.



Переущільнення



Засолення



Заболочування



Ерозія

Рис. 1.1. Фактори деградації земельних ділянок, які знаходяться на схилах.

Поля на схилах мають низку особливостей, таких як експозиція, стійкість і підвищена переущільненість, які необхідно враховувати за їхнього



протиерозійного обробітку та вибору культури вирощування. У зв'язку з розвитком сільськогосподарської галузі, зокрема сільгоспмашинобудування, спостерігаються тенденції підвищення потужностей агрегатів, що призводить до відповідного захоплення їх мас. На сьогодні переуцільнення, що виникає під час взаємодії рушіїв технологічних машин із ґрунтом, є одним із найважливіших чинників зниження родючості ґрунтів.

У роботах [3, 4] звертають увагу на пряму залежність між потужністю трактора та його масою. Видно, що за останні 50 років тренд був у збільшенні тягової потужності тракторів, не враховуючи при цьому несприятливі наслідки впливу ваги трактора на ущільнення земель [3, 4].

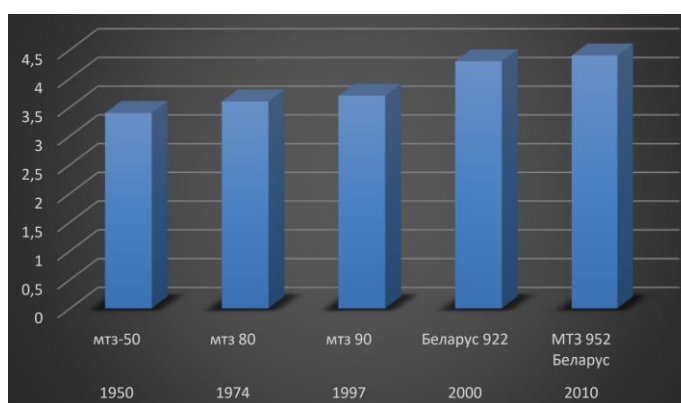


Рис. 1.2. Динаміка зростання ваги тракторів на прикладі тракторів тягового класу 1,4 МТЗ [4-7].

Однак останні 20 років ця тенденція значно змінилася з графіка, наведеного на рис. 1.2 впливає, що останні розробки спрямовані на підвищення потужності трактора за умови збереження його маси та, відповідно, тиску на ґрунт. Це дає змогу знизити ущільнення під час обробітку земель енергонасиченими тяговими машинами [3].

## 1.2 Способи обробітку земельних ділянок на схилах

Процес основного обробітку ґрунту один із найбільш трудомістких та енергоємних. Мета основного обробітку ґрунту – це створення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин за допомогою механічного впливу на

грунт різними знаряддями. Існує кілька видів механічного обробітку: відвальний, безвідвальний, роторний, комбінований (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки наявних способів обробітку земельних ділянок на схилах [1-9].

Вид обробітку	Переваги	Недоліки
Відвальний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- покращує фізико-механічну структуру ґрунту, його щільність, пористість, повітро-водопроникність.</li> <li>- підрізаються підземні, кореневі частини рослин.</li> <li>- закладаються на потрібну глибину рослинні рештки культур-попередників і мінеральні добрива.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- перемішування шарів</li> <li>- під впливом сонячних променів і весняних вітрів, що висушують, губляться не тільки цінні елементи живлення рослин, а й волога, що міститься в ґрунті.</li> <li>- не обробляється підорний шар, низька глибина обробітку.</li> <li>- енергоємність, трудомісткість.</li> </ul>
Безвідвальний	<ul style="list-style-type: none"> <li>- забезпечує обробіток ґрунту на глибині до 40 см і понад (за допомогою глибокорозпушувачів)</li> <li>- поліпшення фізико-механічних властивостей ґрунту.</li> <li>- покращує механічну структуру ґрунту шляхом руйнування грубих, жорстких грудок, без пошкодження верхнього родючого шару.</li> <li>- поглиблення орного горизонту та розпушення нижніх шарів ґрунту.</li> <li>- запобігання ерозійному (водного) і дефляційного (вітрового) руйнування ґрунтів на рівнинних і схильних ділянках.</li> <li>- збереження вологості в ґрунтових горизонтах, а також підвищення родючості сільськогосподарських угідь.</li> <li>- можливість використання за більшої вологості ґрунту (осінньо-весняний період).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- труднощі загортання органічних і мінеральних добрив</li> <li>- слабе кришіння оброблюваного шару ґрунту</li> <li>- недостатньо ефективна боротьба з бур'янами, хворобами та шкідниками сільськогосподарських культур</li> <li>- важливість дотримання глибини обробітку, швидкості руху трактора та налаштування знаряддя відповідно до стану ґрунту.</li> <li>- Недотримання будь-якої з вище перелічених умов нівелює всі переваги обробітку ґрунту та робить його неефективним.</li> </ul>
Фрезерна	<ul style="list-style-type: none"> <li>- поліпшення фізико-механічних властивостей верхнього шару.</li> <li>- усунення диференціації оброблюваного шару за щільністю його складання та родючістю активним подрібненням і перемішуванням ґрунту 0 н рослинних решток.</li> <li>- що нижча глибина обробітку, то менш однорідне перемішування шарів ґрунту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- глибина обробітку до 20 см.</li> <li>- неможливість використання за підвищеної вологості.</li> <li>- перемішування добрив з утворенням однорідного шару.</li> </ul>

Комбінована	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - підвищення фізико-механічних властивостей ґрунту.</li> <li>- - можливість поєднання кількох операцій в одну.</li> <li>- - економія енергетичних і часових ресурсів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- - складність конструкції.</li> <li>- - підвищення вартості агрегату.</li> <li>- - необхідне професійне навчання для застосування комбінованих обробітків.</li> </ul>
-------------	---	---

Майже всі розглянуті механічні обробітки ґрунту об'єднує те, що за схеми обробітку ґрунту, яка проходить впоперек схилу, робочі органи у вигляді плуга, щілювача, глибокорозпушувача, ротора жорстко закріплені на рамі знаряддя. Однак ці знаряддя не гарантують збереження схилу, що не дає змоги повною мірою реалізувати потенціал родючих схилових земель, оскільки тільки за одну зливу, залежно від крутизни схилу, з поля може бути змито з гектара від 10 до 50 тон ґрунту. Таким чином, можливе повне знеструктурення схилу змивання гумусового шару. Збільшення нахилу ґрунту від 2 до 4 градусів підвищувало кількість змитого шару ґрунту в 1,8 раза, а за 4...8 градусів до 7,2 раза. Тому без застосування відповідних технологій і знарядь обробітку схилові землі продовжать знижувати кількість родючого шару. Існує безліч способів підвищення врожаю за збереження структури схилових земель. Розглянемо найбільш значущі з них [1-9].

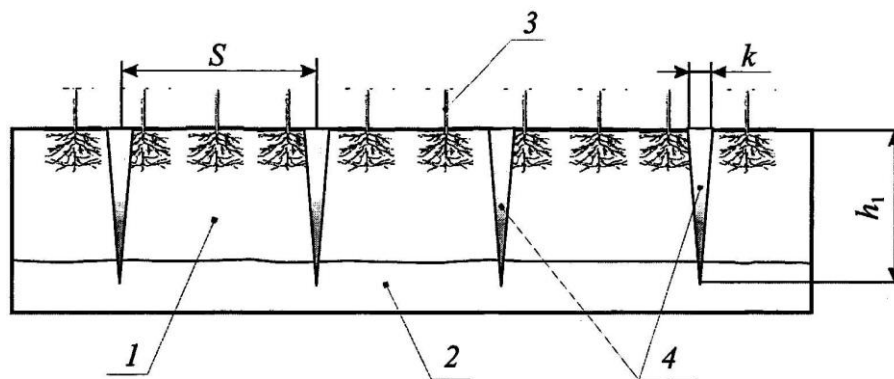


Рис. 1.3. Спосіб безполицевого обробітку схилових земель щілюванням.

Одним із способів обробітку схилових ділянок є вертикальне щілювання на глибину до 0,3 м і подальше мульчування (рис. 1.3) [8].

Відомі способи передпосівного обробітку схилових ділянок, коли роблять нарізку траншей, що вписуються в рельєф місцевості, і вносять у них добрива

[1,2,7]. Дані технології є безполицевими і засновані на створенні додаткових ступенів свободи елементів, що кришаться, під час руху їх у ґрунті. [8].

До загальних недоліків вищенаведених способів для безполицевого обробітку ґрунту слід віднести те, що вони не забезпечують весь комплекс раціональних умов для росту й розвитку рослин. При цьому використовувані способи обробітку схилових ділянок поля не забезпечують їхню стійкість, що призводить до сповзання верхнього шару ґрунту до основи схилу, появи болотистих ділянок і змиву родючого шару [1-9].

До загальних недоліків вищенаведених способів для безполицевого обробітку ґрунту слід зарахувати те, що вони не забезпечують весь комплекс раціональних умов для росту й розвитку рослин. При цьому використовувані способи обробітку схилових ділянок поля не забезпечують їхню стійкість, що призводить до сповзання верхнього шару ґрунту до основи схилу, появи болотистих ділянок і змиву родючого шару [1-9].

Одним із найприйнятніших способів обробітку схилових земель є обробіток ґрунту, який проводять впритул схилу з глибиною розпушування до 60 см, з одночасним створенням стійких внутрішньоґрунтових стінок, які запобігають стіканню вод і підвищують стійкість схилу [1, 4].

Однак наявні знаряддя глибокого обробітку ґрунту не здатні повною мірою реалізувати цей спосіб. У зв'язку з цим необхідні подальші дослідження з удосконалення та створення нових технологій і відповідних робочих органів, що підвищують ефективність обробітку схилових земель [1-9].

### **1.3. Аналіз знарядь для безполицевого обробітку ґрунту під час роботи на схилах**

З безлічі відомих конструкцій виокремимо й розглянемо, на наш погляд, найбільш придатні для обробітку ґрунту на схилах [22].

Відомі комбіновані та безвідвальні знаряддя для основного обробки ґрунту (рис. 1.4 а, б). Комплектація комбінованого агрегату складається з плоскорізних лап після яких встановлюються дискові робочі органи, з можливістю зміни глибини та кута атаки. Комплектація безвідвального агрегату ґрунтується на встановлених вібраторах і здійсненні роботи ротаційно-коливальними робочими органами [22].

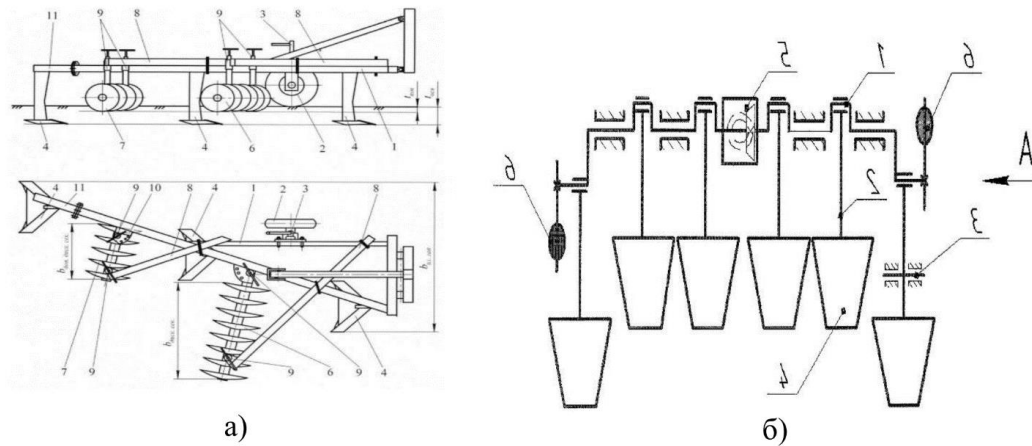


Рис. 1.4. Схема ґрунтообробного агрегату, а) комбінованого; б) безвідвального.

Недоліками даних конструкції є їхня складність, неможливість розпушування на великій глибині, а також підвищене зусилля на лобову поверхню робочих органів [22].

Так само відомий робочий орган (рис. 1.5) для безполицевого обробки ґрунту, який складається з рами, на якій у шаховому порядку закріплено елементи, а робочий орган оснащено долотом у вигляді трикутної призми. Лапа зроблена за Г-подібною формою, нижня частина лапи має заточку, а верхня скіс, усе це підвищує, на думку авторів, працездатність винаходу [22].

Однак складність конструкції підвищує його вартість, а форма лапи не забезпечує якісне розпушування і має підвищений лобовий опір порівняно з аналогами [22].

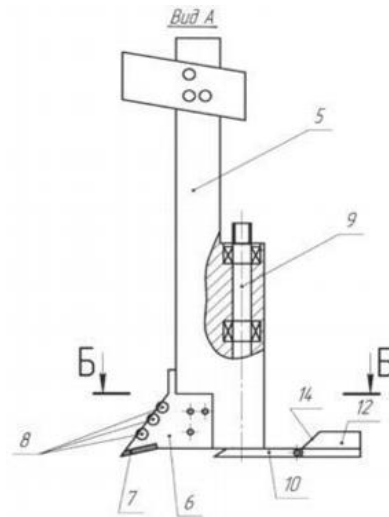


Рис. 1.5. Робочий орган знаряддя для безпліцевого обробітку ґрунту.

Відомий розпушувач із газодинамічним інтенсифікатором (рис. 1.6), що складається з рами, підпружиненого зуба, в якому виконано отвори та канали, логічної системи керування та механізму попереднього стиснення газу. Представлений робочий орган є досить складним і дорогим у виробництві та неремонтопридатним, що негативно позначається на його працездатності [22].

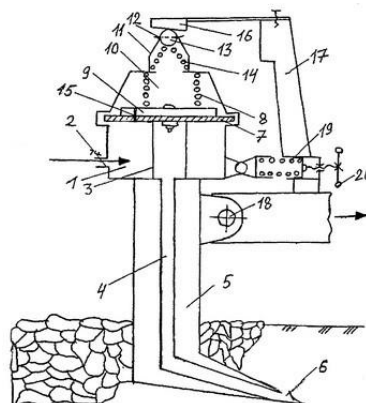


Рис. 1.6. Розпушувач із газодинамічним інтенсифікатором.

Так само необхідно зазначити, що дане знаряддя неможливо використовувати за підвищеної вологості через істотне зниження якості обробітку [22].

Відомий і вібраційний глибокорозпушувач ГВ-1,8 (рис. 1.7), з підпружиненими робочими органами [22].

Таке конструктивне рішення дасть змогу підвищити якість основного обробітку ґрунту за вологості 14...30% і знизити тяговий опір на 29...36% [22].

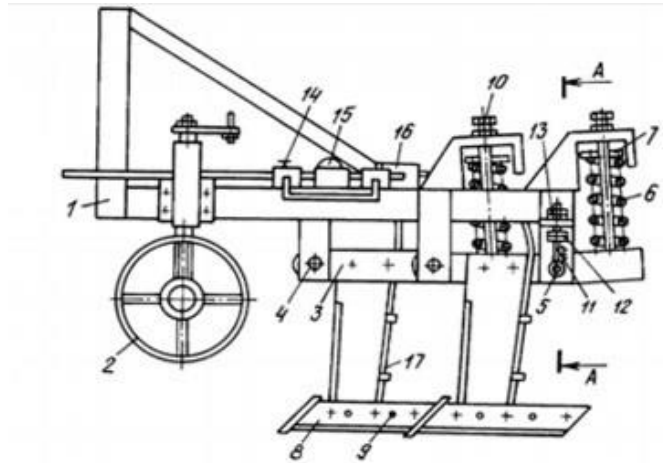


Рис. 1.7. Вібраційний глибокорозпушувач ГВ-1.8

Недоліком даної конструкції є значна складність, невелика глибина обробітку ґрунту до 40 см, а також те, що при збільшенні швидкості обробітку ґрунту знижується ефект від вібрації робочого органу.

#### 1.4. Способи підвищення якості обробітку полів на схилах

Аналіз проведених досліджень дає змогу зробити висновок, що досягнення високої якості основної обробітку ґрунту можливе завдяки використанню інноваційних робочих органів ґрунтообробних машин, що адаптуються під конкретні умови використання. На жаль, конструктивні параметри наявних знарядь здебільшого жорстко прив'язані до певних типів ґрунтів, робочих швидкостей і крутизни схилів. Однак на практиці під час обробітку схилових земель з'являються додаткові чинники, що впливають на якість обробітку, такі, як погодні умови, фізико-механічний склад ґрунту, кут схилу, що різняться навіть у межах одного агрофону. Багато вчених [7] у своїх роботах пропонують класифікувати способи підвищення якості обробітку ґрунту на такі групи:

- робочі органи з можливістю регулювання конструктивних параметрів;
- застосування в конструкції робочого органу додаткових елементів подрібнення;

- застосування робочих органів і пристроїв вібрації та газоповітряних інтенсифікаторів;

- використання сучасних технологій обробітку ґрунту.

На рис. 1.8 представлено глибокорозпушувач багатofункціональний типу GZ, який має робочі орган у вигляді стійки з можливістю зміни глибини розпушування, що дає змогу йому проводити основний обробіток ґрунту до 45 см.

Недоліком даного способу є неможливість досягнення однакової якості виконання робіт на різній глибині обробітку.



Рис. 1.8. Глибокорозпушувач багатofункціональний GZ

Одним із можливих способів підвищення якості та зони розпушення оброблюваних ділянок є використання додаткових деформувальних елементів різної геометрії (рис. 1.9). Таку конструкцію доцільно використовувати під час обробітку на глибині понад 45 см. Адже відрізаний пласт зазнає додаткового стиснення від деформувальних елементів, а потім розтягування на транспортувальних частинах робочого органа, тобто додатково зазнає деформацій стиснення-розтягування, що, на думку низки авторів, призводить до якіснішого подрібнення ґрунтового шару [2]. Однак недостатньо розроблена теорія взаємодії не дає змоги встановлювати раціональні параметри розпушувальних елементів, що за відповідного збільшення тягового опору не призводить до поліпшення якості розпушення [1-9].





Рис. 1.9. Глибокорозпушувач Cansa KARINCA-500.

Для поліпшення якості обробітку основного обробітку ґрунтів застосовують вібруючі робочі органи (рис. 1.10). Перевагою цього способу є зниження тягового опору та поліпшення ступеня подрібнення ґрунту, однак при цьому збільшується вага конструкції та її складність, що значно ускладнює та здорожує знаряддя. Зазначимо, що ефект від вібрації знижується не тільки за підвищеної вологості ґрунту, а й за підвищених швидкостей обробітку.



Рис. 1.10. Вібраційний розпушувач VP 500 gn.

### **Висновки по розділу**

Використання глибокорозпушувача на схилових землях має низку особливостей, які впливають не тільки на конструкцію знаряддя, а й на технологію виконання робіт. Однак наявні методи проектування знаряддя не враховують усіх особливостей глибокого розпушування не тільки в частині збереження стійкості схилу після обробітку, а й в існуючій відмінності картини взаємодії в зонах до критичної глибини та нижче неї.

Проведений аналіз показав, що розроблені серійні глибокорозпушувачі для протиерозійних заходів не здатні повною мірою забезпечити агротехнічні вимоги і входять у конфронтацію з потребами вирощуваних культур. Існуючі конструкції здебільшого мало ефективні для використання на схилових землях з нахилом, що перевищує 3-5 градусів, оскільки сприяють заболочуваності, підвищеній водній і вітровій ерозії, водночас істотно підвищуючи ризик обвалення ґрунту.

Аналіз робіт із поліпшення меліоративних заходів схилових земель показує, що розробки в цьому напрямі ускладнюються, зокрема, складністю опису процесів взаємодії знаряддя з ґрунтом, а також необхідністю проведення дорогих експериментальних досліджень. Очевидно, що всі розробки в галузі ґрунтозахисного землеробства мають удосконалюватися в напрямі максимального збереження гумусового шару під час виконання агротехнічних вимог і забезпечення стійкості схилу [1-9].

## РОЗДІЛ 2

### ПРОЄКТУВАННЯ ГРУНТОРОЗПУШУВАЛЬНОГО ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА ДЛЯ ОБРОБІТКУ ПОЛІВ НА СХИЛАХ

#### 2.1 Розробка глибокорозпушувача для обробітку полів на схилах

Розроблена нова конструкція глибокорозпушувача дає змогу проводити якісний основний обробіток ґрунтів на схилах за допомогою створення оптимальних конфігурацій поперечних перерізів не тільки ділянок розпушування, а й внутрішньогрунтових стінок, що забезпечують стійкість схилу. Головна відмінність полягає в тому, що стійки розпушувачів під час роботи знаряддя впоперек схилу мають можливість за рахунок повороту на кут, що дорівнює куту схилу, зберігати своє вертикальне положення. Поворот стійок здійснюється гідроциліндром управління. Парні стійки розпушувачів, що утворюють внутрішньогрунтову стінку, в нижній частині мають вигини на зовнішні від стінки боки, при цьому деформатори (ґрунтопідіймачі) закріплюються тільки на зовнішніх, стосовно стінки, сторонах [1-9].

Гідроциліндр повороту стійок керується трипозиційним гідророзподільником з електромагнітом, що з'єднаний із логічною системою

оцінки імпульсів і за допомогою підсилювача-формувача імпульсів пов'язаний із закріпленим на стійці датчиком контролю положення. На рис. 2.1 показано конструктивну схему розробленого глибокорозпушувача, включно із системою керування гідроциліндром.

На початку роботи на схилі з кутом нахилу  $\beta$  рама глибокорозпушувача зі встановленими перпендикулярно до рами стійками розташовується паралельно схилу. Під час увімкнення системи управління поворотом стійок датчик контролю положення фіксує кут відхилення стійок від вертикалі на величину  $\beta$  і генерує відповідний сигнал, що задає за допомогою гідроциліндра відхилення стійок до необхідного вертикального положення. Після чого глибокорозпушувач заглиблюється і під час подальшого руху формує внутрішньогрунтову стінку раціональної форми. Розроблена конструкція глибокорозпушувача дасть змогу повною мірою забезпечити стійкість оброблюваного поля з нахилом до 20 градусів, за умови досягнення агротехнічних вимог, що висувуються.

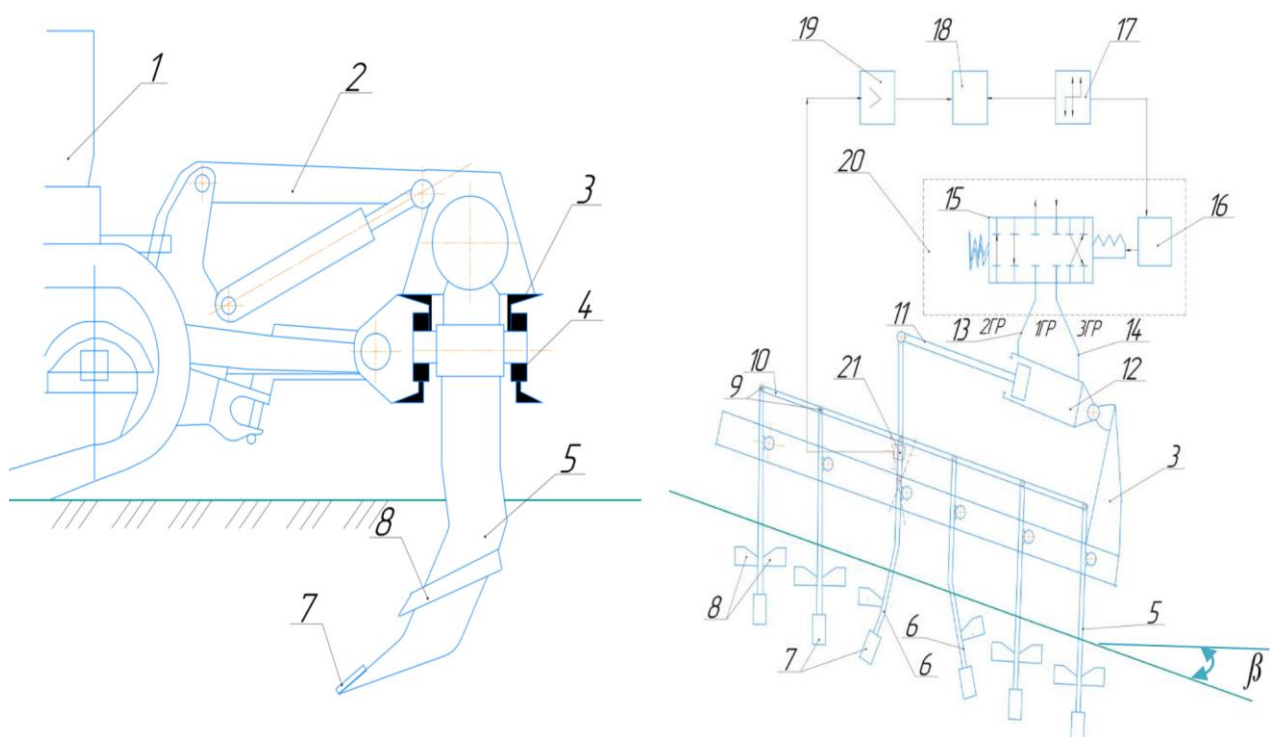


Рис. 2.1. Конструктивна схема розробленого глибокорозпушувача.

## 2.2 Проектування та міцнісний розрахунок ґрунторозпушувального елемента у віртуальному середовищі AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL

Проектуємо новий ґрунторозпушувальний елемент (рис. 2.2) у середовищі Autodesk Inventor professional 2024 і виконуємо необхідні розрахунки. На рис. 1 - 5 показано основні фрагменти проведених операцій за таких параметрів ґрунторозпушувальних елементів: товщина 12 мм; кут загострення 17 град; ширина біля основи 120 мм; виліт загальний 185 мм; кут вигину консольної частини 15 град; кут установки (атаки) 25....35 град.

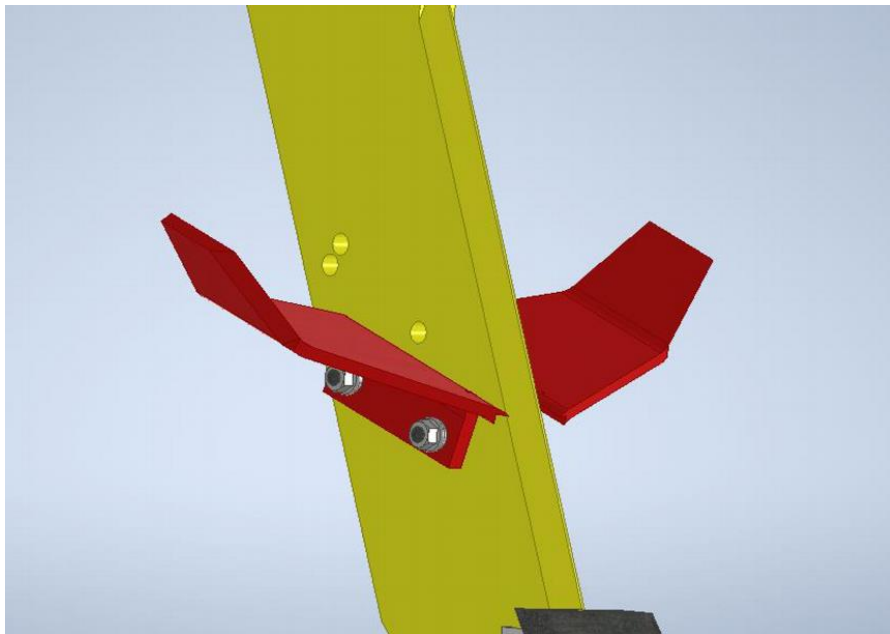


Рис. 2.2. Об'ємна 3D модель стандартної ґрунторозпушувальної пластини.

Виконуємо міцнісний розрахунок кріпильного елемента (рис. 2.3): болт із шестигранною голівкою ДСТУ ISO 4017-2001 M8×40:1, матеріал – сталь нержавіюча 440С згідно з ДСТУ, клас точності А та В, та шайби плоскої за ДСТУ EN ISO 7089:2022 зі сталі нержавіючої. Нормальна серія. Клас А.

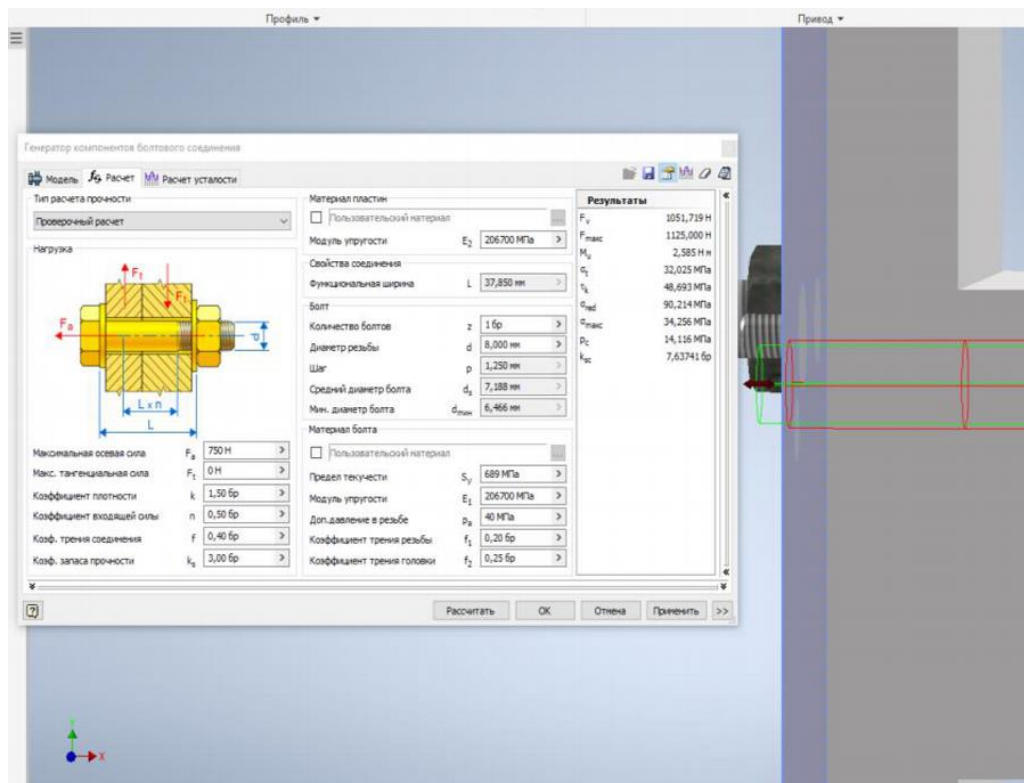


Рис. 2.3. Міцнісний розрахунок болтового з'єднання.

Результат розрахунків свідчить, що обраний гвинт відповідає даним навантаженням. Далі проведемо аналіз розрахованих напружень у віртуальному середовищі Autodesk Inventor professional 2024.

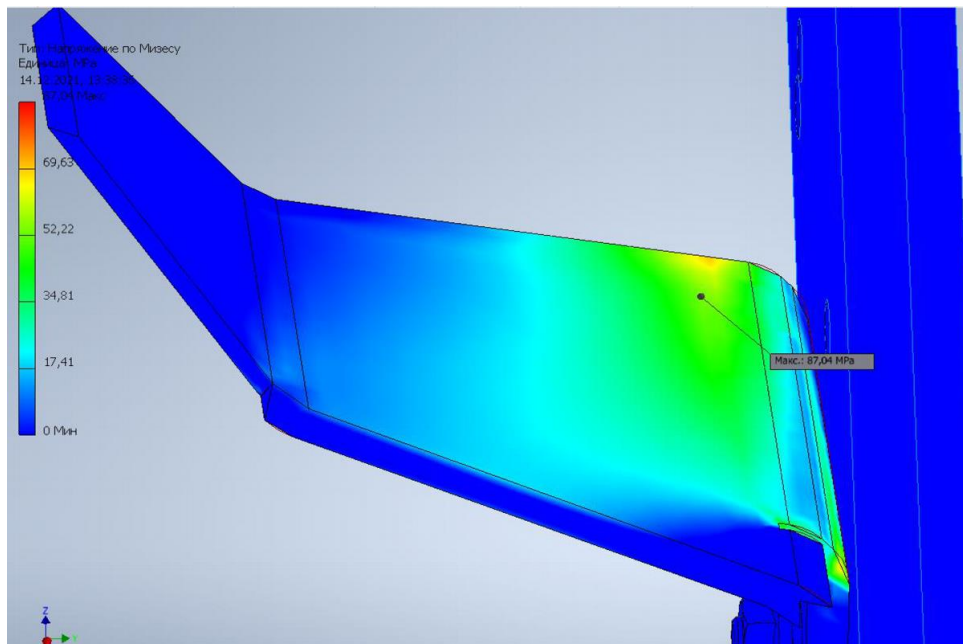


Рис. 2.4. Максимальні зони навантаження на ґрунторозпушувальну пластину.

Результати розрахунку подано у візуальному вигляді напружених елементів ґрунторозпушувальних пластин.

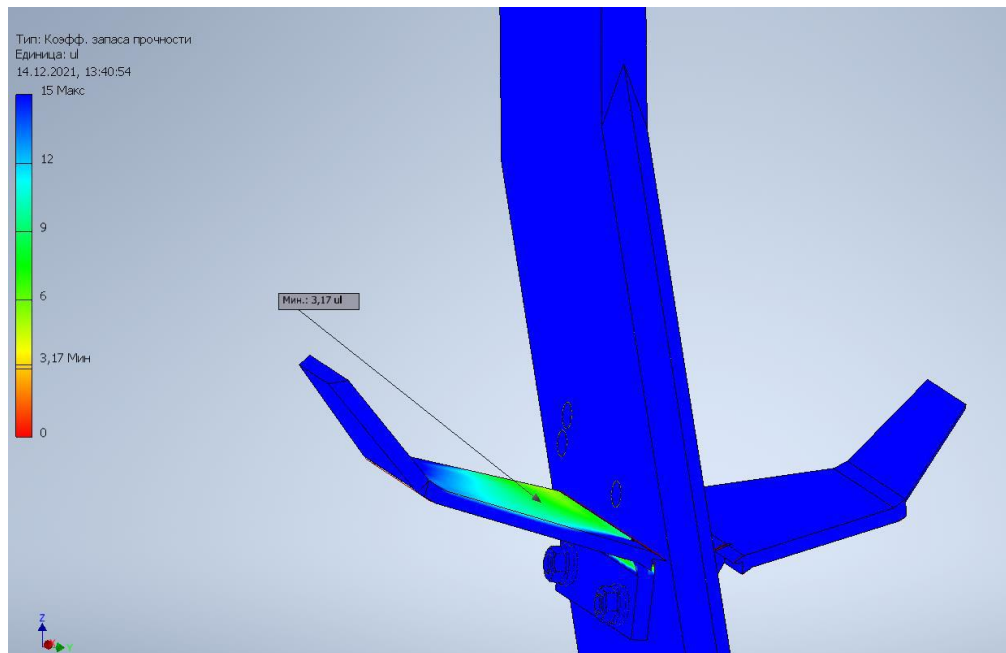


Рис. 2.5. Коефіцієнт запасу міцності ґрунторозпушувальної пластини.

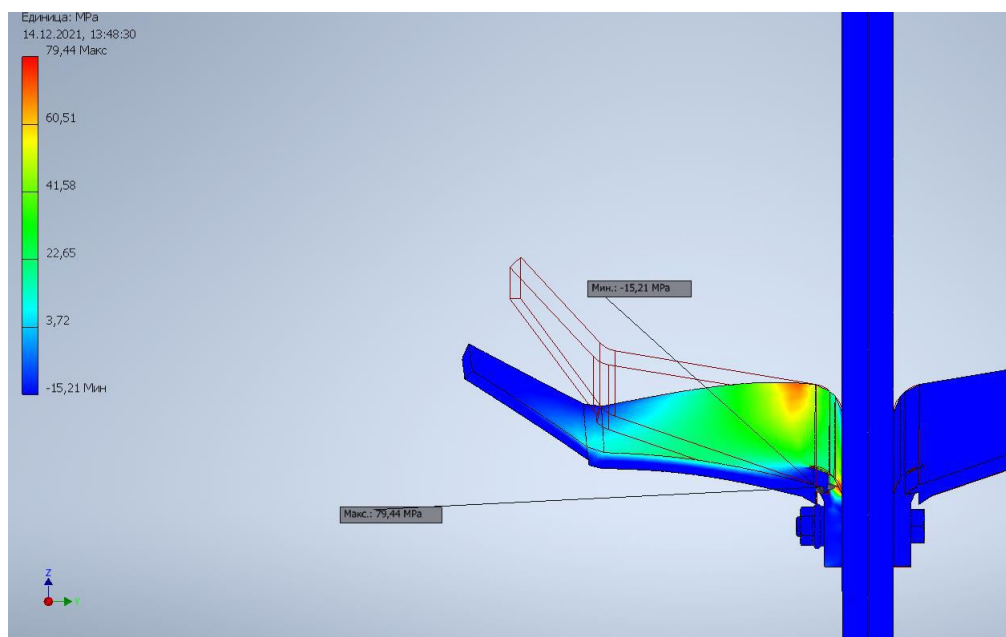


Рис. 2.6. Анімація навантаження ґрунторозпушувальної пластини у віртуальному середовищі Autodesk Inventor.

Аналіз анімації показав, що під час діючих навантажень з'являється сильно навантажена ділянка в початковій частині пластини і відбувається деформація кінцевої частини пластини.

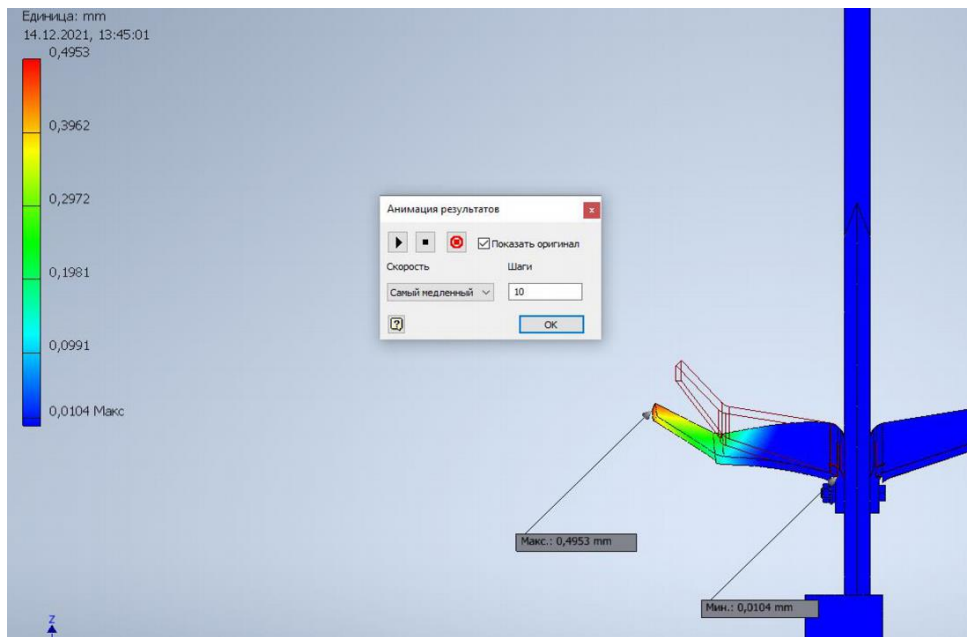


Рис. 2.7. Навантаження, за яких відбувається пружна деформація.

Показані процедури комп'ютерних розрахунків дають змогу проводити оптимізацію деталей на основі функції «Аналіз напружень» у віртуальному середовищі Autodesk Inventor. За необхідності зміни конструкції можна змінювати параметри розрахунку з необмеженою їх кількістю, при цьому є можливість оптимізувати масу моделі.

Розроблено розрахункові схеми для визначення сил, що діють на стійку, на ґрунторозпушувальні пластини та долото і проведено у віртуальному середовищі розрахунки міцності елементів ґрунторозпушувальних пластин.

### Висновки по розділу

Встановлено, що найповніше агротехнічним вимогам обробітку схилів земель відповідає операція глибоке розпушування без обороту пласта з утворенням стійкої внутрішньогрунтової стінки.

Розглянуто основні проблеми робочих органів глибокорозпушувача. Такі як неможливість зберегти стійкість схилу після обробітку традиційними методами, а також вплив зносу та зламу на ґрунторозпушувальні елементи.



Розроблено розрахункові схеми для визначення сил, що діють на стійку, на ґрунторозпушувальні пластини та долото, і проведено у віртуальному середовищі розрахунки міцності елементів ґрунторозпушувальних пластин.

### **РОЗДІЛ 3**

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ**

### **ГЛИБОКОРОЗПУШУВАЧА**

#### **3.1 Дослідження у віртуальному середовищі розробленої стійки глибокорозпушувача з ґрунторозпушувальними пластинами.**

Під час проведення віртуального експерименту необхідно визначити властивості матеріалу і модель взаємодії ґрунтового середовища, що розглядається, з елементами глибокорозпушувача [1, 4]. Розглянемо ґрунтове середовище як таке, що складається з грудок округлої форми, які взаємодіють з робочим органом у вигляді стійки з системою деформаторів розпушувача. У середовищі Altair EDEM кожна частинка в гранульованому потоці має 6 ступенів свободи і в результаті взаємодії з іншими частинками здійснює поступальний і обертальний рух (рис. 3.1).

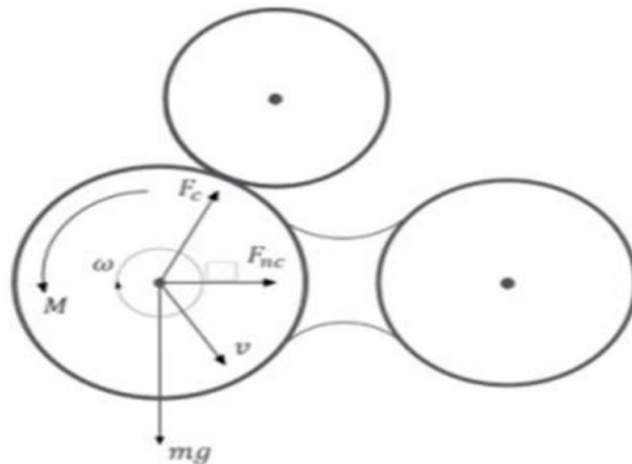


Рис. 3.1. Модель взаємодії ґрунтових частинок

Під час моделювання DEM [6] другий закон Ньютона використовується для розрахунку відповідних прискорень, які потім чисельно інтегрують за часовим кроком для поновлення швидкості та відповідного положення частинок.

З бази Altair EDEM обирається щільність і вид матеріалу (рис. 3.2). Далі необхідно, згідно з проведеними випробуваннями матеріалу, вибрати кут природного укосу. В Altair EDEM, це відбувається після визначення виду матеріалу (рис. 3.3).

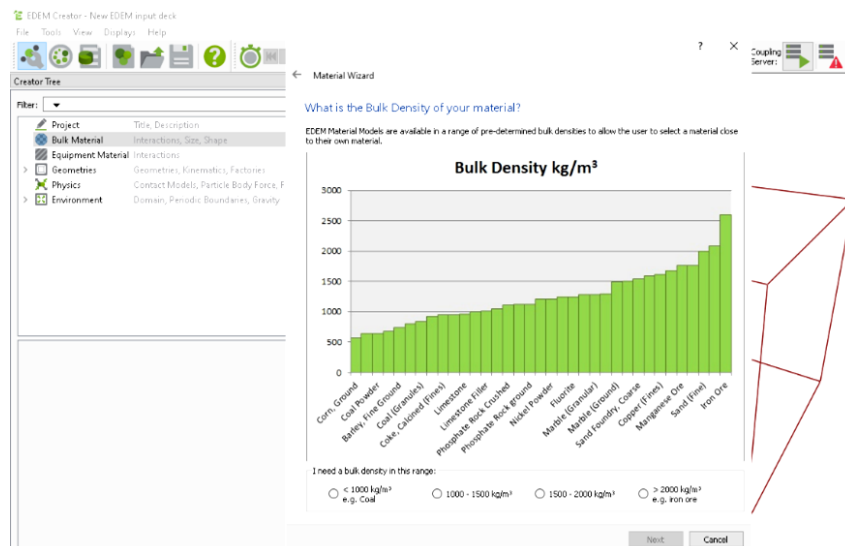


Рис. 3.2. Вибір щільності матеріалу.

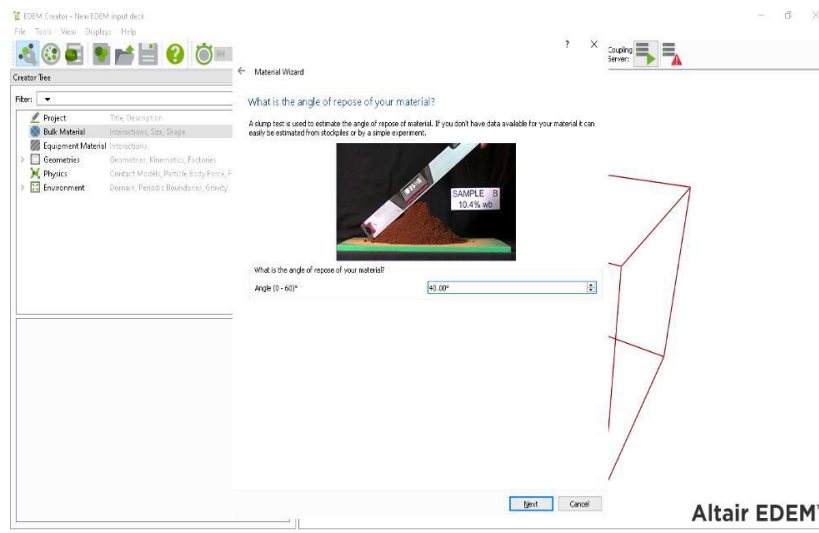


Рис. 3.3. Вибір природного кута укосу матеріалу.

Обравши кут природного укосу, що дорівнює 40 градусам для ґрунтів Житомирської області, де переважає чорнозем і суглинки, необхідно вибрати значення коефіцієнтів, показаних на рис. 3.4.

Під час імітаційного моделювання ґрунтового середовища було обрано такі моделі: модель із дотиком у вигляді трьох сфер різних розмірів (рисунк 3.5, а) і модель у вигляді однієї сфери (рисунк 3.5, б).

Щільність ґрунту  $1330 \text{ кг/м}^3$  приймається за даними лабораторного аналізу ґрунту. Коефіцієнт Пуассона для суглинків становить 0,38. Коефіцієнт статистичного тертя дорівнює 0,5. Коефіцієнт тертя кочення 0,15. Загальна маса частинок у пропорції 50 на 50 відсотків.

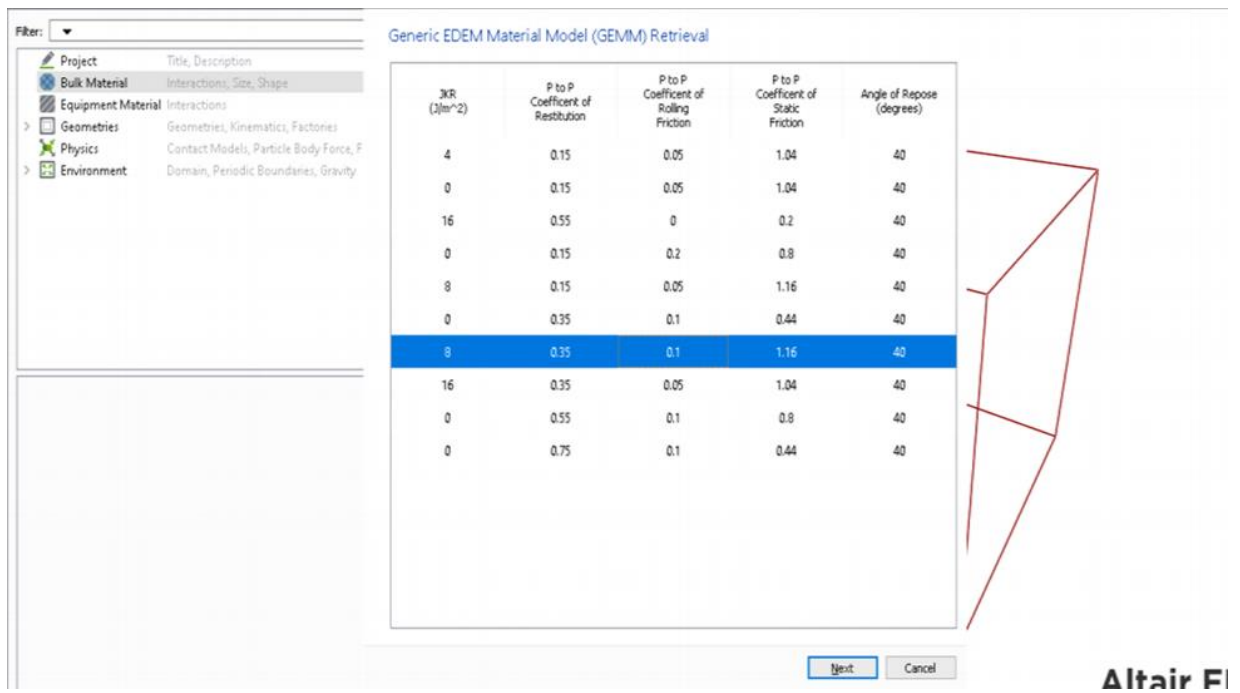


Рис. 3.4. Налаштування коефіцієнтів у віртуальному середовищі Altair EDEM.

14.9

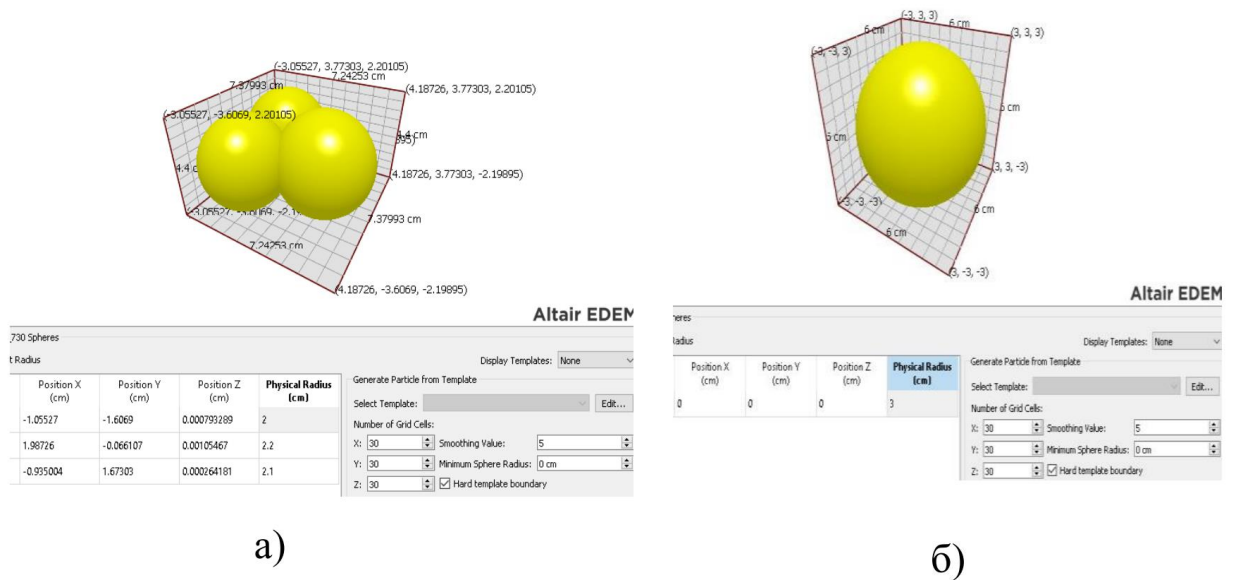


Рис. 3.5. Модель ґрунтового середовища: а) з трьома сферами різних розмірів; б) з однією сферою.

Після вибору гранулометричного складу необхідно імпортувати геометрію розробленого робочого органу глибокорозпушувача з комплектом додаткового обладнання (рис. 3.6).

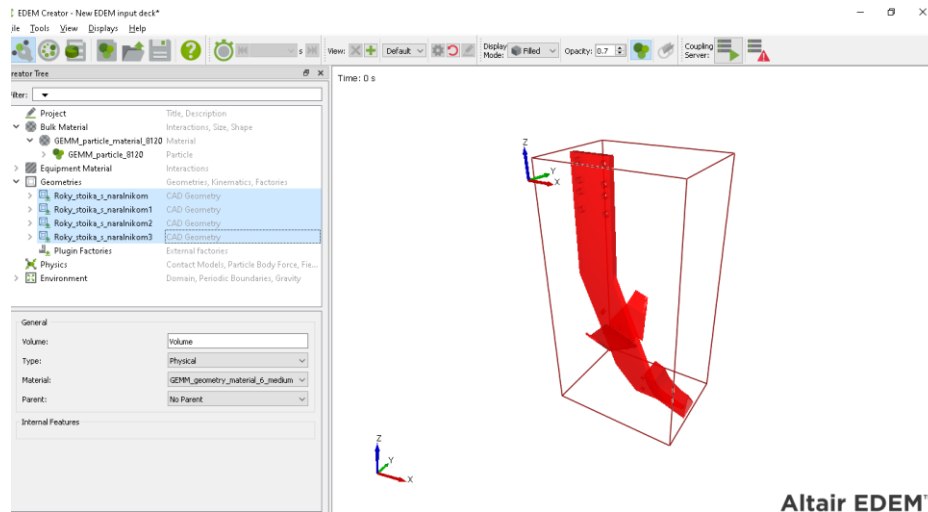


Рис. 3.6. Розроблений робочий орган глибокорозпушувача з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами

Робочий орган глибокорозпушувача виготовлено зі сталі марки 09Г2С за ДСТУ 7809:2015. Прийнято параметри імпортованої геометрії: щільність сталі -  $7850 \text{ кг/м}^3$ ; коефіцієнт Пуассона – 0.3; модуль Юнга - 2.1 МПа. Кут атаки ґрунтів розпушувальних пластин дорівнює 25 градусам.

Вибирається взаємодія «частинки з геометрією» і запускається розрахунок.

На рис. 3.7 показано результати переміщення частинок від взаємодії з глибокорозпушувачем зі встановленими на ньому ґрунторозпушувальними пластинами за кута їхнього встановлення у 25 градусів.

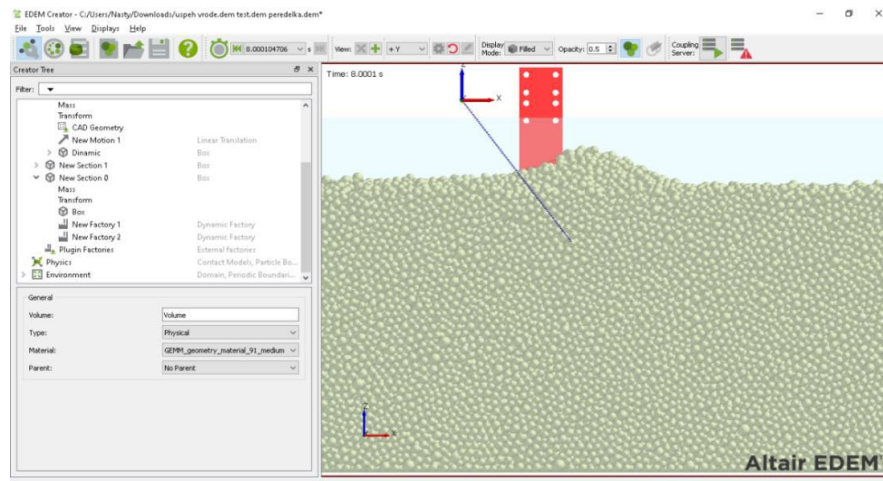


Рис. 3.7. Рух частинок під час взаємодії з глибокорозпушувачем

У результаті проведеної симуляції було отримано і діаграму максимальних зусиль глибокорозпушувача від часу (рис. 3.8).

Зростання критичних зусиль після 3 секунди руху геометрії починає вирівнюватися і досягає 11500 Н, тобто під час проектування глибокорозпушувача необхідно враховувати величину короточасних зусиль в 11.500 Н.

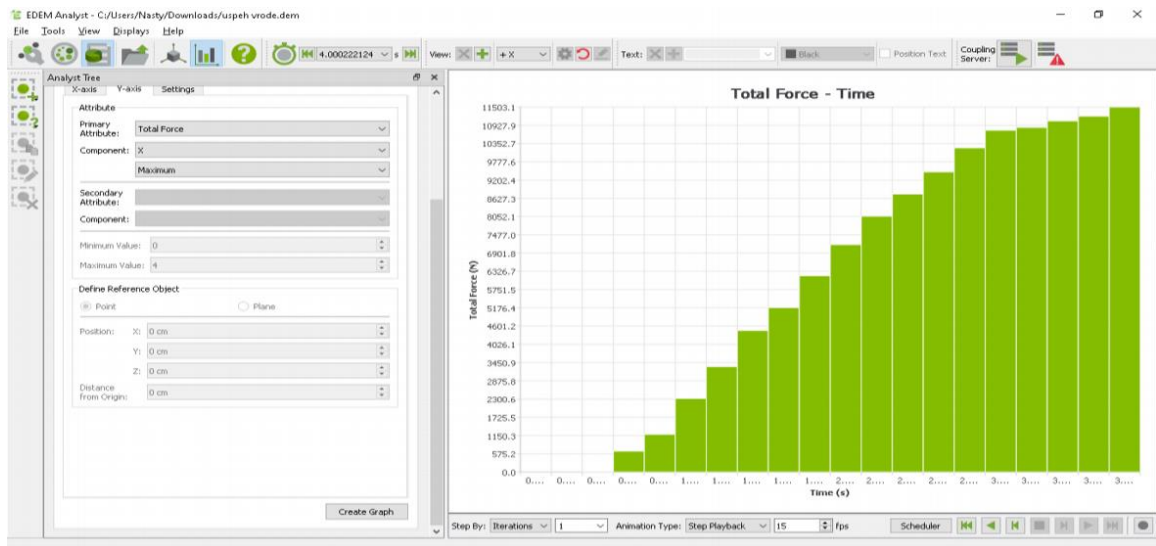


Рис. 3.8. Критичні тягові зусилля на робочому органі глибокорозпушувача

У середовищі Rocky DEM [4,6] для підтвердження гіпотези про безполицевий обробіток розробленою геометрією робочого органа було створено модель ґрунту з 5 шарів завтовшки по 12 см кожен із частинками однакових розмірів (рис. 3.9).

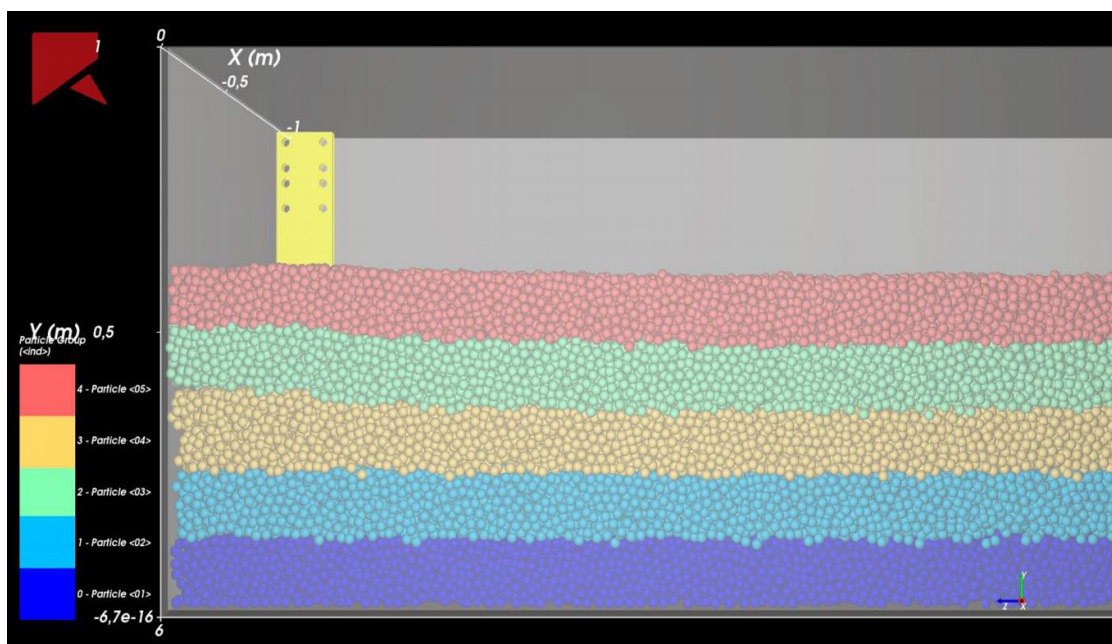


Рис. 3.9. Шари частинок у середовищі Rocky DEM.

Далі запускається програма симуляції (рисунок 4.10).

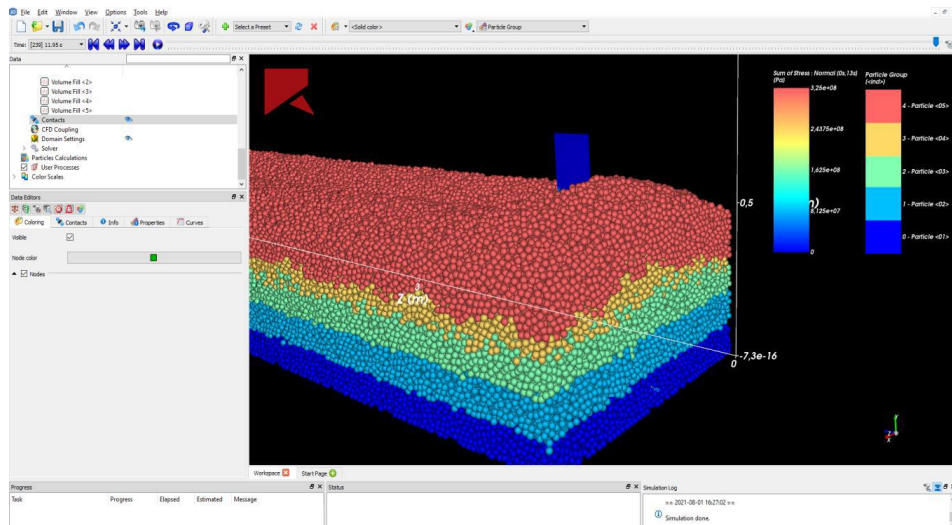


Рис. 3.10. Завершений процес руху робочого органу глибокорозпушувача.

Аналіз результатів показує, що під час руху розробленої геометрії робочого органу глибокорозпушувача з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами, встановленими під кутом 25 градусів, перемішування шарів і винесення нижчих на поверхню не спостерігається. Відбувається ущільнення нижньої частини пласта і значний підйом верхнього шару з подальшим його падінням.

При цьому в процесі віртуального дослідження визначали напруження в робочих органах, виготовлених зі сталі 09Г2С, і відстежували зони зносу стійки глибокорозпушувача та зміни коефіцієнта тертя в процесі роботи.

Зони зносу представлено на рис. 3.11, а, б.

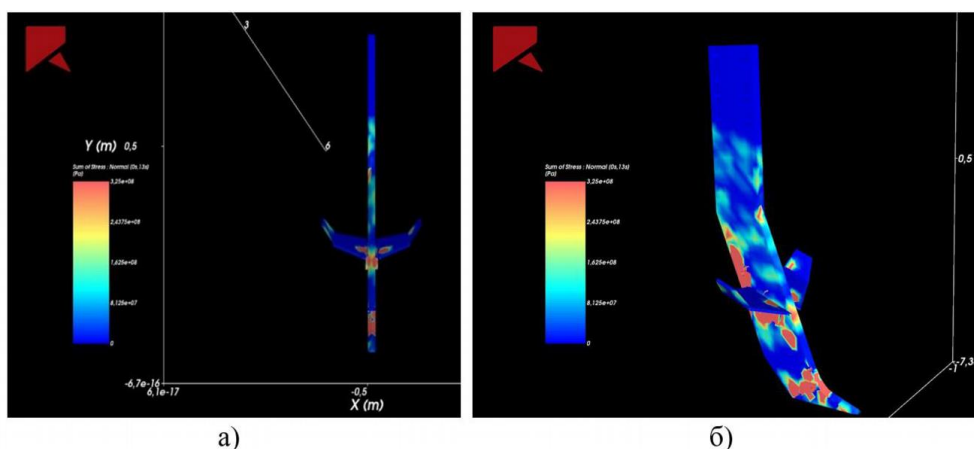


Рис. 3.11. Зони зносу робочого органу глибокорозпушувача: а) вид спереду; б) вид збоку.



### 3.2 Лабораторні дослідження

Лабораторні дослідження спрямовані на перевірку результатів віртуального дослідження, обґрунтування й аналіз технології роботи глибокорозпушувача та визначення раціональних параметрів робочого органу [2].

Дослідження проводилися на базі ґрунтового каналу кафедри «Машини природооблаштування» Новочеркаського інженерно-меліоративного інституту.

Для визначення співвідношення сил опорів під час роботи залежно від виду та конструктивних особливостей елементів глибокорозпушувача було виготовлено спеціальну експериментальну установку, що містила контрольно-вимірювальну апаратуру, різні моделі стійок, наральників і деформаторів, а також сталеві дротяні канати та блоки.

Основним елементом плати контрольно-вимірювальної апаратури є мікросхема NH711 у вигляді 24-х бітного аналого-цифрового перетворювача (АЦП), до якого під'єднуються тензодатчик, мікроконтролер ATmega 328 (Arduino Uno) [6, 13] та ЕОМ.

Мікросхема NH711 містить спеціалізований АЦП для під'єднання до Arduino та інших платформ тензодатчика, що складається з чотирьох тензорезисторів, з'єднаних за мостовою схемою

Мікроконтролер ATmega 328 (Arduino Uno) має такі характеристики:

- Два диференціальні канали посилення, які обираються за допомогою мультиплексора;
- На чипі можлива активація підсилювача з програмованим коефіцієнтом посилення 32, 64, 128;
- На чипі є вбудований стабілізатор напруги для формування аналогового живлення датчика й АЦП;
- Швидкість оновлення даних вимірювання встановлюється 10 разів на секунду або 80 разів на секунду;
- Упаковка 16 - виводів SOP-16.



Використовуваний S-подібний тензодатчик DEE-1000 має характерний профіль, що згинається. Одним кінцем тензодатчик кріпиться за несучу опору (візок), а іншим до тягового каната приводу механізму пересування.

Номінальне навантаження на датчик ( $E_{max}$ ) дорівнює 1000 кг.

Експериментальний зразок робочого органу глибокорозпушувача закріплюється на рухомому візку з можливістю регулювання глибини розпушування і кута атаки

Метою лабораторних досліджень є перевірка достовірності розроблених математичних моделей, уточнення картини взаємодії запропонованих робочих органів глибокорозпушувача з ґрунтом та оцінка їх за якісними та енергетичними показниками.

Відповідна програма експериментальних лабораторних досліджень передбачала:

- перевірку достовірності розроблених теоретичних положень;
- оцінку достовірності методів розрахунку у віртуальному середовищі;
- оцінка впливу конструктивних параметрів робочих органів на тягові зусилля, область і якість розпушення. Для реалізації програми спроектовано та виготовлено різні експериментальні робочі органи. Усі прийняті положення про робочі процеси досліджувалися в умовах ґрунтового каналу.

Головний спосіб оцінки силових показників тензометричний, який широко використовується в аналогічних випадках [6, 9, 13, 12]. Запис вимірюваних параметрів здійснюється за допомогою комп'ютера у форматі MS Excel за допомогою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) і багатофункціональної плати ARDUINO UNO.

Дослідження розроблених моделей стійок глибокорозпушувача проводилося з п'ятьма різними профілями бічної поверхні. Досліджувану модель встановлювали в спеціальне кріплення на візку, який за сприяння тензометричної ланки і канатної тяги приводили в рух електромеханічним приводом. Фіксація

результатів і подальше їх опрацювання проводилися за допомогою комп'ютера і відповідного програмного забезпечення.

Вибір розроблюваних моделей стійок глибокорозпушувача був зумовлений наявними аналогами з метою порівняння їх тягових зусиль і визначення раціональних геометричних параметрів.

Остаточного до дослідження було прийнято такі стійки з різними профілями бічної поверхні (рис. 3.12):

1. напівкубічна парабола Нейля з параметром  $a = 2,19$ ;
2. криволінійна за радіусом  $r = 220$  мм;
3. ступінчаста з розширювачами;
4. ступінчаста;
5. прямолінійна з кутом заточування в  $60^\circ$ .

Досліди проводилися в п'ятикратній повторюваності. За достовірності в 0,9, помилка не перевищувала 15 %, а коефіцієнт варіації був менше 0,12. Досліди проводили в однакових для всіх стійок умовах: ґрунт – суглинок густиною  $\rho = 1,17 \dots 1,22$  г/м<sup>3</sup> за вологості  $W = 15 - 20\%$ , заглиблення стійок – 0,3 м. Так само перевірявся вплив ковзання на тягові зусилля, шляхом закріплення спеціальної пластини на робочих органах, що перешкоджає ковзанню.



Рис. 3.12. Натурні моделі стійок

Результати експериментальних досліджень представлено в графічній формі на рисунках 3.13 і 3.14 органу у вигляді залежності опорів пересуванню (тягових зусиль) від форми робочого органу.

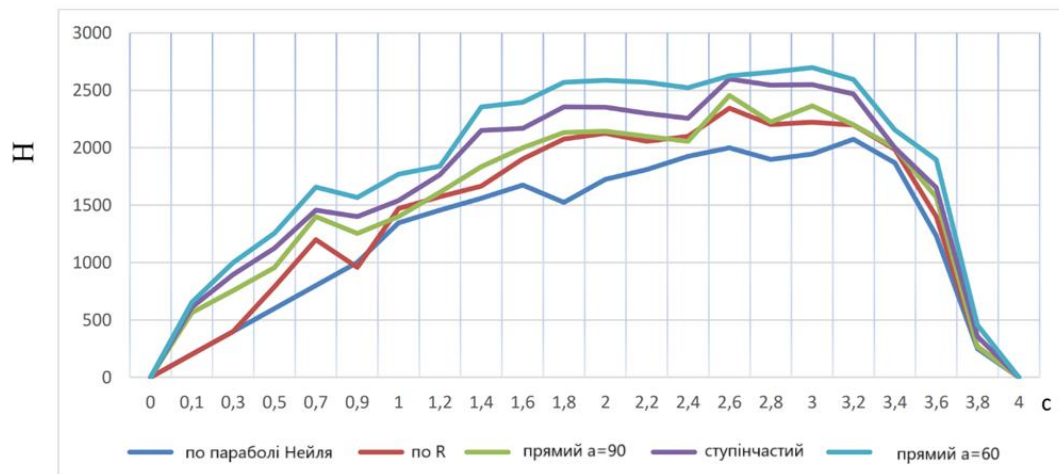


Рис. 3.13. Опір пересуванню стійок у разі збереження ковзання

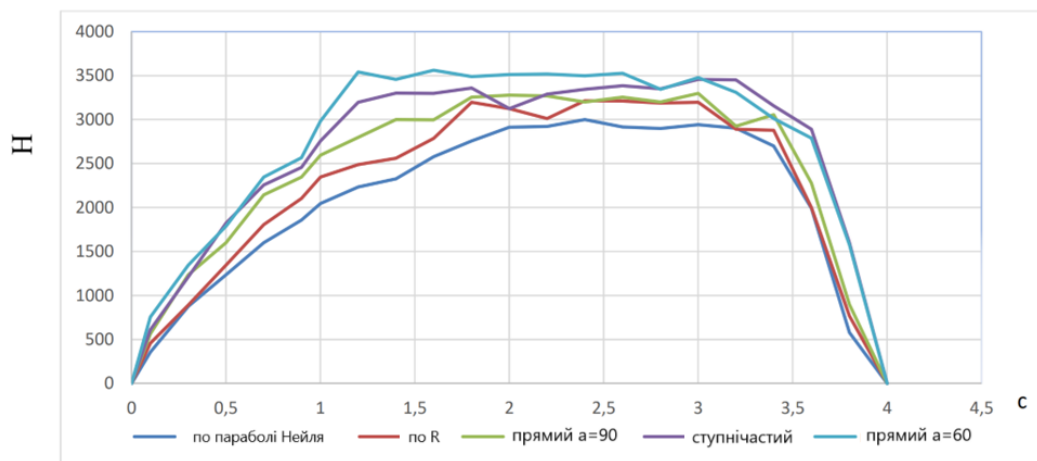


Рис. 3.14. Опору пересуванню стійок за відсутності ковзання

Порівняльний аналіз результатів проведених досліджень виявив, що найменший опір переміщенню показав робочий орган із формою профілю у вигляді напівкубічної параболи Нейля. Встановлення на стійках спеціальних пластин, що заважають відносному ковзанню, різко змінило всю картину взаємодії, завдяки появі ядра ущільнення, що зав'язло на стійці. Це призвело до збільшення відповідних опорів пересуванню для всіх досліджуваних стійок, приблизно, в 1,1...1,4 раза.

Результати дослідів доводять адекватність прийнятої моделі взаємодії та пріоритет профілів за фрактальними кривими.

Розроблення робочого органу глибокорозпушувача проводили з урахуванням проведених експериментальних досліджень і результатів об'єктно-орієнтованого аналізу, зокрема, діаграми системи обробітку схилів земель (СС33). Під час проектування до робочого органу глибокорозпушувача було висунуто сучасні агротехнічні вимоги:

1. відхилення прямолінійності розпушування має бути не більше 2 см;
2. відхилення заглиблення робочого органу не повинно перевищувати 3 – 5 см;
3. унеможливити винесення верхніх шарів ґрунту на поверхню;
4. підрізання кореневищ рослин;
5. збереження стерні не менше 80%;
6. глибистість 70% грудок після обробітку повинна становити менше 10 см при обробітку на глибину від 40 см. З огляду на перераховане вище, було розроблено експериментальний зразок стійки глибокорозпушувача (рис. 3.15). Стійка має кут заточування передньої грані в 90 градусів, а також групу отворів 1 для ручного регулювання глибини обробітку ґрунту до 60 см, а також групу отворів 2 і 3 для додаткових елементів, що деформують ґрунт, із можливістю їхньої адаптації до поставлених завдань і наявної потужності агрегату (рисунки 3.15 а, б).

Стійка виконана з високовуглецевої сталі 09Г2С, що забезпечує необхідну зносостійкість (рис. 3.16).

У результаті проведених дослідів були отримані значення тягових зусиль експериментальної стійки (рис. 3.17). Зокрема як максимально можливі, так і розраховані середні значення тягових зусиль. Максимально можливі (критичні) тягові зусилля були отримані в умовах заздалегідь ущільненої ділянки ґрунту до щільності  $1,25 \text{ г/см}^3$ . За максимально можливими зусиллями на одну стійку вибирається тяговий клас трактора.

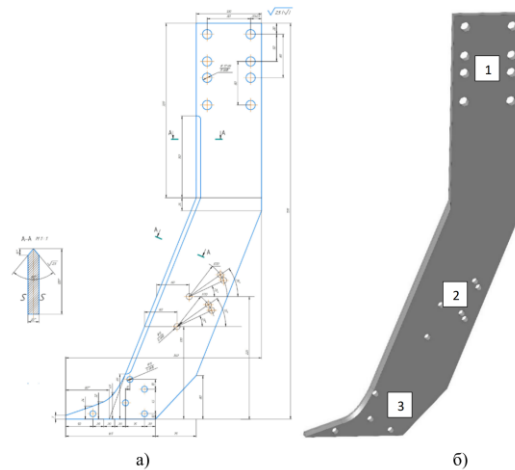


Рис. 3.15. Стійка глибокорозпушувача: а) робоче креслення; б) 3д модель.

Під час випробування в лабораторних умовах було отримано такі показники:

1. критичні тягові зусилля однієї стійки глибокорозпушувача без ґрунторозпушувальних елементів під час розпушування ущільненого ґрунту становили 4445 Н;
2. відхилення прямолінійності розпушування становило не більше 1 см;
3. відхилення заглиблення робочого органу становило 1 см;
4. 70% грудок не перевищували 10 см у лабораторних умовах;
5. щільність ґрунту після обробітку становила 1,1...1,13 г/см<sup>3</sup> ;
6. тягові зусилля розробленої стійки без навісного обладнання знизилися в середньому на 7% (рис. 3.16).

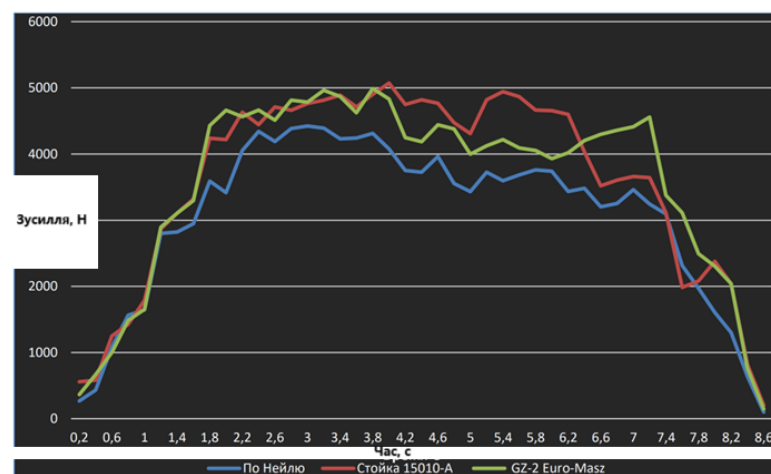


Рис. 3.16. Порівняння зусиль сучасних і розробленої стійок без додаткового обладнання.

### 3.3 Польові випробування розробленого ґрунтообробного знаряддя

Розроблення та створення експериментального зразка робочого органа глибокорозпушувача з комплектом ґрунторозпушувальних елементів передбачає врахування наявних тенденцій у ґрунтообробці та агротехнічних вимог, що висуваються, які диктуються сучасним станом ґрунтообробної техніки та умовами її експлуатації.

З метою перевірки основних кількісних і якісних показників процесу розпушування було розроблено експериментальний зразок глибокорозпушувача для обробітки схилених земель. Глибокорозпушувач являє собою навісне ґрунтообробне знаряддя масою 250-300 кг залежно від комплектації та агрегується з базовою машиною не нижче 1.4-го тягового класу. Розроблений глибокорозпушувач виконаний таким чином. Рама моделі ґрунтообробного знаряддя являє собою металеву зварену конструкцію з механізмом повороту стійок і можливістю регулювання глибини обробітки ґрунту. Глибокорозпушувач працює таким чином. За початкового положення трактора на схилі, рама глибокорозпушувача розташовується паралельно схилу. При цьому стійки встановлені перпендикулярно рамі.

Переведення стійок у робоче положення на схилі здійснює система управління, де електронний датчик контролю положення фіксує кут відхилення стійок від вертикалі на величину, що дорівнює куту нахилу схилу, і генерує відповідний електричний сигнал, що надходить на вхід механізму повороту стійок.

Експериментальний зразок глибокорозпушувача (рис. 3.17) складається з таких частин:

- 1 – базова машина (трактор МТЗ-80).
- 2 – рама глибокорозпушувача, виготовлена зі сталеві профільної прямокутної труби розмірами 100x80x8,0 мм за ГОСТ 32931-2015.

3 – опорні колеса для регулювання заглиблення ґрунтообробного знаряддя, мають гвинт для регулювання з можливістю встановлення глибини розпушення в діапазоні 30-60 см.

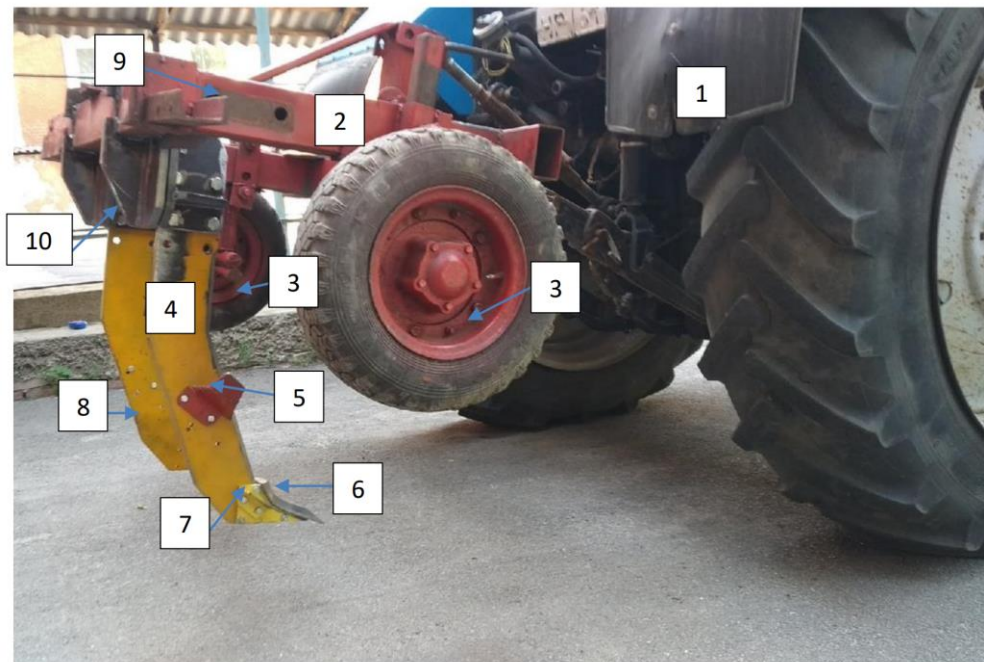


Рис. 3.17. Експериментальний зразок глибокорозпушувача з двома робочими органами та комплектом ґрунторозпушувальних елементів.

4 – пряма стійка глибокорозпушувача (рис. 3.18) з можливістю додаткової зміни глибини розпушення. Раціональна форма робочих елементів знижує опір переміщенню на 7%, за максимального тягового опору, не вищого за 7854 Н у лабораторних умовах.

5 – латерально-медіальні ґрунторозпушувальні пластини, виготовлені зі зносостійкого матеріалу з можливістю зміни кута та глибини їхнього встановлення залежно від виконуваних агротехнічних завдань. Особливістю цих елементів є їхня можливість у комплекті з розширювачами створювати раціональну форму розпушеної поверхні, що повторює форму розвитку кореневої системи культур, що висіваються. При цьому в процесі роботи за рахунок різновеликих реакцій, що діють на пластини, виникають їхні коливання (вібрації), що перешкоджає налипанню, знижує зусилля та підвищує якість і зону розпушення.



Рис. 3.18. Робочий орган глибокорозпушувача з повним комплектом ґрунторозпушувальних елементів

6 – наральник Нейля, виготовлений зі зносостійкої сталі 09Г2С із вмістом марганцю, що зменшує абразивне зношування. Відмінною особливістю є дотримання умови ковзання за геометрично правильною формою розпушеної зони ґрунту. Така форма профілю за напівкубічною параболою Нейля дає змогу позбутися налипання шару, що розпушується, на ріжучій кромці, знижуючи опір робочого органу.

Це особливо важливо під час роботи на вологих ґрунтах.

7 – розширювачі, як і всі інші елементи глибокорозпушувача, виконані зі зносостійкої сталі 09Г2С і мають раціональний кут заточування. Оскільки під час розпушування на глибині понад 40 см розширення зони розпушення з боків від наральника блокується твердим переущільненим ґрунтом, то під час глибокого обробітку ґрунту раціонально використовувати розширювачі різної форми та розмірів з метою створення трапецієподібної площі розпушення.



8 – стійки зі згином у нижній її частині на відстані 150 мм. Таке рішення підвищує стійкість стінки під час роботи та формує стійку основу внутрішньогрунтової стінки.

9 – місця кріплення для додаткового обладнання, що дають змогу під час агрегування знаряддя потужнішим трактором установити на раму додаткові плоскорізи для підрізання кореневої системи та пошарового обробітку ґрунту.

10 – механізм повороту стійок, який дає змогу змінювати положення стійок залежно від нахилу оброблюваного поля (рис. 3.19).



Рис. 3.19. Зміна кута стійок експериментального глибокорозпушувача.

Кожен елемент розробленого експериментального зразка глибокорозпушувача відповідає сучасним тенденціям розвитку ґрунтообробної техніки та забезпечує під час роботи необхідні агротехнічні вимоги.

На рис. 3.20 представлено фото відчищеної зони розпушення і внутрішньогрунтову стінку, що утворилася після проходу глибокорозпушувача з комплектом ґрунторозпушувальних елементів, де:

Зона 1 – зона стійкої внутрішньогрунтової стінки, яка знижуватиме внутрішньогрунтовий і поверхневий змив ґрунту та сприятиме утриманню схилу від сповзання. Розміри стінки: ширина 40 см; висота 52 см.



Рис. 3.20. Налаштування кутів установлення стійок глибокорозпушувача.

Зони 2 – зони розпушення, утворені завдяки використанню розширювачів і ґрунторозпушувальних пластин. Як видно, загалом використання ґрунторозпушувальних пластин дає змогу забезпечити верхньому шару ґрунту якісніший обробіток із зоною розпушування, форма якої подібна до форми кореневої системи більшості культур, що висіваються. Стійка внутрішньогрунтова стінка становила по ширині від 40 до 45 см (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Утворена внутрішньогрунтова стінка після проходу глибокорозпушувача



Ці розміри стінки отримано в конкретних польових умовах. В інших умовах, що визначаються варіативністю чинників, як-от кліматичні (особливості рельєфу, крутизна схилу) і погодні, (температура, вітровий режим, інтенсивність опадів, величина снігового покриву тощо), що значно впливають на стійкість схилу, товщину стінки слід встановлювати із запасом, приблизно, на 20-25 %, тобто рівною 50-55 см.

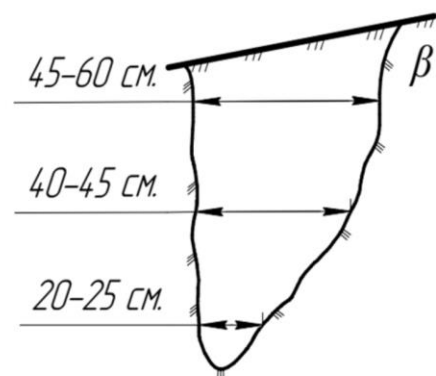


Рис. 3.22. Параметри внутрішньогрунтової стінки

На рис. 3.23, а представлено виміри зони розпушення у верхніх шарах від правої стійки експериментального зразка глибокорозпушувача, які в зоні глибин обробітку 0-30 см становили до 60 см зі зниженням за глибиною розпушування, утворюючи контур ділянки розпушення рис. 3,25 б.



а)



б)

Рис. 3.23. Зона розпушення стійки глибокорозпушувача з розширювачем.

Так само було проведено аналіз гранулометричного складу (таблиця 4.7) як індикатор якості розпушеного ґрунту, оскільки саме від нього залежить родючість і захисні можливості від вітрової та водної ерозії, при цьому знижується заболочуваність і підвищується водопроникність поверхневих і внутрішніх шарів ґрунту.

Таблиця 3.1 – Гранулометричний склад ґрунту

№ п/п	Найменування зразка	> 10 мм, %	> 7 мм, %	> 5 мм, %	> 3 мм, %	> 2 мм, %	> 1 мм, %	> 0,5 мм, %	> 0,25 мм, %
1	Оран. 1	9,8	16,8	26,11	18,71	15,31	4,12	4,60	4,91
2	Оран. 2	9,5	18,1	25,21	17,81	15,21	4,41	4,22	5,80
3	Оран. 3	9,8	16,9	25,61	18,51	15,11	4,07	4,50	5,81
4	Глиброзп.1	5,7	4,91	11,21	25,81	26,91	14,42	5,20	6,00
5	Глиброзп. 2	5,9	7,74	14,21	23,91	25,41	13,76	4,40	4,80
6	Глиброзп.3	5,7	6,50	14,81	23,96	26,51	13,64	5,02	4,04
7	Цілина контр.	10,1	13,61	17,41	21,51	21,91	3,01	8,30	4,30

Результати дослідження свідчать про більш якісний обробіток ґрунту, розробленим глибокорозпушувачем. Так, верхній шар отримує додатковий ефект подрібнення від коливань латерально-медіальних ґрунторозпушувальних пластин, що знижує можливе налипання на різучі елементи та підвищує ефект розуцільнення. На нижніх шарах, завдяки використанню наральника Нейля, що зберігає умови ковзання, і додаткових подовжувачів, досягається більш якісне подрібнення ґрунту на дрібні частинки, зокрема, від 1 до 7 мм.

Однак на денній поверхні присутні ґрунтові брили розміром близько 10-12 см, у кількості не більше 20%, що допускається агротехнічними вимогами.

Зауваження щодо наявності на поверхні ґрунтових брил слугує підставою для включення до процесу розпушувального котка, як додаткового навісного обладнання глибокорозпушувача, що кріпитиметься до задньої частини рами та здійснюватиме вирівнювання поверхні та подрібнення поверхневого шару ґрунту до необхідного рівня.

## Висновки по розділу

У результаті проведеного віртуального експерименту робочого органу глибокорозпушувача з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами визначено критичні тягові зусилля та позначено зони підвищеного зносу.

Максимально можливе тягове зусилля під час роботи на глибині 60 см дорівнює 11,5 кН. Показано, що під час руху робочого органу розробленої геометрії з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами, встановленими під кутом 25...35 градусів, перемішування шарів і винесення нижчих на поверхню не спостерігається. Відбувається ущільнення нижньої частини пласта, значний підйом верхнього шару з подальшим його падінням.

У результаті лабораторних досліджень встановлено, що отримані експериментальні дані добре координуються з результатами теоретичних досліджень. За всіма позиціями невідповідність теоретичних та експериментальних результатів не перевищує 12 %. Визначено, що профіль нижнього деформатора слід виконувати за напівкубічною параболою Нейля.

Встановлено, що поліпшення якості та зони розпушення переущільнених ґрунтів забезпечується розробленим робочим органом. Так, тягові зусилля однієї стійки глибокорозпушувача знизилися в середньому на 7 %, щільність ґрунту після обробітку становила у верхніх шарах 1,1...1,15 г/см<sup>3</sup>, у нижніх - не більш як 1,2 г/см<sup>3</sup>, при цьому понад 70 % грудок не перевищували розмірів у 7 см.

Проведені польові дослідження, спроектованого за методологією концептуального конструювання глибокорозпушувача, підтвердили його ефективність. Встановлення додаткових ґрунторозпушувальних елементів, як-от латерально-медіальні ґрунторозпушувальні пластини під кутом 35 градусів, наральник із профілем за напівкубічною параболою Нейля, нижні розширювачі, дали змогу підвищити якість обробітку ґрунту на 10-25% щодо зниження

густини ґрунту до  $1,11 \text{ г/см}^3$  та формування раціональної зони розпушування, яка повторює ділянку кореневої системи більшості покривних культур.

Створення стійкої внутрішньогрунтової стінки завширшки 40 см дало змогу зберегти стійкість схилу за ухилу в 12 градусів.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Використання глибокорозпушувача на полів на схилах має низку особливостей, які впливають не тільки на конструкцію знаряддя, а й на технологію виконання робіт. Однак наявні методи проектування знаряддя не враховують усіх особливостей глибокого розпушування не лише в частині збереження стійкості схилу після обробітку, а й в існуючій відмінності картини взаємодії в зонах до критичної глибини та нижче за неї. Ґрунтообробні знаряддя мають максимально відповідати агротехнічним вимогам і зберігати стійкість схилу після обробітку. Найповніше цим вимогам відповідає глибоке розпушування без обороту пласта з утворенням стійкої внутрішньоґрунтової стінки.

У результаті проведеного віртуального експерименту робочого органу глибокорозпушувача з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами визначено критичні тягові зусилля та позначено зони підвищеного зносу. Максимально можливе тягове зусилля під час роботи на глибині 60 см дорівнює 11,5 кН. Показано, що під час руху робочого органу розробленої геометрії з латерально-медіальними ґрунторозпушувальними пластинами, встановленими під кутом 25-35 градусів, перемішування шарів і винесення нижчих на поверхню не спостерігається. Відбувається ущільнення нижньої частини пласта, значний підйом верхнього шару з подальшим його падінням.

У результаті лабораторних досліджень встановлено, що отримані експериментальні дані добре узгоджуються з результатами теоретичних досліджень. За всіма позиціями невідповідність теоретичних та експериментальних результатів не перевищує 12 %. Визначено, що профіль нижнього деформатора слід виконувати за напівкубічною параболою Нейля.

Встановлено, що поліпшення якості та зони розпушення переущільнених ґрунтів забезпечується розробленим робочим органом. Так, тягові зусилля однієї стійки глибокорозпушувача знизилися в середньому на 7 %, щільність ґрунту

після обробітку становила у верхніх шарах  $1,1...1,15 \text{ г/см}^3$ , у нижніх - не більше  $1,2 \text{ г/см}^3$ , водночас понад 70 % грудок не перевищували розмірів у 7 см.

Проведені польові дослідження, спроектованого за методологією концептуального конструювання глибокорозпушувача, підтвердили його ефективність. Встановлення додаткових ґрунторозпушувальних елементів, таких як латерально-медіальні ґрунторозпушувальні пластини під кутом 35 градусів, наральник із профілем за напівкубічною параболою Нейля, нижні розширювачі, дали змогу підвищити якість обробітку ґрунту на 10-25% щодо зниження густини ґрунту до  $1,11 \text{ г/см}^3$  та формування раціональної зони розпушування, яка повторює ділянку кореневої системи більшості покривних культур. Створення стійкої внутрішньоґрунтової стінки шириною верхньої частини 45 см дало змогу зберегти стійкість схилу за нахилу в 12 градусів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Капін В.І. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: підручник. Київ: Агроосвіта. 2018. 350 с.
2. Гудзенко В.І. Ґрунтообробні машини: будова, робота та налаштування. Харків: Колегіум. 2019. 320 с.
3. Ковальчук А.В., Бойко І.М. Динаміка взаємодії глибокорозпушувачів із ґрунтом. Львів: ЛНАУ. 2020. 285 с.
4. Жук В.О. Оптимізація конструктивних параметрів ґрунтообробних машин. Вінниця: Нова книга. 2017. 270 с.
5. Карпенко С.І., Петров О.В. Технологія глибокого розпушування на схилах. Київ: Аграрна наука. 2021. 310 с.
6. Дорошенко Л.А. Підвищення ефективності роботи глибокорозпушувачів. Харків: ТОР. 2018. 300 с.
7. Бойко О.П., Іваненко П.О. Ґрунтозахисні технології обробітку на схилових землях. Львів: ЛНТУ. 2019. 280 с.
8. Васильєв П.О., Савчук О.Г. Основи проєктування ґрунтообробних знарядь. Полтава: ПДАА. 2018. 250 с.
9. Мельник С.І., Грищук В.І. Розрахунок і вдосконалення глибокорозпушувачів. Київ: Освіта України. 2020. 310 с.
10. Ткаченко А.Г., Гончаренко О.С. Теорія і практика обробітку ґрунту на еродованих землях. Харків: Міськдрук. 2017. 290 с.
11. Чернов О.В., Степаненко І.П. Глибокорозпушувачі: конструкції, особливості застосування. Одеса: ОНАХТ. 2019. 265 с.
12. Шевчук В.М., Пономаренко О.І. Ефективність використання ґрунтообробних машин на схилах. Тернопіль: Економічна думка. 2021. 280 с.
13. Смірнов О.П. Системи обробітку ґрунту на землях з ухилом. Полтава: ПДАА. 2020. 300 с.

14. Григоренко П.О., Іванченко В.О. Обґрунтування параметрів глибокорозпушувачів для схилових умов. Вінниця: Нова книга. 2019. 240 с.
15. Буркацький В.П., Савчук С.О. Механізація ґрунтозахисних технологій обробітку ґрунту. Львів: ЛНАУ. 2018. 310 с.
16. Borak K. V. Effect of plant remains on abrasive wear rate of the tilling machine movable operating parts. Проблеми трибології. 2020. № 1. С. 57–62.
17. Довгопол В.І., Карпенко С.І. Вплив глибокорозпушування на фізичний стан ґрунту. Київ: Аграрна освіта. 2020. 275 с.
18. Жук С.В., Лисенко Г.Л. Проектування і налаштування глибокорозпушувачів. Житомир: Полісся. 2018. 290 с.
19. Степаненко І.П., Ковальчук О.С. Економічна ефективність глибокого розпушування на схилах. Харків: ХНАУ. 2021. 260 с.
20. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
21. Rogovskii I. L., Borak K. V., Maksimovich E. Yu., Smelik V. A., Voinash S. A., Maksimovich K. Yu., Sokolova V. A. Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes T-series. Journal of Physics. 2020. Vol. 1679. 042084.
22. Міненко С. В., Кузьмич В. С. Аналіз знарядь для безполицевого обробітку ґрунту під час роботи на схилах. Збірник тез доповідей XXV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2024 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 45-48.
23. Міненко С.В., Кузьмич В.С., Герасимчук Д.В. Особливості обробітку земельних ділянок на схилах. XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві». (01-18 жовтня 2024 р.). <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 01.12.2024).

24. Міненко С.В., Кузьмич В.С. Проектування та міцнісний розрахунок ґрунторозпушувального елемента у віртуальному середовищі AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «ЕКАР – пріоритетні напрями розвитку агропромислового виробництва України в умовах Євроінтеграції»,(22-23 жовтня 2024 року), ІМА АПВ НААН України, Глеваха. 2024. С.