

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

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 20 ____ р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис) А.В. Войтік
(ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній рівень)

тема роботи «ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЛИБИННОГО
РОЗПУШУВАЧА ҐРУНТУ ФРЕЗОЮ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-з-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208
«Агроінженерія»
Бур'ян О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Лісовий І.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

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

Освітня програма _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ **А.В. Войтік**
“ ____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

студенту _____ **Бур'яну Олександрю Юрійовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування параметрів глибинного розпушувача ґрунту фрезою» _____

керівник роботи _____ **Лісовий І.О., к.т.н., доцент** _____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“09” листопада 20 23 р. № 01-06/256 _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 22.11.2023 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: навчальна, наукова та періодична література за темою роботи; _____

4. Перелік питань, які потрібно розробити: _____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		
Техніко-економічне обґрунтування	Лісовий І.О., доцент		

7. Дата видачі завдання 18 квітня 2023 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
7.			
8.			
9.			

Студент_____
(підпис)Бур`ян О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи_____
(підпис)Лісовий І.О.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1.	
РОЗДІЛ 2	
РОЗДІЛ 3	
РОЗДІЛ 4.	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ	

РЕФЕРАТ

Бур'ян О.Ю. «Обґрунтування параметрів глибинного розпушувача ґрунту фрезою». (Магістерська робота. Умань, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на __ сторінках, __ рисунка, __ таблиць, графічна частина підготовлено ілюстративний матеріал у вигляді презентації __ слайдів як додаток до доповіді за темою магістерської роботи)

У магістерській кваліфікаційній роботі вирішені наукові питання підвищення продуктивності та зниження енергоємності прокладання меліоративних комунікацій без траншейним способом.

В результаті проведених досліджень у магістерській роботі запропонована вдосконалена глибинного розпушувача ґрунту за допомогою само обертовою фрезою. Отримано аналітичні вирази для визначення параметрів машини, теоретичні залежності дозволили обґрунтувати раціональні параметри її робочих органів та покращити якість дренажних робіт.

Запропоновано організацію безпечних умов праці для механізатора під час проведення меліоративних робіт.

Представлено методологічні основи розрахунку розпушувача локальної дії із самообертовими фрезами для інженерних розрахунків.

Ключові слова: ДРЕНАЖ, ДРЕНИ, ҐРУНТ, ГЛИБИННИЙ РОЗПУШУВАЧ ЛОКАЛЬНОЇ ДІЇ, ФРЕЗА.

ВСТУП

Так, процес будівництва матеріального дренажу вимагає ефективного розпушення ґрунту в придренній зоні, водопроникність якої впливає на ефективність роботи дрени. Підорні шари ґрунту, внаслідок техногенного впливу ущільнюються, що призводить до деградації угідь. Ліквідація наслідків такого впливу можлива шляхом розпушування. Крім цього будівництво термогідравлічних систем, з метою збільшення ефективності тепловіддачі ґрунтового середовища, вимагає ретельної обсіпки труб, яка можлива при якісному розпушуванні ґрунту в зоні їх прокладання.

Процес розпушування ґрунту енергомісткий, тому перспективним є створення ефективного розпушувача локальної дії.

Розроблено нову конструкцію глибинного розпушувача із самообертливими фрезами, який забезпечує якісне розпушування ґрунту в локальних зонах, розташованих на потрібних глибинних рівнях [1].

Мета і задачі досліджень. Метою даної роботи є підвищення ефективності процесів глибинного розпушування в локальних зонах, обумовлених технологією виробництва.

Об'єкт дослідження – процеси розпушення ґрунту глибинними розпушувачами локальної дії із самообертливими фрезами.

Предмет дослідження – робочі органи розпушувачів локальної дії.

РОЗДІЛ 1.

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Основні типи підземних комунікацій які потребують залучення глибинного локального розпушення, вимоги до робочих органів, що його здійснюють

Ряд вчених Т.В. Алексеева [1], Л.Ф. Кожушко [1], С.В. Кравець [2-3], А.А. Нечидюк [5], О.Л. Романовський [6] підтвердили в своїх працях доцільність прокладання підземних комунікацій безтраншейним методом. Це дозволяє на порядок підвищити швидкість, а з нею і продуктивність праці, обмежити в часі перебування будівельної техніки на площах укладання, зберегти поверхневий гумусний шар та в 3...5 разів зменшити об'єм земляних робіт.

Деякі лінійно - протяжні об'єкти вимагають структуризації ґрунту в зоні їх укладання.

Так, процес будівництва матеріального дренажу вимагає розпушення ґрунту в придренній зоні, оскільки ефективна робота дренажних систем можлива при наявності надійного гідравлічного зв'язку між орним шаром і дренажною трубкою. Для цього на меліоративних системах розробка і обробіток ґрунтів ведеться на декількох рівнях [1, 7-9]. Це особливо виражено на ґрунтах малої водопроникності з коефіцієнтом фільтрації менше 0,3 м/добу, де прокладаються двоярусні дренажні системи. В останніх основне навантаження припадає на дренажні щілини.

Значний вплив на водопроникність щілини справляє структура ґрунту, суттєвої зміни якої можна досягнути шляхом розпушення ґрунту і внесення меліоранту.

На точність укладання дрен впливає спосіб стабілізації положення труб в дренажній лінії. Цей фактор набирає особливого значення при високому рівні стояння ґрунтових вод. Тут, під дією високого напору води в придренній зоні, пластмасові труби, особливо ті, що укладені безтраншейним способом без

додаткової присипки, можуть спливати. Це пояснюється тим, що при проходженні ножового робочого органа в нижній частині щілини на деякий час утворюється вільна порожнина, яка швидко заповнюється водою. Тому, для досягнення якісної фіксації труб, укладання дренажу безтраншейним способом вимагає негайного закриття щілини яке можливе при наявності добре розпушеного ґрунту в придренній зоні [1, 9]. Для нормальної роботи дренажних труб їх місцеві висотні відхилення від поздовжнього похилу не повинні перевищувати $\pm 0,02$ м [1, 9, 10].

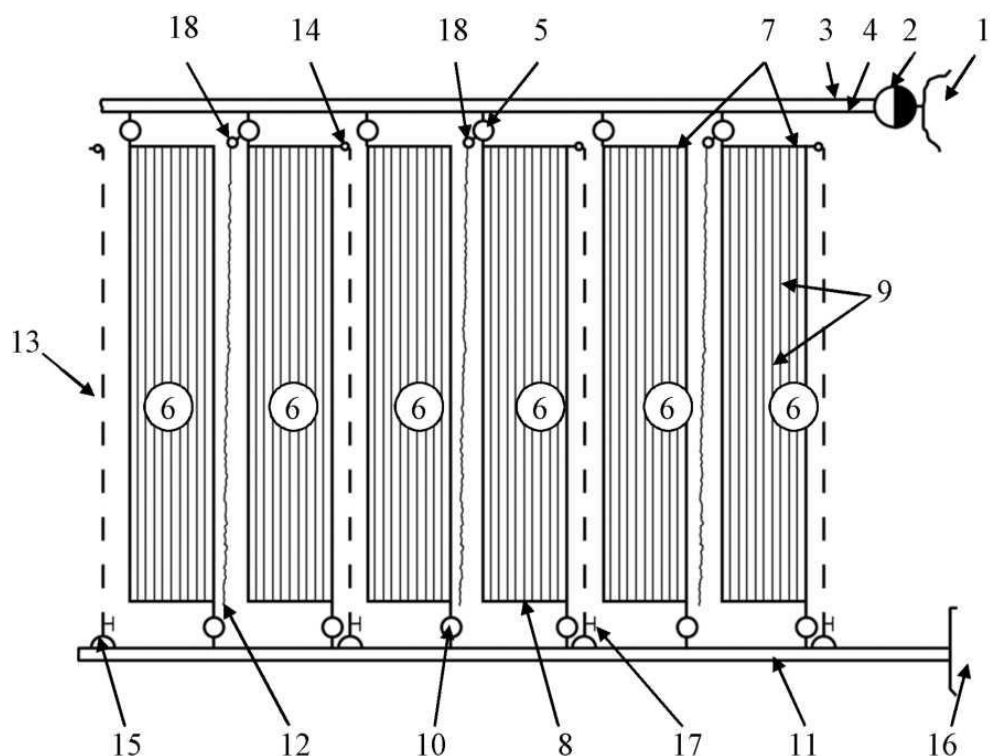


Рис.1.1. Схема комплексної термогідромеліоративної системи [9, 10]:

1 - джерело теплої води; 2 - насосна станція; 3, 4 - магістральний та розподільний трубопроводи; 5 - розподільний вузол; 6 - обігрівальні блок-модулі; 7, 8 - роздавальний та збиральний трубопроводи; 9 - обігрівальні труби; 10 - колодязь; 11 - відкритий канал; 12 - зрошувальні канали; 13 - дрени; 14 - запірний пристрій; 15 - гирло дрена; 16 - джерело води; 17 - засув; 18 - водовипуски

Не менш важливою проблемою є утилізація теплових відходів

промислових підприємств (рис.1.1), атомних та теплових електростанцій і використання їх для потреб сільського господарства [2, 11]. Це дозволить підвищити температуру родючого шару на 2...8 °С і на один - два тижні раніше приступити до проведення весняно - польових робіт. Комплексна термогідросистема представлена на рис. 1.1, яка включає в себе обігрівальну і осушувально - зволожувальну системи. Основними елементами системи є підземна сітка блок - модулів поліетиленових трубопроводів. Глибина їх закладання - 0,6...0,7 м, відстань між трубопроводами 1,0...1,5 м. Обов'язковою технічною вимогою будівництва термогідромеліоративних систем є надійний контакт між трубами блок - модуля і ґрунтом.

При прокладці підземних розподільних трубопроводів низького тиску (до МПа) доцільно використовувати поліетиленові труби, які після прокладання необхідно присипати м'яким ґрунтом за 10. 20 с [2, 7, 12, 13].

Водна ерозія призводить до значних втрат родючого шару, продуктивної вологи, добрив і пестицидів (рис. 1.2). Це не лише приносить втрати сільському господарству, а і забруднює навколишнє середовище.

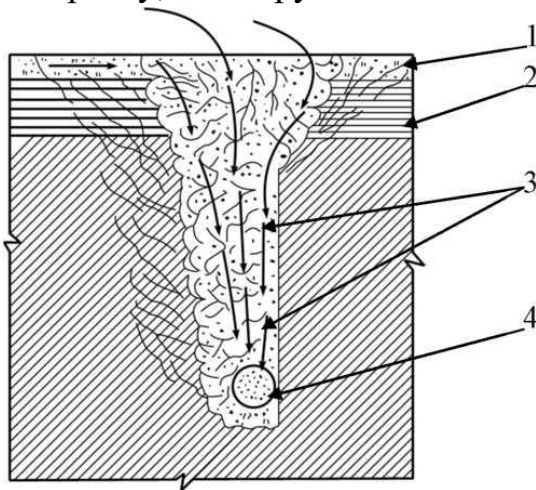


Рис.1.2. Схема протиерозійної меліоративної системи [10]:

1 - родючий шар ґрунту; 2 - важкопроникаючий шар ґрунту;

Ефективним заходом її запобігання є переведення води поверхневого стоку в стан ґрунтової води шляхом будівництва протиерозійної системи [14-16], що являє собою вологоакумулюючу щілину, утворену за допомогою

багатоярусного обробітку ґрунту з одночасним його оструктуренням. У підземному горизонті виконано кротовину, заповнену фільтруючим матеріалом. Така система будується з метою збереження родючого шару ґрунту 1, руйнування і оструктурення важководопроникного шару ґрунту 2 в якому прокладена кротова дрена 4, яка виконана у вигляді сітчаної оболонки, яка заповнена фільтруючим матеріалом органічного походження. Дана дрена повинна бути покладена в оструктурену щілину. Крім того, для підвищення вологоакумулюючої властивості протиерозійних споруд і відведення надлишків води, процес будівництва повинен здійснюватись із одночасним закладанням вологоакумулюючого дренажного елемента на глибину до 0,6 м.

Важливим питанням також є меліоративне освоєння солонцевих ґрунтів [15, 17], як малопродуктивних сільськогосподарських угідь.

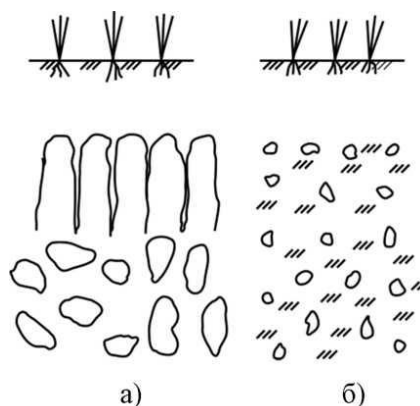


Рис.1.3. Солонцевий ґрунт: а - ґрунт до обробітку; б - розпушений підорним фрезерувачем солончак [10]

Їх врожайність в 2-3 рази нижча в порівнянні з іншими угіддями, що знаходяться в тих самих умовах, а в роки засухи солончаки практично не дають врожаю. Для усунення даного ефекту перемішують між собою солонцевий та карбонатний горизонт зі збереженням на поверхні родючого шару [18].

Ефективне вирішення даних проблем забезпечить локальне розпушення, проведене разом з процесом будівництва.

До локального розпушення слід висунути такі основні вимоги:

Мінімалізація тягового опору рушія. Робочі швидкості базової машини не повинні перевищувати 2 м/с [9, 19]. Розпушення ґрунту здійснювати з коефіцієнтом об'ємного розпушення 1,3 - 1,45, з його оструктуренням, повним руйнуванням капілярних зв'язків, залишаючи незмінними властивості ґрунтів, що не підлягають обробітці. Безприводне робоче обладнання в абразивному середовищі.

1.2 Аналіз конструкцій глибинних розпушувачів локальної дії

Проведений аналіз патентної і наукової літератури [1, 2, 5, 10, 20-23,] показав, що існує ряд технічних рішень направлених на виконання операції глибинного розпушування ґрунту при будівництві дренажу безтраншейним способом.

Розроблено ряд глибинних фрезерних розпушувачів [24], робочий орган яких (рис.1.4.) представляє собою ротор з ріжучими елементами - лопатями, що розміщені в два ряди і мають певні кути ріжучих поверхонь.

Частинки ґрунту, що потрапляють на лопаті ротора переміщуються в просторі. Таким чином відбувається перемішування різних горизонтів ґрунту для створення горизонту ґрунту із усередненими характеристиками, та відбувається повне руйнування капілярних зв'язків [25].

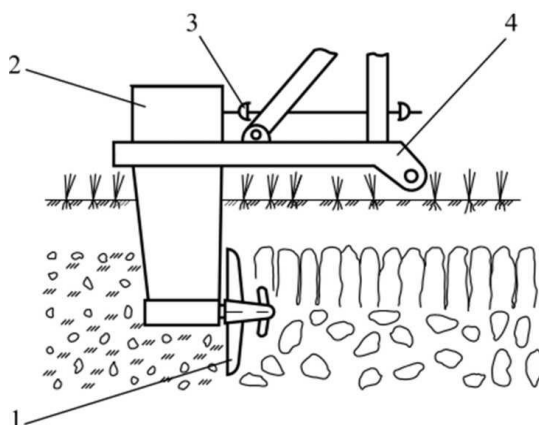


Рис. 1.4. Фрезерний розпушувач [9, 10]:

1 - лопаті; 2 - ніж щілиноріза; 3 - привід ротора; 4 - рама

Недоліком даного розпушувача є необхідність підведення привода до ротора з лопатями, що обертаються в агресивному середовищі і також значно збільшує металоємкість усієї конструкції, ускладнює будову і монтаж на безтраншейному дреноукладачі, призводить до додаткових втрат потужності [9, 10, 26].

Пристрій, розроблений ДБКБ ПЕТ (Рис 1.5.) призначений для виконання подвійної операції: під час переміщення даного обладнання верхня частина його здійснює обробіток верхнього гумусного шару ґрунту, а нижня частина здійснює подрібнення і фрезерування нижніх горизонтів [27].

До недоліків даного пристрою слід віднести недовговічність та схильність до залипання щіткоподібного фрезерувача, складність отримання структурно однорідного ґрунту впродовж руху обладнання і неможливість передбачення показників об'ємного розпушення.

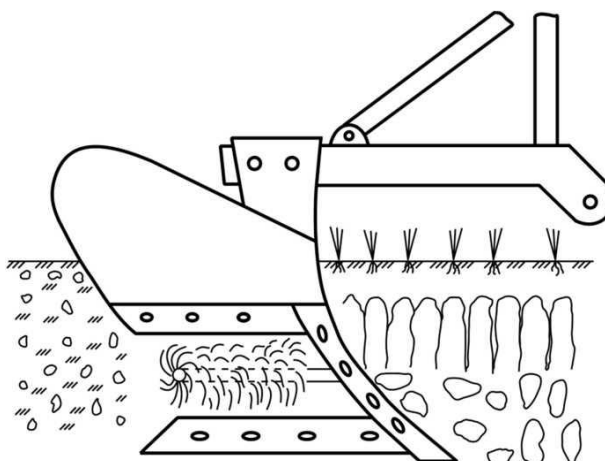


Рис. 1.5. Розпушувач із щіткоподібним робочим органом [9, 10]

Розпушувач, розроблений, автори: В.І. Корчагін, А.І. Стіфєєв та І. А. Ільїчов, який складається із рами 1, опорного катка 2, передньої 3 і заднього 4 стояка і фрезерувача, виконаного із руйнівних елементів гвинтової форми 5. Розпушення ґрунту відбувається внаслідок самообертання руйнівних елементів під дією сил тертя і опору переміщенню розпушуючого елемента в ґрунті [3, 8, 9, 11, 28].

Даний розпушувач потребує значного тягового зусилля для

переміщення, має значну металоємкість.

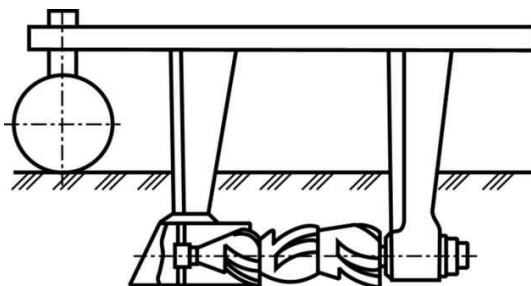


Рис. 1.6. Розпушувач із самообертливими руйнівними елементами [9, 10]

Поверхневий розпушувач, розроблений Дніпропетровським інженерно - будівельним інститутом разом (рис 1.7.), автори: Л.А. Хмара, С.В. Шатов і В.І. Баловнєв.

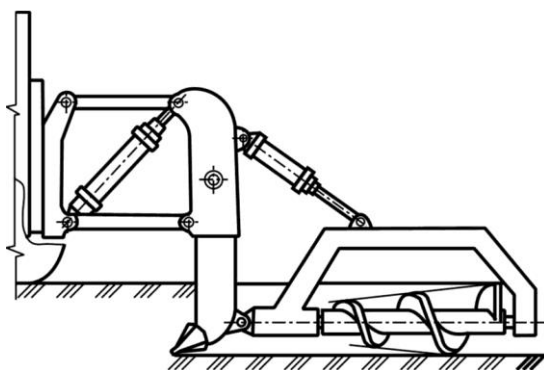


Рис. 1.7. Поверхневий розпушувач [9, 10, 19].

Дана конструкція позбавлена приводу, але вона має ряд недоліків: значна металоємкість і громіздкість конструкції, що ускладнює поворот машини під час виконання розпушувальних робіт і транспортування машини на об'єкт виконання даних робіт, крім того, неможливо спрогнозувати коефіцієнт об'ємного розпушення і дотримати однорідності якості розпушення, як в горизонтальній, так і у вертикальній площині обробітку ґрунту, особливо твердого ґрунту із включеннями до 0,2 м.

Цілинним науково-дослідним інститутом механізації і електрифікації сільського господарства [1] розроблено ряд пристроїв для безвідвального обробітку ґрунтів, який включає в себе закріплені на щілинорізі 1 дрeнер 2 з пристроєм для самообертання обрушувача з розпушувальними елементами

(рис.1.8.) у вигляді конічних логарифмічних спіралей. Відстань між віссю обертання обрушувача і нижньою різью щілиноріза не менша максимального радіуса обертання розпушувача. На самому щілинорізі змонтовано дренаер 2, з метою спрощення врізання самого обрушувача в цілик ґрунту.

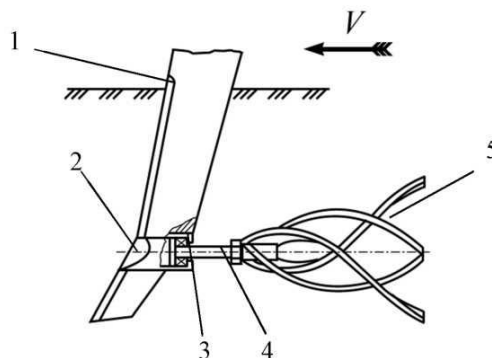


Рис.1.8. Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту [9, 39]:

1 - щілиноріз; 2 - дренаер; 3 - підшипник; 4 - вісь обрушувача; 5 - руйнівні елементи

Після проходження в ґрунті щілиноріза 1 з вмонтованим в ньому дренаером в отриману порожнину врізається вісь 4 з руйнівними елементами, які під дією поперечної складової сили опору переміщенню розпушувача в ґрунті обертаються і обрушують ґрунт в порожнину. Недоліком даної конструкції є складність виготовлення руйнівних елементів і необхідність в застосуванні високоміцних сталей при їх виготовленні. Крім того, обрушування ґрунту буде неповне тому, що на руйнівні елементи виконані таким чином не призводять до примусового відколювання частинок ґрунту від цілика ґрунту. Особливо дане зауваження стосується міцних ґрунтів [7, 9, 30].

Глибинний розпушувач локальної дії (рис.1.9), який складається з щілиноріза 1, дренаера 2 і самообертової фрези 3. При переміщенні щілиноріз і дренаер утворюють в ґрунті порожнину, яка в подальшому заповнюється ґрунтом, розпушеним самообертовою фрезою.

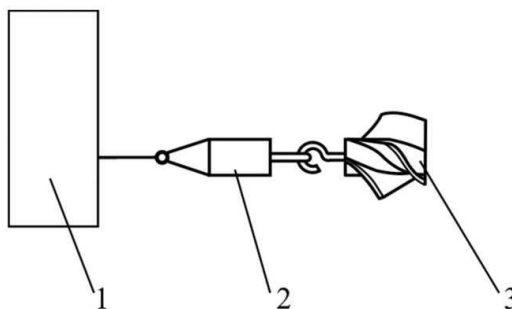


Рис.1.9. Глибинний розпушувач локальної дії із самообертювальними фрезами:

1 - щілиноріз; 2 - дренаж; 3 - самообертювальна фреза

Таким чином при виконанні сучасних земляних робіт, в тому числі будівництві, існує потреба в створенні конструкції безприводного глибинного розпушувача локальної дії, який був би простим у виготовленні та плановому технічному обслуговуванні, монтувався на щілинорізі, розпушував ґрунт самообертанням [9, 31] під дією поперечної складової сили опору переміщенню і відповідав вимогам, що висовуються до будівництва.

1.3 Аналіз досліджень, що впливає з суті процесу розробки ґрунту глибинним розпушувачем локальної дії із самообертювальними фрезами

Проаналізувавши роботу глибинного розпушувача локальної дії із самообертювальними фрезами очевидним є факт, що процес руйнування ґрунту здійснюється вертикальними розрізними ножами, дренажем і фрезою.

Процеси руйнування ґрунту розрізними ножами досліджувались в працях Т.В. Алексєєвої, К.А. Артемьєва, В.Л. Баладінського [32], В.І.Баловнєва, Ю.А. Вєтрова, В.І. Віноградова, А.Ю. Вольтерса, В.П. Горячкіна, А.М. Зав'ялова, А.М. Зєленіна, В.С. Зіня [10], В.С. Казакова [26], С.В. Кравця [2, 3, 24], А. Лук'янаса, І.І. Мєра [80], А.А. Нєчидюка [5], О.Л. Романовського [6, 33], В.К. Руднєва, В.І. Уродова, Г.А. Хайліса, Л.А. Хмари [34], та ряду інших авторів [23, 9]. Наведеними дослідженнями встановлено, що більшість розрізних ножів працює на глибинах, що перевищують критичні. Дослідженням критичних глибин займалися В.Л.

Баладінський, В.І. Баловнєв, Р. Годвин, Е. Дінглінгер, Ю.С. Вєтров, А.М. Зелєнін, С.В. Кравець, Г. Спур, В.І. Уродов, Л.А. Хмара, С.В. Шатов [2, 9, 10, 32].

На основі масштабних експериментальних і теоретичних досліджень встановлено, що критична глибина залежить від кутів різання, фізико - механічних властивостей ґрунтів і значною мірою визначається шириною ножа і відповідає 2 - 5,65 її значенням. Для визначення реальних критичних глибин можна скористатись теоретичними і емпіричними залежностями, описаними в роботах С.В. Кравця, наприклад:

$$h_{кр} = \frac{a \cdot b_c}{(tg \alpha_p)^n}, \quad (1.1)$$

де b_c - ширина ЗРО; α_p - кут різання ножа; a, n - коефіцієнти апроксимації. Дослідженнями цієї залежності встановлено, що при роботі розрізних ножів критична глибина незначна і нею можна знехтувати. Тоді приймемо, що розрізні ножі працюють за принципом ущільнення ґрунту в стінки щілини в зоні розвитку пластичних деформацій.

Важливим параметром розрізного ножа являється кут загострення. О.М. Зелєнін вважає, що оптимальний кут загострення 45° . В підручнику під редакцією І.І. Мєра у відповідності з фізико - механічними властивостями ґрунтів є свої оптимальні кути, а саме: болото - торф'яні ґрунти - 60° , сухі піски - $45...50^\circ$, вологі важкі піски - $30...35^\circ$, суглинки - $30...45^\circ$. Отже оптимальним для основних типів ґрунтів можна вважати кут, що знаходиться в межах 30.60° [9, 10, 20].

З рис. 1.10 видно, що на розрізний ніж шириною b_c , кутом встановлення - β , товщиною I_δ , кутом загострення 2ψ , який працює на глибині B , діють наступні сили: dN - елементарна частинка нормальної складової сили, що діє на робочу грань ножа; dT - елементарна частинка тангенціальної складової даної сили, а також P_δ - сила опору, що виникає на бокових поверхнях ножа щілиноріза. Наведені елементарні сили визначаються через середній тиск

Оскільки будівництво лінійно протяжних об'єктів ведеться в швидкісних межах (до 2 м/с), швидкість мало впливає на величину сили [84], тому швидкостями нехтуємо.

Дослідження дренера слід почати з аналізу його конусної поверхні. Аналізом проколювання ґрунту займались ряд авторів: Я.С. Алієв, В.К. Тимошенко, В.В. Кованько, С.В. Кравець, Н.І. Наумець, В.І. Пантелеєнко, Г.А. Хайліс, а знаряддя для кротування були відомі ще у XVIII столітті в Англії. Важливим параметром машин для виконання операції проколювання ґрунту є кут загострення конуса. В роботах В.А. Скотнікова із співавторами, В.К. Тимошенко [19] і І.І. Мера [15] приведені результати досліджень залежності опору переміщення дренера в ґрунті від кута конусності, діаметра, довжини циліндричної частини, глибини дренування, швидкості і вібрації кротодренажного робочого обладнання. Також було встановлено, що дронер з конусоподібним загостренням як при гнучкому з'єднанні, так і при жорсткому з'єднанні з ножом має найменше тягове зусилля. Кут конусності суттєво впливає на переміщення дренера в ґрунті. Для жорстко приєднаних до ножа дреноерів, оптимальний кут конусності складає $45^\circ \dots 52^\circ$ [9, 10, 35].

І.І. Мер встановив, що ядро ущільнення утворюється при куті $50^\circ \dots 60^\circ$, а із зростанням кута, ядро стає стійкішим. Досліди, [81] показали, що мінімальна енергоємність занурення пуасона в пісок припадає на кути загострення $60 - 90^\circ$. Розрахунки величини зусилля проколювання ґрунту, що проводились В.М. Гене, В.К. Тимошенко [32], які підтвердилися експериментальними дослідженнями встановили, що оптимальний кут загострення конуса становить $50 - 55^\circ$. Дослідження Я.С. Алієва [4] кротової машини ДКГ - 100 показали, що оптимальний кут загострення дренера для мінерального ґрунту лежить в межах $40 - 51^\circ$. Радіус ядра ущільнення ґрунту, згідно [87], знаходиться в межах $(1,3 \dots 1,5) d$ (d - діаметр тіла проколу). М.М Маслов [77, 78], вважає, що даний радіус не виходить за межі $1,5 d$ [9, 10, 32 36].

працях займалось: В.Д. Абезгауз, В.Л. Баладінський, А.М. Григор'єв, С.С. Тищенко, Б.Г. Хазін, О.А. Чемерісов. Процес руйнування ґрунту розглядається ними як динамічний, пов'язаний з необхідністю підведення до фрези привода, або швидкість переміщення робочого обладнання складає 2,5 м/с (ротаційний плуг "Ротапс" – Голландія [27]). Щодо досліджень шнекових поверхонь, як засобів транспортування, то робочим середовищем вважається сипуча речовина, позбавлена будь-яких внутрішніх зв'язків. Авторами аналізується геометрія шнека, нахил до горизонту, досліджується рух по поверхні, кути заходу. Для забезпечення ковзання частинок ґрунту по шнековій поверхні, кут зміни кроку шнекової поверхні не повинен перевищувати кута ковзання ґрунту по сталі. В протилежному випадку буде відбуватись налипання ґрунту на руйнівний елемент, порушаться умови самообертання, з'являться мертві зони.

З точки зору різання ґрунту, кут заходу слід розглядати як кут різання. Косе різання забезпечує більш інтенсивний схід ґрунту і воно менш енергомістке [9]. А.Н. Зеленін вважає, що оптимальне значення кута різання лежить в межах $25-55^\circ$. Ю.А. Ветров експериментальним шляхом встановив, що збільшення кута різання від 40 до 60° призводить до зростання лобового опору вдвічі. З іншого боку (зменшення від 30° і нижче) зростає опір ґрунту. Тому оптимальним вважається кут різання в межах $30 - 40^\circ$.

Самообертання фрези розпушувача локальної дії забезпечується зустрічним потоком цільного ґрунту на частини руйнівних елементів, крок яких сталий. Безпосередньо розпушення ґрунту відбувається задньою частиною руйнівних елементів самообертової фрези. Обов'язковою умовою сколу ґрунту є переміщення певного шару з якнайменшим його ущільненням. Ряд авторів, дослідивши процес різання ґрунту відмічають, що важливим є відношення глибини (товщини) верхнього шару, що зрізається, до загальної глибини обробітку. Ю. А. Ветров [19] позначив відношення глибини тієї частини щілини, що розширюється з її повною глибиною щілини, як k_{60K} , середня величина якого становить $0,7 - 0,95$. В.Д. Телушкін, А.С. Селіванов

відмітили, що відношення ефективної глибини розпушення до глибини щілини ϵ , значення якого лежить в межах 0,6 - 0,8. Л.А. Хмара, Н.П. Колесник, В.П. Станевський визначили раціональні параметри робочих органів ступінчастого типу при послідовному розміщенні стійок розпушувача: відношення глибини рихлення передньої стійки до загальної глибини розпушення становить 0,5...0,6. С.В. Кравець, М.М. Карнаухов досліджували залежність довжини лемеша в перехідній зоні l_c від глибини розробки h_p для різних кутів різання і товщини ножа та розробили наступну розрахункову схему[2, 26]:

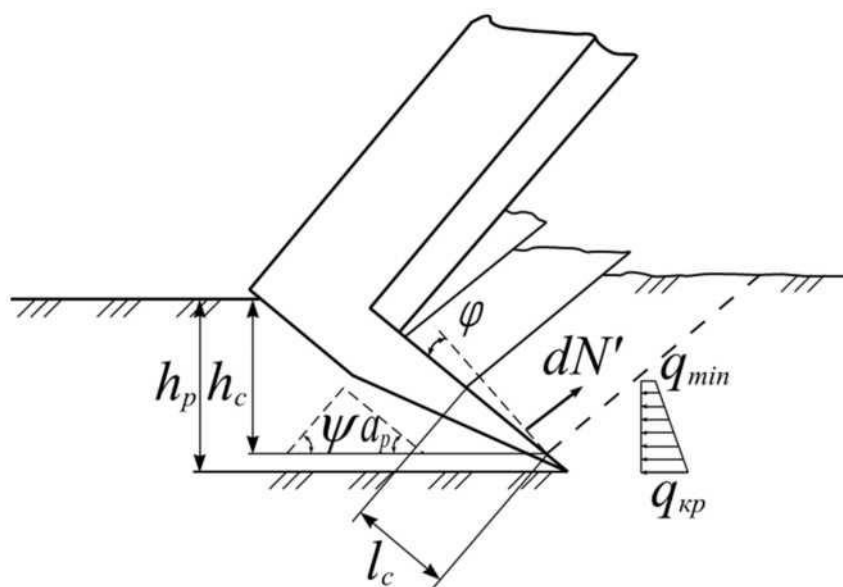


Рис. 1.11. Розрахункова схема для визначення довжини лемеша: h_p - глибина розробки ґрунту; a_p - кут різання ґрунту; ψ - кут зсуву ґрунту в поздовжній площині; l_c - довжина лемеша в зоні стружкоутворення; ϕ - кут зовнішнього тертя; dN' - активна сила; q_{min} - мінімальний тиск в зоні стружкоутворення, q_{kp} - критичний тиск

З наведеної схеми видно: активну силу dN' відхилено від нормалі лобової площини ножа на кут ϕ з метою врахування сил тертя не вводячи в схему їх вектори; епюра тиску має трикутну форму, а розташування рівнодійної буде у відповідності з [27], тобто, рівнодійна сила питомого тиску в такому випадку

знаходиться на відстані $1/3$ від початку епюри на яку припадає більше тиску. Авторами було виведено залежність довжини лемеша від глибини, кута різання та ширини ножа. Аналіз розрахунків показав, що із збільшенням глибини розробки l_c товщина елементів стружки і довжина лемеша зростають з деяким відхиленням від лінійного закону.

Процес руйнування ґрунту відповідає відомим схемам сколювання ґрунту, що розглядались вченими Т.В. Алексєєвою, Ю.А. Вєтровим, С.В. Кравцем. При цьому сили сколювання ґрунту визначаються за законом Кулона [36].

Схема розподілу тиску, що діє на ніж, має лінійний характер [2, 9, 6] спочатку зростаючою (від поверхневих ґрунтів до критичної глибини) до максимального значення і сталою в закритичній глибині, тобто епюра нормального тиску має вигляд трикутника або трапеції. У зоні пружно-пластичних деформацій нормальний тиск ґрунту на лобову поверхню ножа постійний і не залежить від геометричних параметрів ножа і дорівнює напруженню ґрунту під час його руйнування. В.І. Віноградов аналізуючи залежність питомого тиску від довжини лемеша, прийшов до висновку, що вона має майже геометричний характер, епюра тиску ґрунту на леміш має трикутну форму.

1.4 Висновки, мета і завдання дослідження

1. Сучасне будівництво лінійно-протяжних об'єктів, розуцільнення підорних шарів ґрунту вимагає створення ефективних глибинних розпушувачів локальної дії.
2. Раціональними є глибинні розпушувачі локальної дії з безприводними самообертливими фрезами.
3. Промислове освоєння розпушувачів із самообертливими фрезами на сьогоднішній день відсутнє.
4. Аналізом науково-технічної літератури встановлено, що

дослідженням процесів розпушення ґрунту присвячено багато наукових робіт. Проте не всі згадані процеси вивчені досконало. Ретельного дослідження потребують робочі процеси і параметри глибинного розпушувача локальної дії із самообертовими фрезами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- встановити основні закономірності процесу розпушування із залученням глибинного розпушувача із самообертовими фрезами;
- розробити математичні моделі та методику визначення параметрів самообертових фрез глибинних розпушувачів з врахуванням різних умов роботи обладнання і якості розпушення ґрунту на виході із фрези;
- обґрунтувати геометричні параметри самообертових фрез глибинного розпушувача;
- дослідити вплив робочого обладнання на ґрунтове середовище;
- розробити методику проектування та інженерного розрахунку, запроектувати і дослідити глибинний розпушувач із самообертовими фрезами.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГЛИБИННОГО РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ САМООБЕРТОВОЮ ФРЕЗОЮ

Основною метою викладених теоретичних досліджень є розробка математичних моделей для інженерного розрахунку при проектуванні глибинного розпушувача із самообертливими фрезами.

Крім того в розділі передбачається: обґрунтувати параметри самообертливої фрези, дослідити вплив основних факторів на параметри розпушувача.

2.1. Особливості процесу розпушення ґрунту глибинним розпушувачем із самообертливою фрезой

На основі аналізу конструкцій робочих органів розпушувачів та процесу глибинного розпушення [2, 9, 20] пропонується конструкція глибинного розпушувача (рис. 2.1.).

Він включає щілиноріз 1, з товщиною h^* , шириною l_0 , кутом загострення робочої грані ψ , глибиною обробітку H і робочий орган якого складається із дренера 2 діаметром d до якого кріпиться, з можливістю обертання, самообертлива фреза 3, тіло обертання якої дає діаметр D . Сама фреза складається із циліндричного тіла до якого жорстко кріпляться руйнівні елементи, товщина яких k , кількість z . Кожен руйнівний елемент виконано у вигляді гвинтової поверхні, крок якої збільшується в напрямку, протилежному до напрямку руху, на величину, що визначається кутом між дотичними в початковій і кінцевій точках розвертки поверхні. Причому останній, не перевищує кута ковзання частинок ґрунту по поверхні, а її довжина є частиною кроку решітки профілів по зовнішньому діаметру тіла, що приходить на зміну кроку, а її відношення до повного кроку, в найбільш поширених ґрунтах становить 0,25...0,3 [2, 26]. Крім того ніж щілиноріза, дронер і самообертливу фрезу виконано за розмірами при яких добуток різниці

площі перерізу тіла обертання розпушувача $S_{об}$ (рис 2.2) та проекції на неї ножа і дренера $S_{пр}$ з коефіцієнтом об'ємного розпушення [37] k_p рівний площі перерізу тіла обертання розпушувача $S_{об}$, тобто

$$(S_{об} - S_{пр}) \cdot k_p = S_{пр} \quad (2.1)$$

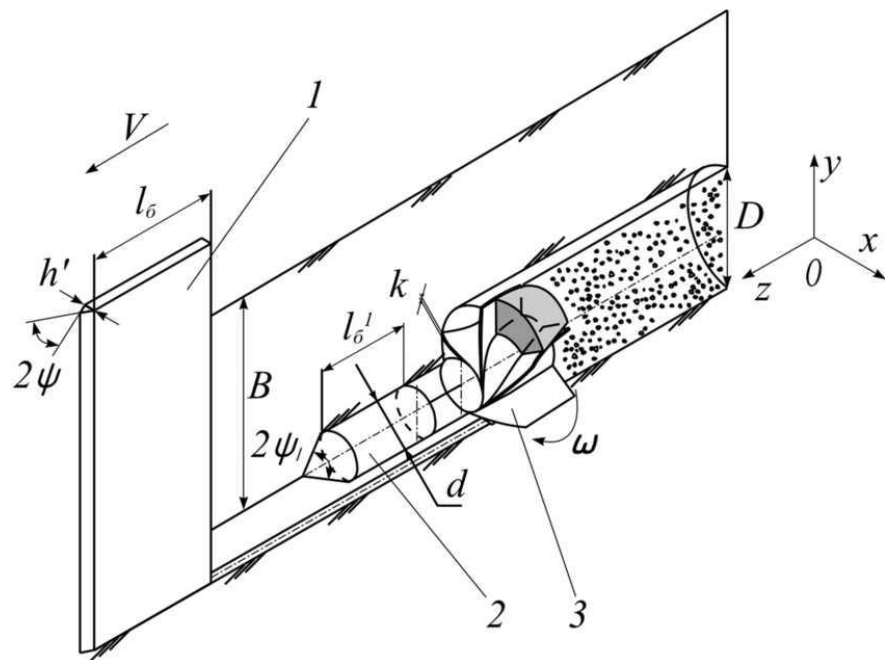


Рис.2.1. Глибинний розпушувач із самообертливими фрезами [37]: 1 - ніж щілиноріза; 2 - дренер; 3 - самообертлива фреза

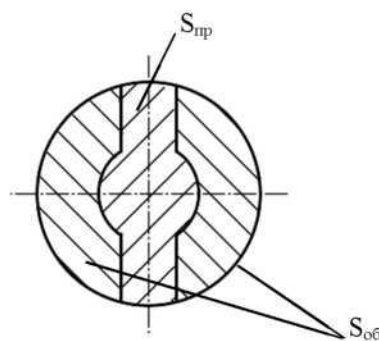


Рис. 2.2. Переріз тіла обертання фрези з проекціями на нього щілиноріза та дренера: $S_{пр}$ - площа проекцій ножа щілиноріза та дренера; $S_{об}$ - площа перерізу ґрунту в межах тіла обертання фрези

В якості вихідних передумов наведених досліджень покладено:

1. Ґрунт - однорідне ізотропне середовище, яке характеризується зчепленням, внутрішнім та зовнішнім тертям, щільністю та вологістю.
2. Тіло сколу розглядається як тверде тіло у вигляді складного об'ємного фрагменту сегмента циліндра.
3. Впливом швидкості різання та силою тяжіння ґрунту на опір переміщенню розпушувача нехтуємо (швидкість різання не перевищує 2м/с).
4. Закон розподілу нормального тиску по площині руйнівного елемента прийнято лінійний зі зменшенням в сторону осі обертання фрези та в сторону, протилежну напрямку руху останньої до нуля, а точка прикладання сили сколювання ґрунту лежить на відстані $1/3$ ширини сколювальної поверхні руйнівного елемента з боку вільного кінця і $1/3$ проекції розгортки напрямної лінії прикладання сили сколювання на напрямок руху елемента [2, 9, 10, 19, 37].

Таким чином, змінюючи геометричні параметри ножа щілиноріза, дренера і самообертової фрези є можливість отримувати на виході із фрези ґрунт з певним, заданим на початку виготовлення фрези, коефіцієнтом об'ємного розпушення k_p .

Принцип дії глибинного розпушувача полягає в наступному. При поступальному русі ножом щілиноріза 1 і дреном 2 в ґрунті утворюється порожнина. За дреном рухається самообертова фреза 3, яка під дією тиску з боку зустрічного потоку ґрунту обертається. При цьому ґрунт, який знаходиться в межах тіла обертання фрези поділяється на сегментні потоки і на сколювальній частині руйнівного елемента подрібнюється та укладається в об'єм порожнини [1].

Окремим випадком є виконання робочого органа розпушувача з можливістю подачі в зону глибинного розпушення рідкого меліоранта (меліоративного чулка) і дане обладнання призначене для збільшення навколодренної площі.

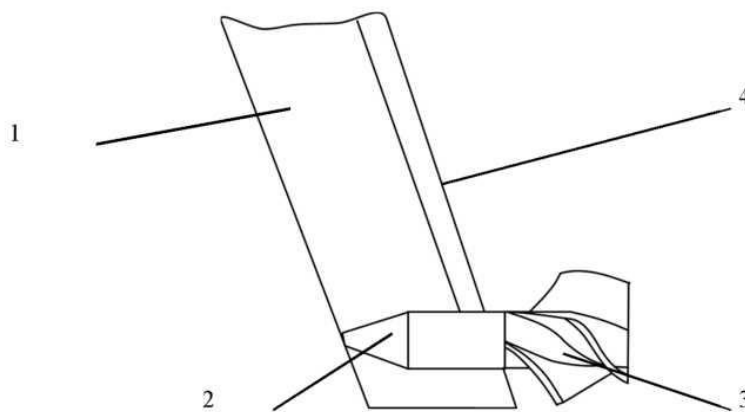


Рис.2.3. Глибинний розпушувач з конструкцією, що передбачає внесення в зону розпушення ґрунту рідкого меліоранта

Такий глибинний розпушувач (рис 2.3.) складається із щілиноріза 1 до якого жорстко приєднано дреноер 2. Співвісно з дреноером кріпиться самообертова фреза 3. Рідкий меліорант транспортується через трубку 4, що розташована на ножі, до порожнини всередині самообертОВОї фрези.

Прокладання протиерозійної системи ведеться з похилом, що не повинен перевищувати 0,02 м [2, 6, 30].

Швидкість поступального руху робочого органу і, відповідно швидкість розробки ґрунту, не повинна перевищувати 2 м/с.

Розпушення ґрунту ведеться в ґрунтах I...III категорії на території України, (на глибині 0,5 - 1,5 м. від денної поверхні) де найбільш поширеними є [2, 18, 28] суглинисті, глинисті та супіщані ґрунти з числом ударів щільноміра $C_{уд} = 5.15$. Інтервал по їх природній вологості знаходиться в межах 10.15 % для супісків, 15.25 % для суглинків, 25.35 % для глини. Відповідно для наведених ґрунтів коефіцієнт консистенції буде становити: для супіску - $0,3 < B_k < 0,2$; для суглинку - $0,2 < B_k < 0,4$; для глини $0 < B_k < 0,5$ [2, 18, 30]. Ґрунти на об'єктах, що підлягають глибинному розпушенню часто змінюються за глибиною і по площі.

Характеристики основних типів ґрунту, що відносяться по важкості розробки до II.III категорії

В подальших дослідженнях приймемо, що робоче середовище однорідне і характеризується кутами внутрішнього і зовнішнього тертя, зчепленням. Робоча швидкість різання не перевищує 2 м/с, тому на процес різання вона не впливає.

2.2. Обґрунтування параметрів тіла сколу ґрунту ґрунторуйнівним елементом самообертової фрези глибинного розпушувача

Кінематичний та динамічний аналіз роботи самообертової фрези з поздовжньою віссю обертання вимагає знань процесу і параметрів тіла руйнування.

Частіше шнекова поверхня зустрічається, як транспортуюча сипучих та рідких речовин. Ряд вчених займались математичним аналізом шнекової поверхні [3, 5, 11, 23, 37], ротаційних робочих органів [33, 19]. Аналізувався рух точки по шнековій поверхні, як горизонтальної, так і розміщеної під кутом, виконувалась розгортка поверхні.

Відомо, що самообертюва фреза руйнує ґрунт в межах свого тіла обертання, розділяючи при цьому дане тіло на сегменти, що відповідає кількості руйнівних елементів z і подрібнюючи ці сегменти на виході з фрези. Тіло сколу ґрунту набуває вигляду складного об'ємного фрагменту сегмента циліндра (рис. 2.4).

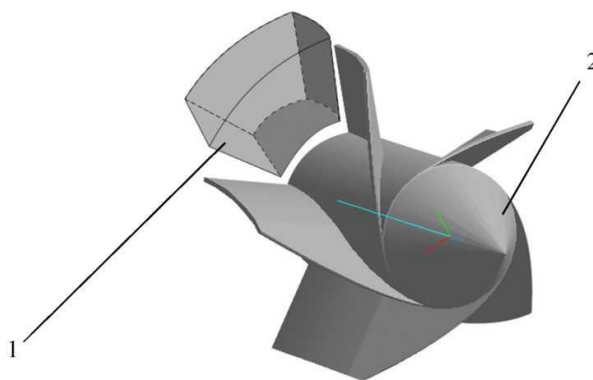


Рис. 2.4. Утворення тіла сколу самообертювою фрезою [37]:

1 - тіло сколу; 2 - самообертюва фреза.

З метою запобігання від формування застійних зон на руйнівних елементах і відповідно налипанню на них ґрунту, очевидним є факт, що в точках переходу до зміни кроку шнекової поверхні подвійна похідна функції, що описує розвертку гвинтової поверхні, повинна бути рівною нулю.

Проведений аналіз геометрії тіла сколу ґрунту з детальним визначенням його основних площ дозволяє виконати силовий аналіз процесів відокремлення тіла від цілика ґрунту.

2.3 Дослідження оптимального числа руйнівних елементів самообертової фрези

Якість руйнування ґрунту в межах тіла обертання фрези майже не змінюється при вільному сколюванні. При цьому сила опору визначається як сума опорів окремих руйнівних елементів.

Руйнівні елементи під час врізування в ґрунт поділяють масив ґрунту, що знаходиться в межах тіла обертання фрези на однакові сегменти. Схему сил, що діють на різальну кромку руйнівного елемента представимо у вигляді рис. 2.5.

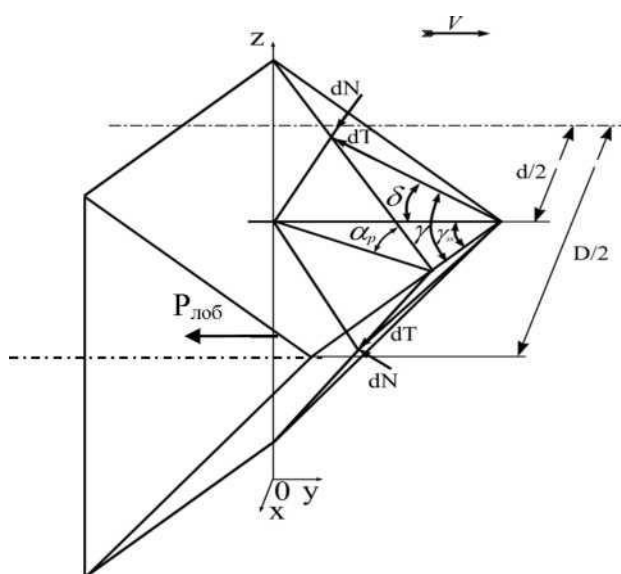


Рис.2.5. Схема до визначення лобової сили

Для визначення активної сили сколювання ґрунту на основі відомих досліджень [3, 6, 20, 18, 28] покладемо, що точка її прикладання лежить на відстані $1/3$ ширини сколювальної поверхні руйнівного елемента з боку вільного кінця і $1/3$ проекції розгортки напрямної лінії прикладання сили сколювання на напрямок руху елемента (рис. 2.6., а, б). Ця сила відхилена від нормалі поверхні вперед на кут φ і визначається силами сколювання по лобовій поверхні і боковій.

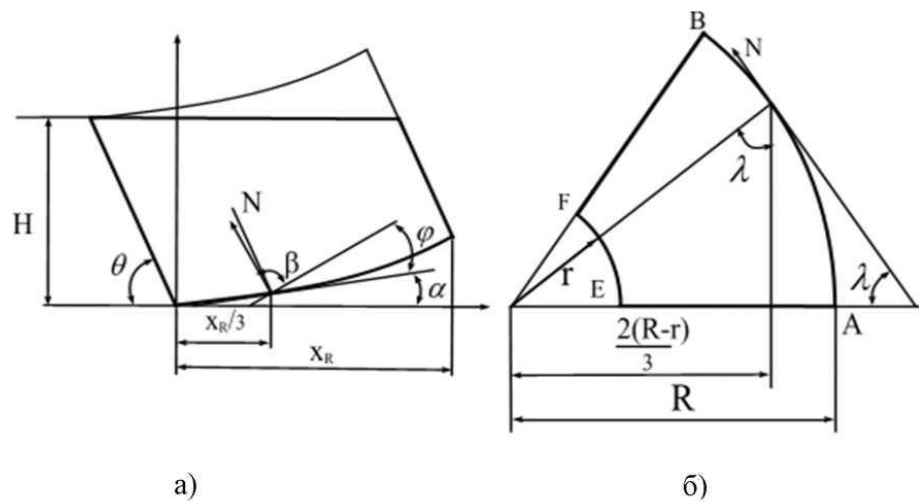


Рис. 2.6. Схема прикладання сил сколювання: а - лобової сили сколювання; б - бокової сили сколювання

Дослідження другої похідної виразу (2.2) показало, що вона, в межах реальних значень, завжди додатня. Тому екстремум (2.3) при реальних значеннях його складових мінімізує функцію (2.42). Таким чином вираз (2.3) з підстановкою у вираз (2.4) придатний для визначення раціонального числа руйнівних елементів, необхідних на одній самообертовій фрезі глибинного

$$W = \left[\frac{P_{\text{лоб}} \cdot \sin \theta}{H} + A_1 \cdot A_2 + \frac{1,205 \cdot c \cdot \sin \lambda \cdot A_2 \cdot H^{2,168}}{A_3} \right] \cdot A_3, \quad (2.2)$$

$$A_4 = \left[1 + \frac{\cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \alpha_p \cdot \sin \gamma_{\text{зв}}} \right];$$

$$H = 2.1683 \sqrt{\frac{q \cdot k \cdot (D - d) \cdot A_4 \cdot (\sin \beta - \sin \beta \cdot \cos \lambda \cdot \sin \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{1,40757 \cdot c \cdot \sin \lambda \cdot (2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha + \cos \varphi \cdot \sin \alpha)}} \quad (2.3)$$

$$z = \frac{L \cdot \sin \theta}{H}. \quad (2.4)$$

Висновки

В результаті теоретичних досліджень доведено існування раціональної кількості руйнівних елементів, яка забезпечує найменший опір переміщення фрези.

Опір переміщенню фрези залежить від фізико - механічних характеристик ґрунту, діаметра фрези, товщини і кількості її руйнівних елементів, а раціональне значення останньої визначається діаметром фрези та товщиною руйнівних елементів і практично не залежить від фізико-механічних характеристик ґрунтів.

Для діаметрів тіла обертання фрези 0,17 - 0,3 м. оптимальна кількість руйнівних елементів останньої змінюється від 4 до, а опір переміщенню фрези для різних ґрунтів змінюється в межах 8 - 19 кН.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є: вивчення фізичної суті процесу глибинного розпушення самообертовими фрезами.

Експериментальні дослідження включали лабораторно - стендові дослідження і лабораторно - польові випробування.

Метою проведення лабораторно - стендових досліджень було:

- отримання основних характеристик ґрунту (вологість, тип та категорія ґрунту);
- визначення коефіцієнтів об'ємного розпушення ґрунтів при їх обробітку різними фрезами;
- вивчення фізичної суті розпушення ґрунту в підорних шарах;
- підбір та аналіз раціональних параметрів самообертових фрез глибинного розпушувача;
- визначення коефіцієнта об'ємного розпушення, порівняння його з прогнозованим;
- дослідження процесу самообертання фрези в ґрунтах різних категорій.

Об'єктами досліджень були: робоче обладнання глибинного розпушувача з набором самообертових фрез з різною кількістю руйнівних елементів. Геометричні параметри щілиноріза, дренажа і кожної самообертової фрези підібрано так, щоб значення розрахункового коефіцієнта об'ємного розпушення k_p лежало в межах [9, 10, 11, 13, 37].

3.2 Процеси руйнування ґрунту глибинним розпушувачем локальної дії із самообертовими фрезами

Спостереженням за роботою розпушувача на ґрунтовому каналі розкрито фізичну суть процесів руйнування ґрунту. При переміщенні розпушувача, вертикальним ножем ґрунт розрізується, формується

вертикальна щілина. Дренером формується отвір діаметром, що відповідає діаметру дренера. При цьому ґрунт витіснений конусом дренера втискається в ґрунтовий масив розташований навколо сформованого отвору. Ґрунт в масиві ущільнюється на діаметр, що складає 1,3 - 1,5 діаметра дренера [9, 20, 37].

Об'єм ґрунту в межах тіла обертання фрези зменшується. При цьому змінюється структура ґрунту в напрямку зменшення пористості, частково порушуються сталі ґрунтові зв'язки. В подальшому по новому структурований ґрунт руйнується фрезою, укладається в межах вільного простору тіла обертання фрези. Відбувається повторна зміна структури ґрунту.



Рис.3.1. Самообертюва фреза з встановленим кінцевим вимикачем
Дослідами встановлено зв'язок між кількістю ґрунторуйнівних елементів і процесом руйнування ґрунту фрезою.

Так, при виконанні фрез з трьома ґрунторуйнівними елементами чітко проглядалась картина (рис. 3.2) формування в межах тіла обертання фрези ґрунтової поверхні, що свідчить про неповне руйнування ґрунту.



Рис. 3.2. Слід самообертювої фрези в цілику ґрунту (ґрунт, що був розпушений - видалено)

При цьому відбувається витискання ґрунту ґрунторуйнівними елементами з обмеженого простору тіла обертання. Ґрунт руйнується шляхом його стиснення. Таке виконання фрези не є раціональним і призводить до зниження рівня якості процесу і непродуктивних витрат енергії. Тому фрези повинні бути виконані з такою кількістю ґрунторуйнівних елементів, яка б забезпечувала повне руйнування ґрунту в межах тіла обертання фрези вільним сколюванням.

Дослідженнями процесів сколювання ґрунту отримано співвідношення параметрів решітки профілів фрези, яке забезпечує гарантоване сколювання. Для більшості ґрунтових умов відношення частини кроку решітки профілів по зовнішньому діаметру тіла обертання фрези, що приходить на зміну кроку до повного кроку складає $0,25 \dots 0,3$, що відповідає відомим дослідженням [2, 15] руйнування ґрунтів сколюванням.

3.3 Результати лабораторно-стендових досліджень опору переміщення самообертової фрези та глибинного розпушувача локальної дії

Лабораторно-стендові випробування на ґрунтовому каналі кафедри показали, що процес розпушення відбувається без динамічних навантажень та різких перепадів зусилля опору переміщення глибинного розпушувача локальної дії (рис.3.3).

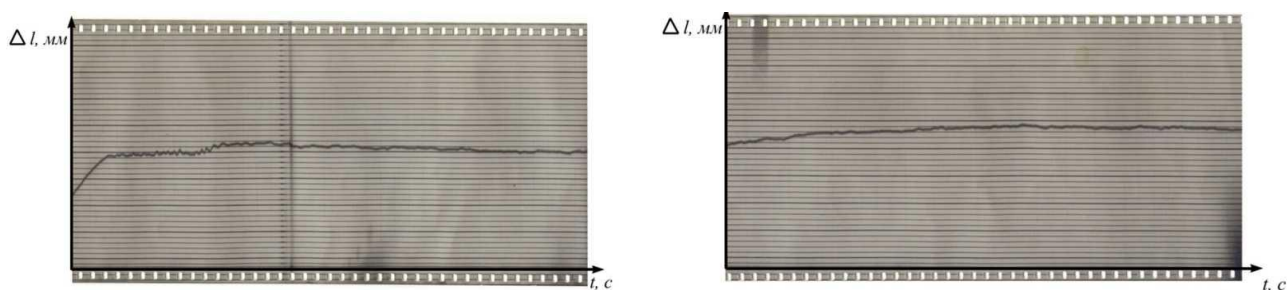


Рис. 3.3. Осцилограми тягових випробувань самообертової фрези глибинного розпушувача локальної дії



Рис.3.4. Процес входження дренера і самообертової фрези в цілик ґрунту: 1 - тензометричний візок; 2 - дронер; 3 - самообертова фреза

Опір переміщення розпушувача в ґрунті розподіляється між фрезою, дреном і ножем відповідно 40 %, 28 %, 32 % для глибини обробітку 0,55 м.

Ґрунт на виході з фрези розподіляється по всьому тілу самообертання фрези і, в межах даного об'єму, має сталу пористість. Якщо глибина обробітку не перевищувала критичну, або площа самообертання фрези перекривала її приблизно на третину, то спостерігалось піднімання дренера і фрези назовні. Фреза працює рівномірно, без ривків і ударів. Для запобігання втрати фрези в ґрунті, захід з'єднувальних різьб та шнекової поверхні руйнівних елементів виконано в одну сторону [15, 19, 29].

Дослідження проводились на самообертючих фрезах з різним числом ґрунторуйнівних елементів та різною їх товщиною.

Узагальнений графік побудований за результатами експериментальних досліджень представлено на рисунку 3.5.

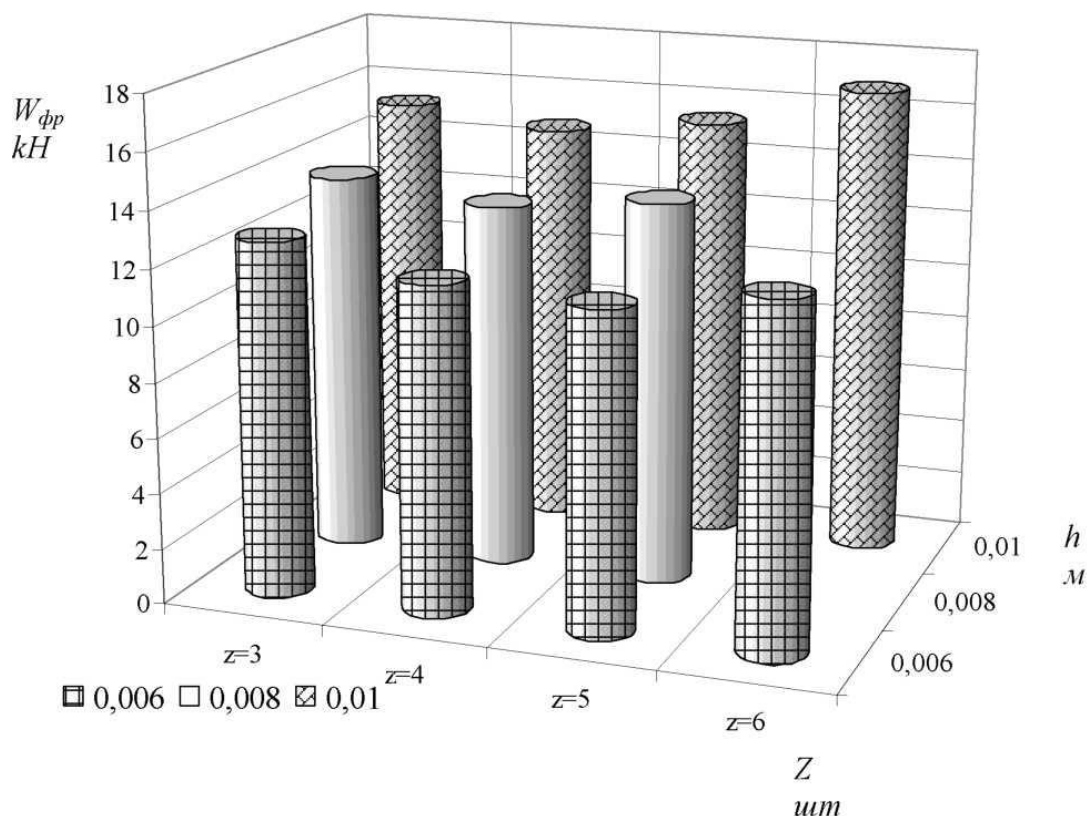


Рис3.5. Залежності опору переміщення глибинного розпушувача від числа руйнівних елементів самообертової фрези та від їх товщини

Дослідження залежності опору переміщенню глибинного розпушувача від товщини руйнівного елемента фрези проводились на ґрунтовому каналі. Основні параметри піддослідного глибинного розпушувача локальної дії та ґрунтового середовища які не підлягали зміненню під час досліджень: діаметр дрена 0,108 м, діаметр тіла обертання фрези 0,248 м, ґрунт - напівтвердий суглинок.

З метою більш детального аналізу параметрів, залучених в гістограмі (рис.3.5) розглянемо їх, як окремі гістограми. Подальші дослідження проводились з метою визначення оптимального числа руйнівних елементів самообертової фрези z , при яких опір переміщенню, як глибинного розпушувача, так і самообертової фрези був мінімальним.

Як видно з графіка (рис. 3.6) існує оптимальне число руйнівних елементів самообертової фрези. Так для фрез з товщиною лопаті 0,006 м

оптимальною кількістю руйнівних елементів є $z = 5$, а для товщини лопаті 0,01 м, відповідно $z = 4$.

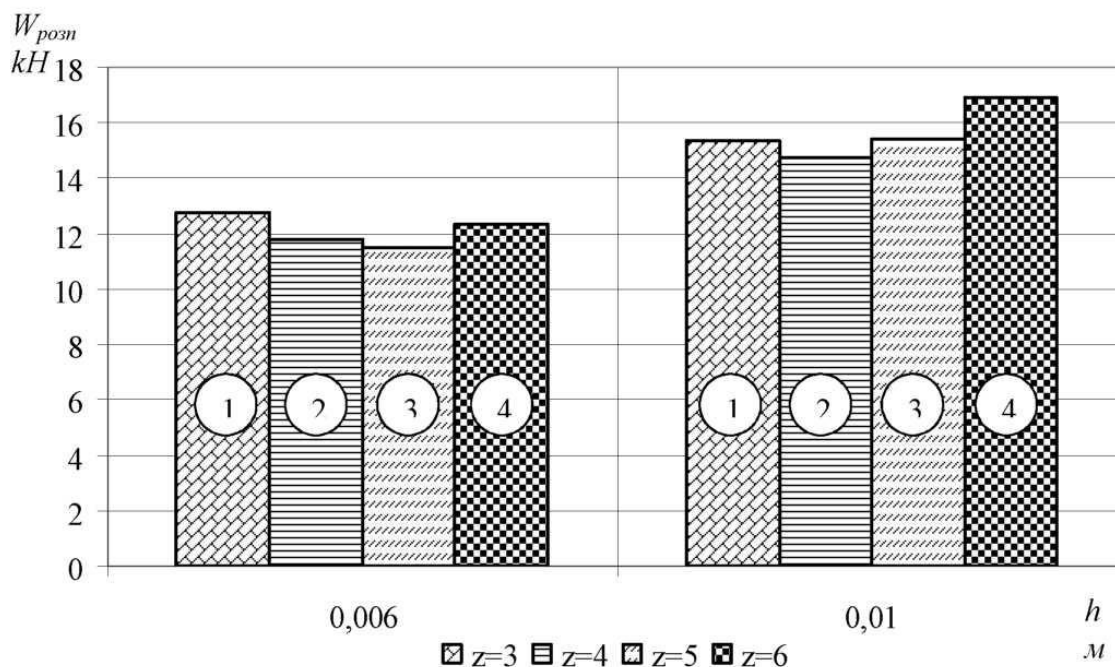


Рис. 3.6. Залежності тягового опору розпушувача локальної дії від товщини руйнівних елементів самооберткових фрез з різним числом руйнівних елементів:

1 - кількість руйнівних елементів фрези 3; 2 - кількість руйнівних елементів фрези 4; 3 - кількість руйнівних елементів фрези 5; 4 - кількість руйнівних елементів фрези 6

Зрозумілим є те, що зі збільшенням товщини руйнівних елементів, росте тяговий опір переміщенню розпушувача. Також було встановлено, що товщина руйнівних елементів фрези впливає на необхідну їх кількість для отримання оптимального тягового зусилля переміщення самообертової фрези, що видно з гістограм [29].

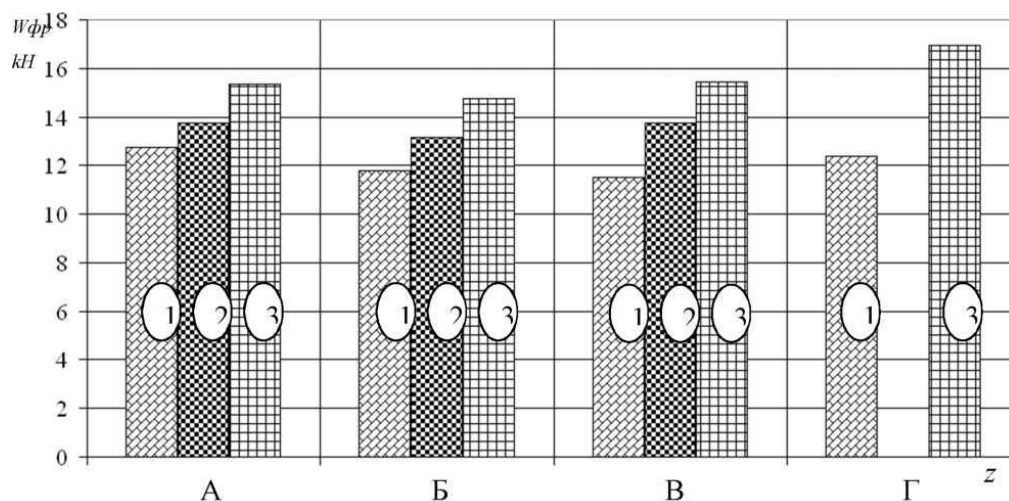


Рис. 3.7. Залежності тягового опору розпушувача локальної дії від кількості руйнівних елементів самообертових фрез

А - кількість руйнівних елементів $z = 3$; Б - кількість руйнівних елементів $z = 4$; В - кількість руйнівних елементів $z = 5$; Г - кількість руйнівних елементів $z = 6$;

1 - товщина руйнівних елементів самообертової фрези 0,006; 2 - товщина руйнівних елементів самообертової фрези 0,008; 3 - товщина руйнівних елементів самообертової фрези 0,01

Висновки до розділу

- зі зменшенням кута заходу руйнівного елемента, опір переміщенню фрези збільшується;
- товщина руйнівних елементів самообертової фрези є одним із факторів, від яких залежить кількість руйнівних елементів самообертової фрези, необхідних для оптимального опору її переміщенню;
- . діаметр тіла обертання фрези та діаметр дренажа підбирається з міркувань технології виконання операції локального розпушення, а глибина обробітку не впливає на опір переміщенню самообертової фрези.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

СУОП організовують таким чином, щоб здійснювалось адекватне та постійне управління з урахуванням усіх факторів, що впливають на стан охорони праці, і орієнтують на проведення запобіжних дій, що унеможливають виникнення небезпечних ситуацій, але при цьому, у випадку їх виникнення, вона повинна своєчасно реагувати та усувати небезпеки. На підприємствах, в організаціях, де запроваджено СОУП, потрібно регулярно визначати загрози для працюючих та проводити відповідні профілактичні заходи щодо їх запобігання [38].

4.1 Характеристика і аналіз небезпечних та шкідливих факторів, які можуть виникнути під час меліоративних робіт з ґрунтом

«Сучасне сільське господарство ґрунтується на застосуванні високопродуктивної техніки. Обробіток ґрунту є важливим та трудомістким процесом. Як правило, розпушування ґрунту пов'язане з утворенням пилу, природа якого непостійна і залежить від метеорологічних умов, пори року, виду робіт та типу ґрунту. Концентрація пилу в кабіні трактора може змінюватися до декількох сотень мг, залежно від конструкції кабіни, перевищує допустимий рівень концентрації приблизно в 60-65% випадків.» «Обробіток ґрунту складається з енергоємних операцій, особливо в період оранки, потребує мобілізації великих енергетичних ресурсів машин та супроводжується значним шумом у кабіні трактора. Рівень шуму сягає 85-90 дБ і від, створюючи значні загрози порушення слуху у працівників. Як правило, рівні вібрації всього корпусу та на сидінні оператора дуже високі і перевищують стандарти.» «Підготовка ґрунту проводиться в основному навесні та восени, тому мікроклімат у кабінах без кондиціонування повітря не пов'язаний із ризиками для здоров'я працівників, за винятком спекотних днів.» [39].

4.2 Розробка організаційно-технічних заходів по забезпеченню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці на машині для меліоративних робіт з ґрунтом

«Таким чином, для покращення умов праці необхідно оснащувати кабіни механізмів віброгасниками, кондиціонерами, шумопоглинаючими пристроями і робити їх у пиленепроникному виконанні.» [39]

4.3 Моделювання небезпечних ситуацій під час роботи з машиною для меліоративних робіт з ґрунтом

Отже, проаналізувавши та виявивши небезпечні зони (додаток А рис. 8) можна змодельовати виникнення небезпечних умов, а в подальшому і ситуацій при недотриманні хоча б однієї з вище перерахованих вимог. Наприклад розглянемо по одній небезпечній умові, що може виникнути в кожній небезпечній зоні [8, 39] (додаток А рис. 8).

Небезпечна умова один НУ1 – надлишковий тиск у гідросистемі. НУ2 – машина знаходиться у відчепленому стані поза майданчиком. НУ3 – розкидач пофарбований в темні кольори. НУ4 – працівник не провів ТО у встановлений строк. НУ5 – рухомі частини агрегату не захищені. НУ6 – механізатор не пройшов інструктаж перед початком робіт. НУ7 – нехтування вимогами виробничої санітарії [8, 39].

Наведені вище небезпечні умови при поєднанні з небезпечними діями працівника можуть призвести до виникнення небезпечних ситуацій, а в подальшому і до отруєнь, аварій, травм чи захворювання. Так, НД1 – працівник знаходиться поблизу гідросистеми. НД2 – навіска агрегатів до трактора. НД3 – працівник не розрахував габарити МТА. НД4 – налагодження чи проведення технічного огляду МТА. НД5 – робота без засобів індивідуального захисту. НС1 – порив магістралей гідросистеми. НС2 – падіння агрегатів при під'єднанні до трактору. НС3 – наїзд на працівника. НС4 – травмування

працівника при налагодженні агрегату. НС5 – зоонозні захворювання можуть потрапити організм працівника [8, 39].

Для попередження виникнення аварій, травм, отруєнь чи захворювання необхідно дотримуватись всіх вимог безпеки в усіх небезпечних зонах, так як порушення хоч однієї з них в кінцевому результаті може призвести до небажаних наслідків [8, 39].

Висновки

Незалежно від обсягу виробництва та чисельності працівників власник повинен усвідомлювати необхідність створення безпечних і здорових умов праці з метою уникнення нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань у встановленому законодавством порядку [40, 41]. Ефективними заходами профілактики виробничого травматизму у фермерських господарствах, які не вимагають від керівників значних фінансових, трудових та матеріальних витрат можуть стати: посилення трудової та виробничої дисципліни; належна організація проведення відповідних інструктажів, навчання та перевірка знань із питань охорони праці; проведення попередніх та періодичних медичних оглядів працівників; забезпечення працівників відповідними засобами індивідуального захисту. Дані заходи сприятимуть збереженню життя і здоров'я працюючих, зменшенню матеріальних та моральних збитків [41].

РОЗДІЛ 5

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ РОЗПУШУВАЧА ЛОКАЛЬНОЇ ДІЇ ІЗ САМООБЕРТОВИМИ ФРЕЗАМИ

Методику розроблено на основі досліджень з метою визначення основних параметрів глибинного розпушувача із самооберткових фрезами і тягового опору, необхідного для його переміщення. Основні елементи методики викладено у наукових працях [9, 11, 34, 37].

5.1 Вибір вихідних даних для розрахунку

Для проведення даного розрахунку необхідно встановити фізико - механічні показники ґрунтів по визначених за відомою методикою [49] типу та вологості ґрунту. Після чого, знаючи природну вологість ґрунту та використовуючи кореляційні залежності [1] визначається число пластичності та межа текучості ґрунту

$$\begin{aligned}w_{\pi} &= w - 8 \\w_m &= 14,8 + 1,2 \cdot w_{\pi}\end{aligned}\tag{5.1}$$

Далі за числом пластичності та межею текучості визначається межа розкачування та показник консистенції ґрунту

$$\begin{aligned}w_p &= w_m - w_{\pi} \\B_{\kappa} &= \frac{w - w_p}{w_{\pi}}\end{aligned}\tag{5.2}$$

Використовуючи коефіцієнт консистенції вибирається, для відповідного

типу ґрунту, з таблиць [1, 9, 18, 30] числові значення коефіцієнта щеплення, кутів внутрішнього та зовнішнього тертя і питома сила тяжіння. Для суглинистих ґрунтів твердої та напівтвердої консистенції і глинистих - тугопластичної та напівтвердої консистенції значення показників наведені.

Мінімальний тиск згідно [3] визначаємо

$$q_0 = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi (A_1 - 1) \quad (5.3)$$

Критичний тиск визначаємо [93]

$$q_{кр} = \frac{c_0}{\operatorname{tg} \varphi_0} \left[e^{\pi \operatorname{tg} \varphi_0} \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45 + \frac{\varphi_0}{2} \right) - 1 \right]. \quad (5.4)$$

Тиск при дійсному куті захвату визначається

$$q_{\gamma} = q_{\gamma_0} \cdot \left(1 - \frac{k_{\gamma}}{\operatorname{tg} \gamma} \right). \quad (5.5)$$

Геометричні параметри щілиноріза h , B , l_0 підбираються з врахуванням кріплення до базової машини та технологічних умов проведення локального розпушення.

Для досягнення певного коефіцієнта об'ємного розпушення k_p необхідно зробити співвідношення площі тіла обертання фрези та площі порожнини, утвореної дреномером та ножом щілиноріза.

$$\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4} + h^* \cdot B \right) \right) \cdot k_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4}. \quad (5.6)$$

Користуючись (5.6) підбираються D , d .

$$D = \frac{4 \cdot k_p}{k_p - 1} \cdot \frac{\pi \cdot d^2 + h^* \cdot B}{\pi} \quad (5.7)$$

Оптимальне число руйнівних елементів самообертової фрези визначається за формулою:

$$A_4 = \left[1 + \frac{\cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \alpha_p \cdot \sin \gamma_{\varphi \delta}} \right]$$

$$z = \frac{L \cdot \sin \theta}{\sqrt[2.1683]{q \cdot k \cdot (D - d) \cdot A_4 \cdot (\sin \beta - \sin \beta \cdot \cos \lambda \cdot \sin \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \cdot 1,40757 \cdot c \cdot \sin \lambda \cdot (2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha + \cos \varphi \cdot \sin \alpha)}} \quad (5.8)$$

5.3 Методика розрахунку параметрів і тягового опру робочого обладнання глибинного розпушувача

Загальний опір переміщенню глибинного розпушувача буде складатись з опору переміщенню фрези, дренаера та щілиноріза, тобто:

$$W_{за.} = W_n + W_{др} + W_{фр} \quad (5.9)$$

Опір переміщенню самообертової фрези глибинного розпушувача

При врізанні руйнівного елемента в ґрунт виникає лобова сила опору врізанню - $P_{лоб}$; сила тертя шнекової поверхні зі сталим кроком по фрунту - $N_1 \cos \alpha \sin \varphi$; сила тертя, що виникає внаслідок притискання елемента до ґрунту силою опору руйнівному елементу - $W \cos \theta \operatorname{tg} \varphi$ та сума проекцій рівнодійної сили сколу N_1 на слід шнекової поверхні зі сталим кроком - $N_1 \cos \alpha \sin \varphi + N \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha$ [26, 29, 30, 39].

Лобова сила опору переміщенню руйнівних елементів в ґрунті визначається за формулою:

$$P_{\text{доб}} = q \cdot k \cdot (D - d) \cdot \left[1 + \frac{\cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \alpha_p \cdot \sin \gamma_{xx}} \right]. \quad (5.10)$$

Рівнодійна сил, що протидіють сколу ґрунту визначається за формулою:

$$N_1 = \frac{c \cdot S_{\text{доб}} + c \cdot S_{\text{бок}} \cdot \sin \lambda}{\sin \beta - \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta \cdot \cos \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \lambda}. \quad (5.11)$$

Опір переміщенню кожного руйнівного елемента самообертової фрези:

$$W = \frac{P_{\text{доб}} \cdot \sin \theta + N_1 \cdot \sin \theta \cdot (2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha + \cos \varphi \cdot \sin \alpha)}{1 - \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (5.12)$$

Підставивши (5.10), (5.11) у (5.12), розклавши для спрощення виразу на складові, отримаємо сумарний опір переміщенню фрези з врахуванням кількості руйнівних елементів

$$A = q \cdot k \cdot (D - d) \cdot \left[1 + \frac{\cos \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \alpha_p \cdot \sin \gamma_{\delta\theta}} \right] \cdot \sin \theta$$

$$B = \frac{\left(c \cdot F_{\text{доб}} \cdot \frac{H}{L \cdot \sin \theta} + c \cdot F_{\text{бок}} \cdot \sin \lambda \right) \cdot \sin \theta \cdot (2 \cdot \sin \varphi \cdot \cos \alpha + \cos \varphi \cdot \sin \alpha)}{\sin \beta_1 - \cos \beta_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi - \sin \beta \cdot \cos \lambda \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \lambda}$$

$$W_{\text{фр}} = \frac{A + B}{1 - \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{L \cdot \sin \theta}{H}.$$

(5.13)

Висновки до розділу

Розрахунок опору переміщенню розпушувача дозволяє виконати підбір базової машини.

Порівняння значень, отриманих під час експериментів з розрахунковими даними дало високу збіжність.

Визначено оптимальні значення кількості руйнівних елементів самооберткових фрез глибинного розпушувача локальної дії для різних ґрунтів.

Опір переміщенню розпушувача в ґрунті розподіляється між фрезою, дренаром і ножем, відповідно 40 %, 28 %, 32 % для глибини обробітку 0,55м. Для глибини 1 м цей розподіл становить 32 %, 22 %, 46 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблений глибинний розпушувач локальної дії роботоздатний на будь-якій заданій глибині в ґрунтах I - III категорій. Руйнування ґрунту розпушувачем здійснюється при формуванні щілини розрізним ножом з наступним утворенням отвору шляхом ущільнення ґрунту дреном в межах 1,3 - 1,5 діаметра останнього. Після розпушування ґрунту фрезою, він в ново структурованому вигляді укладається в межах тіла обертання фрези.

2. Раціональні кути заходу руйнівних елементів самообертової фрези складають $65 - 75^{\circ}$.

3. Гарантоване сколювання ґрунту руйнівним елементом забезпечується при співвідношенні частини кроку решітки профілів по зовнішньому діаметру тіла обертання, що приходить на зміну кроку поверхні до повного кроку решітки профілів складає 0,25.0,3.

4. Опір переміщенню фрези залежить від фізико - механічних характеристик ґрунту, діаметра фрези, товщини і кількості її руйнівних елементів, а раціональне значення останньої визначається діаметром фрези та товщиною руйнівних елементів і практично не залежить від фізико-механічних характеристик ґрунтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Posmituha O. Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil [Electronic resource] / Posmituha O., Kravets S., Suponyev V., Glavatsky K. // MATEC Web of Conferences. – ransbud-2018, Kharkiv, Ukraine, November 14–16, 2018. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823001011>.
2. Кравець С. В. Грунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. (Основи теорії, проектування та створення) / С.В. Кравець. - Рівне :Вид-во РДТУ,1999.-278с. (Навч. посіб. Для студ. спец. "Підйомно - транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання".
3. Кравець С.В. Розробка і створення багатоярусних грунтозахисних безтраншейних укладачів різного призначення: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук: спец. 05.05.04 "Машини для земляних і дорожніх машин" / С.В. Кравець. – Київ, 1996. –42с.
4. Романовський О.Л. До питання про тиск ґрунту на лемеші багатоярусного землерийного робочого органа агро меліоративного агрегату /О.Л. Романовський // Тез.наук.конф. УПВГ. – 70 років. – 1992. – с.32.
5. Нечидюк А.А. Розробка і дослідження двох'ярусного безтраншейного укладача підземних комунікацій: Автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Машини для земляних і дорожніх робіт"/ А.А. Нечидюк – Дніпропетровськ, 2002. – 20с.
6. Романовський О.Л. Дослідження технологічного процесу роботи та обґрунтування параметрів багатоярусного робочого органа безтраншейного дреноукладача: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук.: спец. 05.20.01 "Механізація сільськогосподарського виробництва"/ О.Л. Романовський – Луцьк, 1996. –16с.
7. Syromyatnikov, Y., Orekhovskaya, A., Klyosov, D., ...Syromyatnikov, P., Sementsov, V. Field tests of the experimental installation for soil processing.

- Journal of Terramechanics. Journal of Terramechanics._– 2022.– Т.100. – С. 81-86
8. Порхун І.М. Удосконалення конструкції щілиноріза. Кваліфікаційна робота (дипломний проект) перший (бакалаврський). УНУС. 2023. 39с.
 9. Морозов О.Д. Обґрунтування параметрів глибинного розпушувача ґрунту. Магістерська робота. Вінниця, ВНАУ, 2019, 112с.
 10. Зінь В.С. Меліоративні машини. Теорія і розрахунок / В.С. Зінь. – К.:НМК ВО, 1992. – 120 с.
 11. Супонєв, В. М., Рагулін, В. М., Ковалевський, С. Г., Орел, О. В., Кравець, С. В., Нечидюк, А. А. Вплив кінематики робочого обладнання землерийних машин на процес глибокого вібраційного різання зв'язаних ґрунтів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 2022 (99), 84-84.
 12. Бернацький А. О. Обґрунтування дренажу в поєднанні з глибоким розпушенням для слабоводопроникних ґрунтів Українського Полісся / А.О. Бернацький Рівне 1996.
 13. HDD technology and methods of horizon-tal drilling rigs PERFORATOR. Electronic resource / (USA) – 2021: Access mode: <https://www.ditchwitch.com/directional-drills>.
 14. Величко В. А. Ґрунтовий покрив Українського Полісся як зонально обумовлений природний комплекс, його діагностика та класифікація: автореф.дис.канд.с.-г. наук за спеціальністю 06.01.03 / В.А. Величко - Х.,1999.-20с.
 15. Веселовський І.В. Ґрунтозахисне землеробство: Навч. посібник [для викладачів і студ. агроном. спец. вищ. навч. с.-г. закладів III-IV рівнів акредитації] / І.В. Веселовський, С. В. Бегей - К.: Урожай, 1995.-302с.
 16. Нічке В.В. Вплив на експлуатаційні показники затуплення ножів бульдозера / В.В. Нічке ,О.І. Жинжера // Сб. научных трудов ПГАСА. - 2007. - № 39. - С. 51-57

17. Солонцеві ґрунти та рекомендації по їх меліорації (Для працівників агрохімслужб, агрономів господарств, науковців, студентів ВУЗів і технікумів, слухачів Інституту післядипломного навчання):[упорядник Я.П. Цей]. – К., 1999. – 37с.
18. Posmituha, O. Analytical method of de-termining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure / Posmitiukha O., Hlavatskyi K., Kravets S. [et al.] – Dnipro, 2020. – С. 138 – 139.
http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/12685/1/XV_Conference.pdf.
19. Posmitiukha O. Analytical method of de-termining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure tracks O. Posmitiukha, K. Hlavatskyi, S. Kravets, V. Suponyev and A. Koval. Published under license by IOP Publishing Ltd IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (PRTM 2020) 27-29 May 2020, Dnipro, Ukraine. – P. 1–7. – DOI 10.1088/1757-899X/985/1/012033.
20. Ветохін В.І., Алтибаєв А.Н. Аналіз властивостей ґрунту стосовно процесу управління його станом з мінімальними витратами ресурсів. Технікотехнологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2017. Вип.21. С.332-338.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2017_21_46.
21. Вірьовка І. М. Нові розпушувачі ґрунту для безгербіцидних технологій / І.М. Вірьовка В.Д. Вірьовка, І. Д. Борисенко // УААН; Чернігівська держ. Сільськогосподарська дослідна станція. – К. :Аграрна наука,1999. – 56с.
22. Пат. 36133 України, МКВ А01В13/00, А01В13/08. Пристрій для безвідвального обробітку ґрунту / О.Л. Романовський, О.В. Макаручук, Ф.Д. Швець (Україна). - №99116055; заявл. 04.11.1999; опубл. 15.07.2003, Бюл. №7, 2003 р.
23. Рижий О.П. Дослідження тягового опору при розробці ґрунту багатоярусним робочим органом /О.П. Рижий // Вісник Рівненського державного технічного університету. Збірник наукових праць – 1999. - ч.3. – С.169-172.

24. Кравец С.В. Визначення кута зсуву ґрунти поярусній його розробці / Кравец С.В., Нечидюк А.А. // Інтенсифікація робочих процесів в будівництві та дорожньому машинобудуванні. – Дніпропетровськ: ПГАСА. – 2002. С.36-44.
25. Кравець С.В. Вплив багатоярусного розпушення на водно-фізичні властивості ґрунтів / С.В. Кравець, В.Ф. Ткачук, О.П. Рижий // Збірник статей за матеріалами III наук.-техн. конференції. –ч.4; “Механізація і автоматизація”. –Рівне: -УДАВГ, 1997. С.16-17.
26. Карнаухов М. М. Вдосконалення технологічного процесу руйнування ґрунту безвідвальним багатоярусним робочим органом : автореф.дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва" / М.М. Карнаухов – Луцьк, 1999. – 17с.
27. Posmityukha O. P. Scientific basis and practice of creating minimally energy-consuming working bodies for the formation of communication cavities in the soil: monograph / S. V. Kravets, V. M. Suponev, O. P. Posmityukha, S. P. Balesny – Kharkiv, KHNADU, 2021. –304 с. ISBN 978-966-303-769-1.
28. Кваша М.В. Ґрунти Ровенської області / М.В. Кваша – Львів: “Каменярь”. – 1970.
29. Posmityukha O.P., Glavatskiy K.Ts. Obruntuvannya poperechnogo pererizu beztransheyko utvorenikh tekhnologichnikh porozhnin u ґруnti dlya komunikatsiy [Methods of trenchless formation of technological cavities in soil for communication pipes]. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2012. No. 57. Pp. 214–221.
30. Aaron Cohen and Samuel T. Ariaratnam, Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. Pipelines 2017: Planning and Design (553 - 563) Book set: Pipelines 2017. <https://doi.org/10.1061/9780784480878>.
31. Романовський О.Л. Розробка та випробування нових засобів розпушення підорних шарів ґрунту / О.Л. Романовський, О.В. Макаручак // Збірник наукових праць НАУ . – К., 2000. - № 9. - С. 47...50.
32. Баладінський В.Л. Обґрунтування форми відвалу ґрунтозахисних

- багаторушних робочих органів / В.Л. Баладінський, С.В. Кравець, О.Л. Романовський // Гірничі будівельні, дорожні і меліоративні машини. Респ.міжвід.наук.-техн.зб. - К.: Техніка, 1995. - № 49. С.37-39.
33. Лактіонов М.І. Поглинальна здатність ґрунтів : Лекція / М.І. Лактіонов. Харківський держ. аграрний ун-т ім.Докучаєва.- Х., 1998. – 26с.
34. Макарчук О.В. Розробка та випробування глибинного розпушувача для будівництва дренажу безтраншейним способом /О.В. Макарчук, О.Л. Романовський // Весник ХНАДУ – Харьков: 2004. – Вып. 27 - С. 52 – 53.
35. Романовський О.Л. Раціональні параметри самооборотної фрези глибинного розпушувача / О.Л. Романовський, О.В. Макарчук // Вісник УДУВГП – Рівне: 2002. – Вип.4(17) - С. 325...331.
36. Медведковський О.К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві /О.К. Медведковський, П.І. Іваненко - К.: Урожай, 1988. - 206 с.
37. Макарчук О.В. Експериментальні дослідження самообертової фрези глибинного розпушувача локальної дії / О.В. Макарчук // Вісник НУВГП – Рівне: 2006. – Вип. 2 (34) - С. 90-95.
36. Романовський О.Л. Дослідження ґрунторозробних органів розпушувача талих ґрунтів / О.Л. Романовський, В.Ф. Ткачук, О.П. Рижий //Техніка будівництва. –К., 1998. - №4. –С.83-86.
38. Охорона праці в галузі. Змістовий модуль № 2. «Нормативноправові акти охорони праці». Тема № 4. «Реформування системи управління охороною праці в Україні» : конспект лекції / уклад. В. М. Курепін. – Миколаїв : МНАУ, 2023. – 36 с
39. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу при проведенні механізованих робіт Збірник наукових праць Уманського НУС. Умань, 2015. Вип. 87. Ч. 1: Агрономія. С. 79–86.
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87\(1\)_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87(1)_14)

40. Як організувати охорону праці у фермерському господарстві. ibuhgalter.net
Сучасний бухгалтерський портал. URL: <https://ibuhgalter.net/ru/news/1872>
41. Ковтун, Д. М. Стан охорони праці у фермерських господарствах України.
2021

ДОДАТКИ

