

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційного корчувача пнів

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Черній Євген Степанович

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2024

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« » 2023 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чернію Євгену Степановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів та режимів роботи вібраційного корчувача пнів

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання і завдання досліджень 2. Дослідження теоретичні 3. Експериментальні дослідження: програма і методика 4. Результати досліджень 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях 6. Економічна ефективність. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
6	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 19.04.2024 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 21.06.2024 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 13.09.2024 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 08.11.2024 р.	Виконав
5	Економічний	до 15.11.2024 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 14.12.2024 р.	Виконав

Студент

_____.
(підпис)

_____.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____.
(підпис)

_____.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Черній Є.С. обґрунтування параметрів роботи вібраційного корчувача пнів /
Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за
спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У першому розділі представлено аналіз сучасних технологічних процесів.

У другому розділі проведено теоретичні дослідження.

У третьому розділі представлено програму та методику експериментальних
досліджень.

У четвертому розділі приведено результати експериментальних досліджень.

У п'ятому розділі приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в
надзвичайних ситуаціях

У шостому розділі приведено оцінку економічної ефективності від
впровадження

Ключові слова: вібраційна дія, ґрунт, процес корчування, технологічні
параметри, енергозатрати.

Chernii Ye. Classification and analysis of the structures of tillage working bodies /
Ye. Chernii // The 12th International scientific and practical conference «European
congress of scientific achievements» (2-4,2024), Barcelona, Spain.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Аналітичні дослідження технології та технічних засобів руйнування коренів пнів у ґрунті.....	11
1.2 Аналіз засобів механізації та існуючих технологій процесу корчування	14
1.3 Класифікація та аналіз конструкцій корчувальних робочих органів.....	20
Висновки.....	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНІ.....	24
2.1 Обґрунтування раціональних геометричних параметрів підкопувальних машин.....	24
2.2. Визначення прогинів кореня розміщеного в ґрунті під дією на нього зусилля в статичному режимі.....	34
Висновки.....	40
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ПРОГРАМА І МЕТОДИКА.....	41
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	41
3.2 Методика визначення механічних властивостей ґрунту.....	41
3.3 Визначення власних частот коливань коренів дерев.....	44
3.4 Лабораторне устаткування для дослідження процесу деформування коренів дерев.....	45
3.5 Методика польових досліджень експериментального зразка машини.....	48
Висновки.....	50
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	51
4.1 Визначення модуля пружності лінійних деформацій ґрунту.....	51
4.2 Визначення коефіцієнта бічного розширення для ґрунту.....	53
4.3 Результати польових досліджень корчування пнів вібраційним корчувачем.....	55

Висновки.....	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	60
Висновки.....	64
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ.....	65
Висновки.....	74
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	77
ДОДАТКИ.....	79

ВСТУП

Забезпечення ефективного видалення пнів є важливим завданням у лісогосподарській та агропромисловій сферах. Традиційні методи корчування пнів, такі як механічне викорчовування чи використання вибухових засобів, мають низку недоліків, зокрема значне енергоспоживання, шкоду для навколишнього середовища та підвищені витрати. У цьому контексті особливого значення набуває розробка інноваційних рішень, зокрема застосування вібраційних корчувачів, які дозволяють підвищити продуктивність робіт та зменшити негативний вплив на ґрунтовий покрив.

Дослідження параметрів і режимів роботи вібраційних корчувачів є актуальним завданням, що спрямоване на оптимізацію їхньої конструкції та функціональних характеристик. Вібраційні технології дають змогу знизити зусилля корчування за рахунок зменшення сил зчеплення між пнем і ґрунтом, що зумовлює потребу у детальному обґрунтуванні робочих параметрів таких механізмів.

Метою цієї роботи є розробка методики обґрунтування оптимальних параметрів і режимів роботи вібраційного корчувача пнів, що дозволить забезпечити його ефективну експлуатацію та зменшити енергетичні витрати. У ході дослідження будуть враховані особливості ґрунтових умов, геометричні параметри пнів та кінематичні характеристики вібраційного впливу.

Такий підхід забезпечить основу для створення сучасних і високоефективних корчувальних агрегатів, які сприятимуть раціональному використанню природних ресурсів та підвищенню продуктивності механізованих робіт у лісовому та сільському господарстві.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності процесів очищення територій від пнів для подальшого їхнього використання у сільськогосподарських або будівельних цілях. У сучасних умовах зростаючих вимог до продуктивності та енергоефективності

сільськогосподарської і лісогосподарської техніки питання оптимізації конструкції та режимів роботи корчувачів стає надзвичайно важливим.

Сучасні вібраційні корчувачі дозволяють значно зменшити витрати енергії завдяки використанню вібраційного впливу, який сприяє руйнуванню сил зчеплення між кореневою системою пня і ґрунтом. Однак, для забезпечення максимальної ефективності таких механізмів необхідно враховувати широкий спектр факторів, серед яких фізико-механічні властивості ґрунту, розміри та форма пнів, а також параметри вібраційного впливу, такі як частота, амплітуда та напрямок коливань.

Дослідження у цій сфері мають важливе практичне значення, оскільки результати можуть бути використані для проектування нових зразків техніки, а також для вдосконалення існуючих конструкцій вібраційних корчувачів. Оптимізація параметрів роботи таких агрегатів сприятиме зниженню витрат пального, підвищенню ресурсу техніки та зменшенню впливу на довкілля.

Таким чином, дослідження, спрямовані на обґрунтування параметрів і режимів роботи вібраційного корчувача пнів, мають велике значення як для теоретичного обґрунтування процесів механічної взаємодії, так і для створення більш досконалих технічних рішень. У результаті це сприятиме підвищенню ефективності господарської діяльності, зокрема у лісогосподарському та аграрному секторах.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є зниження енергоємності корчування пнів.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі задачі:

- обґрунтувати раціональні параметри грейферного механізму для підкопування пня;
- провести аналіз існуючі способи технології та методи формалізації процесу руйнування коренів пнів у ґрунті;
- проаналізувати умови руйнування кореня пня у ґрунті, в залежності від його механічних властивостей, під впливом на нього робочого органу в режимі статичного та динамічного навантаження, в залежності від його механічних

властивостей та характеристик ґрунту;

- уточнити механічні властивості матеріалу кореня та ґрунту;
- визначити економічну ефективність застосування запропонованого вібраційного корчувача пнів.

Об'єктом дослідження є процес корчування пнів грейферним механізмом.

Предметом є – закономірності впливу конструктивних параметрів та режимів роботи робочих органів корчувача на енергоємність процесу.

Методи дослідження. При проведенні теоретичних досліджень застосовувались методи системного аналізу а для обробки експериментальних даних - методи інтерполяції і прогнозування.

Наукова новизна отриманих результатів. Виведено аналітичні залежності для визначення зв'язку між конструктивними, кінематичними та силовими параметрами. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких визначено відповідність теоретичних залежностей реальним робочим процесам.

Практичне значення отриманих результатів. Зниженні енергоємності корчування пнів та підвищення ефективності використання агрегатів.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналітичні дослідження технології та технічних засобів руйнування коренів пнів у ґрунті

Важливим технологічним процесом в лісовому господарстві є лісовідновлення на вирубках. Способи лісовідновлення залежать від умов росту лісу, давності рубки, щільності розташування пнів по площі, і потребують застосування різних машин та обладнання для їх виконання. Наявність на вирубці пнів викликає необхідність збільшення тягових зусиль тракторів. Тому при проведенні лісовідновлювальних робіт, а також при підготовці площ на меліоративних системах, доводиться застосовувати корчування, як суцільне, так і окремих пнів діаметром від 10 до 70см. За діаметра 12-24 см. пні вважаються дрібними, за діаметра 24-40 см. - середніми, при 41-60 см їх відносять до крупних і більше 60см - до дуже крупних.

Таблиця 1.1 - Засміченість ґрунтів похованою деревиною

Число потраплянь на пень при зондуванні в 100 точках	пнистість, %	Ступінь засмічення
До 20	До 0,5	Слабка
21 - 40	0,5 - 1,0	Середня
41 - 60	1,0 - 2,0	Середня
61 - 80	2,0 - 3,0	Сильна
81 - 100	Більше 3	Дуже сильна

Засміченість похованою деревиною визначається (таблиця 1.1) у відсотках до об'єму ґрунту на врахованих ділянках розміром 2х50м. Для цього на кожній ділянці зондують 100 точок, рівномірно розповсюджених по площі. Свіжі пні потребують затрат більших зусиль при корчуванні, ніж ті, що простояли кілька років. На важких суглинкових ґрунтах потрібно значно більше зусиль, ніж при корчуванні пнів на суглинкових чи на торф'яно-болотних ґрунтах.

Для площ України, де необхідно проводити корчувальні роботи, є характерним значне різноманіття деревно-чагарникової рослинності (ДЧР).

Дерева та рідколісся відрізняються одні від одних за складом, формою, умовами зростання, віком, товщиною, стиглістю деревини та її запасам, середньою висотою, середнім діаметром та ін. (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Класифікація ДЧР

Вид деревостою	Середній діаметр стовбура, см	Середня висота, м	Кількість стовбурів на 1 га при заростанні		
			рідке	середнє	густе
Чагарники:					
дрібні	до 3	до 3	до 15000	15000- 30000	більше 30000
середні	3 - 7	5 - 6	до 800	800-16000	більше 16000
дрібнолісся	8 - 11	5 - 9	до 800	80 - 2250	більше 2250
Ліс:					
дуже дрібний	12 - 15	7 - 11	до 400	400 - 1400	більше 1400
дрібний	16 - 23	8 - 16	до 300	300 - 850	більше 850
середній	24 - 32	11 - 20	до 160	160 - 250	більше 250
крупний	33 - 50	20 - 25	до 80	80 - 320	більше 320
дуже крупний	51 - 70	більше 25	до 50	50 - 200	більше 200
Товстомірний	Більше 70	більше 25	До 30	30 - 140	більше 140

Експлуатаційні показники ДЧР, яка є переважно об'єктом культуртехнічних заходів, мають ряд особливостей, зумовлених віковими змінами та будовою надземної та підземної частин. Тому відомості про ряд відомих показників не завжди можуть слугувати надійною основою для проектування робочих органів корчувальних машин.

ДЧР надзвичайно різноманітна за віком, складом, будовою, густиною, розмірами та іншими показниками. Так як скласти чітку уяву про таку сукупність за множинністю варіантів не є можливим, то для цього доводиться користуватись середніми величинами. Найбільш значущими (для проектування робочих органів машин) властивостями деревини є її фізико-механічні показники і сили опору корчуванню.

Коренева деревина має фізико-механічні показники, відмінні від стовбурової, межі їх міцності при стиску та розтягуванні вздовж волокон нижче відповідно на 22-26 та 20-25%.

Густина на 11-18% менша у порівнянні з деревиною стовбура. Дослідження опору корневих систем дерев корчуванню являє найбільший практичний інтерес для розробників технічних засобів і знарядь для корчування. Частіше за все опір корчуванню представляють у вигляді зусилля необхідного для видалення пня (табл. 1.3)

Таблиця 1.3. - Значення зусилля корчування пнів горизонтальною силою, кН

Порода пня	Діаметр пнів, мм								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Береза	19,6	24,5	53,9	73,5	93,1	122,6	156,9	201,0	205,9
Ялиця	16,2	24,2	39,2	68,6	88,2	102,9	147,1	176,5	
Осика	17,6	24,5	49,0	63,7	73,5	93,1	102,9	147,1	156,9

З наведених в таблиці даних видно, що в середньому опір корчуванню ялини, сосни, берези відрізняються одне від одного на 2,8 - 16,4%, причому ця різниця зменшується зі збільшенням діаметра. Дещо більшим виявився опір у ялини у порівнянні з сосною, що пояснюється характером розвитку кореневої системи дерева, яке має більшу парусність та сприймає більші вітрові навантаження. Відзначено, що зберігаючи загальну закономірність розвитку кореневої системи, ялина часто на супіщаних ґрунтах та суглинках розвиває вертикальні корені і створює більший момент опору, ніж зазвичай. Сосна та береза мають глибоке розміщення за генетичними горизонтами ґрунту, тому їх опір корчуванню є більш стабільним.

В цілому, опір дерев корчуванню буде тим більший, чим більш потужна їх коренева система. Потужність кореневої системи визначають за розмірами корневих шийок, що зазвичай виходять на поверхню землі та доступні для вимірювання звичайним інструментом.

1.2 Аналіз засобів механізації та існуючих технологій процесу корчування

Машина для корчування пнів ЛП-52 призначена для корчування соснових пнів на заліснених та не заліснених вирубках. Машина ЛП-52 виконана на базі гусеничного трактора ТТ-4 та включає в себе колонку з механізмом повороту та основою, модернізований трактор, стрілу з руків'ям, корчувальний захоплювач, навісну раму зі стійкою, передні та задні виносні опори та гідросистему.

Корчування відбувається за допомогою силових домкратів, що діють на пень у вертикальну напрямі. Витягнутий пень за допомогою вібратора очищається від землі та складається в валок.

Переваги: можливість здійснення завантаження викорчуваних пнів у транспортний засіб; наявність вібратора для очищення пня від ґрунту; значний радіус охоплення (виліт стріли маніпулятора 1,5 - 8 м)

Недоліки: незначна продуктивність; транспортування своїм ходом на відстань не більше 5 км.; можливість корчування лише вертикальним зусиллям.

Корчувальна машина К-2А застосовується при корчуванні пнів та прибиранні каміння, очищенні вирубок від деревних решток, при будівництві доріг, водойм.

Машина К-2А складається з трактора Т-100МГП з гідравлічним приводом та корчуючого обладнання, що змонтоване позаду трактора. Робочими органами є чотири важеля, з яких два крайніх (меншої довжини) нерухомо закріплені на рамі, а два середніх можуть повертатись навколо своєї осі.

Бокові важелі виконують допоміжну роль: заглиблюючись в ґрунт в процесі корчування, вони забезпечують стійкість агрегату, особливо його опірної рами, при підйманні пня та трелюванні утримують пень від

перекидання. Рама, на якій змонтовано робочі органи, при корчуванні опирається на ґрунт, завдяки чому усувається перевантаження ходової частини трактора в процесі корчування пня. Вісь важелів встановлено на рамі на висоті 0,4 м. від землі, тому при повертанні важелів пень, що викорчовується підіймається над поверхнею землі.

Переваги: значне зусилля корчування, незначна маса навісного обладнання, заглиблення робочого органа 72 см, діаметр пнів, що викорчовуються до 80 см.

Недоліки: значні динамічні навантаження на робочому органі, псування дернини під час процесу корчування, відсутність можливості завантажити пень в транспортний засіб за допомогою корчувального робочого органу.

Машина МРП-2 призначена для смугового розчищення вирубок від деревних решток, а також для корчування дрібних пнів.

Основні вузли машини - леміш з корчуючим пристроєм, механізм передньої навіски та противага. Леміш являє собою зрізаний клин, утворений передньою та двома бічними поверхнями криволінійної форми. Його передня частина винесена вперед відносно бічних поверхонь, утворює в плані П-подібний виступ. В нижній частині виступа змонтовано корчуючий поворотний важіль з двома кликами, що жорстко закріплені на кінцях шліцьового валу. Знизу леміш закрито днищем, котре виконує роль опірної плити. Важіль корчувального пристрою повертається двома здвоєними гідроциліндрами.

Переваги: незначна маса навісного обладнання, достатня ширина захвату, здійснення розчистки вирубок з мінімальним видаленням верхнього гумусного шару.

Недоліки: корчування пнів малого діаметра, відсутність можливості завантаження в транспортний засіб.

Корчувальна машина КМ-1 призначена для полосного розчищення вирубок від пнів, каміння та крупних деревних залишків при підготовці площ

до висадки лісових культур, а також для суцільного корчування пнів, видалення каміння при освоєнні лісових площ під сільськогосподарські угіддя.

КМ-1 являє собою навісне корчувальне обладнання, що монтується в передній частині трактора ЛХТ-55 (ТДТ-55) за допомогою двох спеціальних кронштейнів. До складу корчувального обладнання входять: рама, робочий орган, лемеші, два гідроциліндра робочого органу, гідроциліндри підйому рами, кронштейни навіски та розпірна балка. Корчування здійснюється поворотом двоплечого важеля при нерухомому тракторі або з одночасним його рухом вперед.

Переваги: незначна маса корчувального обладнання (1200 кг.), достатня продуктивність, можливість корчування як вертикальним, так і горизонтальним зусиллям.

Недоліки: незначне корчувальне зусилля, неможливість завантаження пнів в транспортний засіб корчувальним робочим органом, значні динамічні навантаження на робочому органі.

Корчувач збирач МП-2В призначений для суцільного корчування чагарників, дрібнолісся та пнів діаметром до 18 см., згрібання в вали викорчуваної деревно-чагарникової маси. Використовується для корчування окремих пнів діаметром до 65 см. каміння масою до 3 т. та транспортування їх за межі освоєваної площі чи до місця складування.

Обладнання корчувача-збирача змонтоване на гусеничному тракторі Т-130МГ-1, складається з штовхаючої рами, леміша, розширювачів та гідросистеми. Корчуючими елементами є зуби. Керування робочими органами гідравлічне.

Переваги: висока продуктивність, корчування окремих пнів діаметром до 65 см, можливість корчування каменів масою до 3 т. та транспортування їх до місця складання.

Недоліки: згрібання верхнього родючого шару ґрунту, неможливість завантаження пнів корчуючим робочим органом в транспортний засіб, значні

динамічні навантаження на робочому органі.

Корчувач МП-18 застосовується для виконання культуртехнічних робіт при освоєнні площ, що не потребують осушування. Використовується як корчувач, кущоріз зі змінними ножами, бульдозер, чагарникові граблі та корчувальна борона.

Корчувач навішується на базовий трактор моделі Т-130МГ-3 (Т-130МГ-5), також на трактор за допомогою універсальної рами навішуються змінні робочі органи. Начіпне обладнання складається з корчуючого органа, чагарникових граблів, корчувальної борони та органа зі змінними ножами для зрізування чагарників. Крім того є: захисне огороження, для захисту трактора від чагарників та дрібнолісся, що падають під час роботи., штовхаючий брус, розпірні елементи, заточувальний пристрій, гідросистема, зчіпка.

Переваги: корчування пнів діаметром до 65 см, можливість корчувати камені масою до 3 т, значний спектр виконуваних операцій (корчування, зрізання чагарників, боронування).

Недоліки: значні динамічні навантаження на робочому органі, неможливо завантажувати пні в транспортний засіб за допомогою корчувального робочого органа, псування дернини та рослинного покриву.

Універсальний ямокопач-корчувач ЯКП - 0,4; ЯКП - 0,6 та ЯКП - 0,8 призначений для видалення пнів, заготовлення промислової деревини та технологічних трісок з пнів, викопування ям для посадки дерев та встановлення стовпів ліній електропередач чи спорудження огорож, а також для копання невеликих котлованів для ліквідації аварій на підземних комунікаціях, закладання фундаментів та ін.

Переваги: незначна маса робочого обладнання, потреба в незначному корчувальному зусиллі (завдяки перерізанню коріння), заглиблення робочого органу до 1 м.

Недоліки: незначний діаметр корчованих пнів (40 см.), недостатній огляд з кабіни оператора, значна частина кореневої системи корчованого пня

залишається в землі.

Корчувач GRUBBER призначений для видалення чагарників та пнів невеликого розміру при окультурюванні площ.

Корчувач являє собою начіпне обладнання до тракторів невеликої потужності (до 70 кВт) з тяговим зусиллям до 14 кН. Складається зі зварної рами з закріпленим на ній корчувальним лезом. Керування робочим органом здійснюється за допомогою гідроциліндрів. Корчування здійснюється штовхаючим зусиллям трактора та зусиллям гідроциліндрів підйому робочого органу. Дана машина вдало пройшла випробування в 70-х роках минулого століття, і виготовляється до нашого часу.

Переваги: мобільність, незначна маса робочого обладнання.

Недоліки: незначне корчуюче зусилля, неможливість завантаження пнів в транспортний засіб, за допомогою корчуючого робочого органу.

Корчувач POWERGRUBBING призначений для корчування окремих пнів та чагарників горизонтальним зусиллям трактора. Являє собою робочий орган, що начіплюється позаду трактора, за допомогою задньої навіски. Робочий орган являє собою металоконструкцію Г-подібної форми, положення якої регулюється за допомогою гідроциліндра. В процесі роботи гак примусово заглиблюється під пень, корчування здійснюється горизонтальним зусиллям трактора.

Переваги: мобільність, незначна маса робочого обладнання, застосування разом з колісним трактором, що розширює діапазон застосування корчувача.

Недоліки: недостатня видимість робочого органу з кабіни оператора, корчування лише горизонтальним зусиллям, незначне зусилля корчування.

Корчувач GRUBBER на базі колісного навантажувача призначений для окремого корчування пнів, чагарників та каміння вертикальним зусиллям.

Корчувач являє собою зварну конструкцію, що навішується на ківш навантажувача. Корчування здійснюється шляхом підймання ковша, при цьому створюється зусилля, що витягує пень нагору.

Переваги: застосування разом з колісним навантажувачем розширює сферу застосування корчувача, досить значне корчувальне зусилля.

Недоліки: неможливість навантаження, недостатній огляд, корчування лише вертикальним зусиллям.

Корчувач STUMPER призначений для виконання корчувальних робіт при розчищенні площ від окремих пнів. Він складається з енергетичного модуля малої потужності та робочого органу, що являє собою металічну конструкцію П-подібної форми з гідравлічним керуванням.

Переваги: мобільність, можливість використання в міських умовах, незначна енергонасиченість.

Недоліки: незначне корчувальне зусилля, вузький діапазон операцій.

GRUBBER з корчувальним ножом призначений для видалення чагарників та дрібнолісся, може здійснювати корчування пнів невеликого діаметра.

Корчувач являє собою начіпне обладнання на трактор малої потужності. Робочий орган - металоконструкція з закріпленим на ній ножом. В процесі роботи ніж заглиблюється під землю та здійснює перерізання коренів, за необхідності підйомом робочого органу можна здійснити корчування невеликого пня.

Переваги: мобільність, невелика енергонасиченість, можливість корчування як горизонтальним так і вертикальним зусиллям.

Недоліки: незначне корчувальне зусилля, робочий орган даного корчувача більшою мірою пристосований для різання деревно-чагарникової рослинності і меншою - для корчування.

Крім описаних вище спеціальних машин, призначених для виконання корчувальних робіт, досить часто корчування здійснюється машинами для цього не призначеними. Це трапляється у випадках, коли здійснюється корчування окремих пнів в невеликих об'ємах.

В цих випадках (особливо в комунальному господарстві) застосовуються екскаватори з робочим обладнанням ківш з корчуючим

зубом, або навантажувальним обладнанням.

При використанні ковша, навколо пня виймається ґрунт, після чого пень витягається на поверхню.

При використанні екскаватора з навантажувальним обладнанням пень обкопується, обрубуються бічні корені, після цього за допомогою захвату пень витягується на поверхню.

Досить часто корені корчують за допомогою одно - та тризубих розпушувачів, що начіпляються на гусеничні трактори та призначені для розпушування мерзлих та твердих ґрунтів.

Технологія виконання робіт з застосуванням розпушувача, що начіплюється на задню навіску трактора, аналогічна виконанню робіт з корчувальним гаком. При піднятому робочому органі машина заднім ходом підходить до пня. Заглиблює робочий орган таким чином, щоб пень опинився між розпушуючими стійками та базою машини. Тяговим зусиллям трактора пень вивертається на поверхню.

Варто відзначити, що всі неспеціалізовані машини мають низьку продуктивність та невисоку якість виконання корчувальних робіт

1.3 Класифікація та аналіз конструкцій корчувальних робочих органів

Корчувальні машини можна поділити на наступні підгрупи:

- машини з канатною тягою;
- машини, що корчують пні поступальним переміщенням;
- машини, що корчують пні зубами чи важелями з комбінованим рухом (поступальним переміщенням та підйманням);
- комбіновані корчувальні машини.

Канатні пристрої для корчування складаються зі сталевого троса з гаком. Трос закріплюють петлею навколо пня, інший кінець кріпиться до трактора. Корчування здійснюється тяговим зусиллям трактора. Крім того,

для створення тягового зусилля, можливе застосування корчувальних лебідок з приводом від ВВП.

Машини, що корчують пні поступальним переміщенням являють собою причіпну раму, що переміщується на колесах чи лижах. На рамі встановлюють 3 - 5 роторів, кожен з яких має крюки-зуби, що закріплені під кутом 120-180°. Під час руху трактора з причіпним корчувачем один ряд кожного ротора заглиблюється в ґрунт, розпушує ґрунт та викорчує пні та коріння. Коли попереду зубів утворюється вал певного розміру, вивільнюється блокувальний пристрій, ротори повертаються на 120-180°.

Переваги: значна продуктивність, простота конструкції, невелика металоємність.

Недоліки: незначна глибина корчування (до 30 см), малий діаметр корчованих пнів (16 - 20 см).

Машини, що корчують пні зубами чи важелями з комбінованим рухом (поступальним переміщенням та підйомом), можуть начіплюватись як спереду так і ззаду.

На машинах з переднім розміщенням (корчувачі та корчувачі-збирачі), як робочий орган, застосовують раму чи щит-леміш. На рамі чи щиті встановлено зуби або в нижній частині роблять гнізда, в яких закріплюють 3 - 10 змінних зубів.

Корчувачі з заднім навішуванням робочого органу мають гаки або важелі. На задній рамі гакових корчувачів, розміщено 1 - 3 гаки, підйом та заглиблення котрих регулюється гідроциліндром. Для корчування під'їжджають до пня задом, заглиблюють гаки під пень чи кореневу систему та корчують пень тяговим зусиллям трактора з одночасним підйманням гаків. Важільні корчувачі корчують пні здвоєним двоплечими важелями, встановленими на задній рамі корчувача.

Переваги: машини циклічної дії з комбінованим рухом робочого органу використовують вертикальне та горизонтальне зусилля корчування, а також не потребують затрат ручної праці.

Недоліки: значні динамічні навантаження на лемеші, рамі та тракторі, недостатня оглядовість робочого органу з кабіни, псування дерну та рослинного покриву, згрібання родючого шару ґрунту.

Переваги: машини циклічної дії з комбінованим рухом робочого органу використовують вертикальне та горизонтальне зусилля корчування, а також не потребують затрат ручної праці.

Недоліки: значні динамічні навантаження на лемеші, рамі та тракторі, псування дерну та рослинного покриву, згрібання родючого шару ґрунту.

З огляду на дані наведені в таблиці (дод 3), найбільше корчувальне зусилля створюють важільні корчувачі (до 45 т.), навіть при використанні тракторів кл. 3 тс (до 73,5 кВт). Також вони здатні здійснювати корчування пнів найбільшого діаметра (до 80 см. і більше) та на значну глибину, мають найбільшу металоємність робочого обладнання. Конструкція робочого органу машини дозволяє зусилля корчування частково передавати на ґрунт.

Поряд з перевагами важільні корчувачі мають ряд суттєвих недоліків. Один з найбільш суттєвих - незначна продуктивність при суцільному корчуванні дрібнолісся та пнів невеликого діаметра, хоча при корчуванні окремих пнів великого діаметра, важільний корчувач - єдина машина, що здатна виконати корчування за один підхід. Також, неможливість завантаження в транспортний засіб видаленого пня тим же робочим органом, потребує використання додаткової техніки.

Висновки

На основі проведеного аналізу застосовуваної техніки та технологій корчування пнів, можна зробити наступні висновки:

1. Під час проведення робіт по відновленню лісових насаджень, на місцях попередніх вирубок, а також при розчистці площ під лісогосподарські угіддя та об'єкти інфраструктури, важливу роль відіграють роботи по видаленню пнів.

2. Найбільш прийнятним з існуючих способів видалення пнів є механічне корчування окремих пнів, так як при цьому зберігається родючий шар ґрунту та завдається найменше шкоди екосистемі.

3. Існуючі засоби механізації для корчування пнів, не завжди дають змогу використати деревину пня для подальшої переробки.

4. При здійсненні корчування окремих пнів, найбільш прийнятним є застосування корчувача з підкопувальними щелепами за типом грейферного механізму, що дає змогу створювати значні зусилля для підкопування пня та дозволяє за допомогою цього ж робочого органу здійснювати завантаження пня до транспортного засобу.

Подальші дослідження по проектуванню корчувачів пнів слід спрямовувати в напрямку розробки малоенергомістких робочих органів, на основі дослідження механіки руйнування зв'язків кореневої системи пнів з ґрунтом.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНІ

2.1 Обґрунтування раціональних геометричних параметрів підкопувальних щелеп

В технологічному процесі корчування пнів, за допомогою запропонованого вібраційного корчувача, застосовується робочий орган, що являє собою частину грейферного механізму. При цьому для забезпечення мінімальної енергомісткості процесу роботи, важливу роль відіграє зменшення витрат енергії у механізмі передачі. Аналіз відомих результатів досліджень показав відсутність адекватного розв'язання задачі оптимізації параметрів грейферного механізму. Це викликає необхідність розробки методу оптимізації параметрів грейферного механізму, що забезпечує необхідний закон руху вихідного ланцюга.

Для досягнення поставленої мети виникає необхідність розв'язання задачі знаходження мінімуму роботи ведучої ланки грейферного механізму.

Загальний вигляд грейферного механізму, наведений на рис. 2.1.

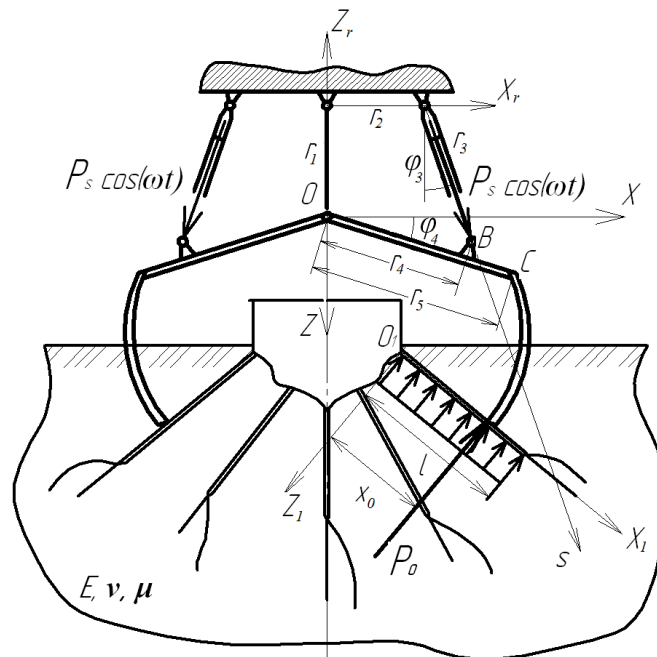


Рисунок 2.1 - Схема грейферного механізму.

Враховуючи симетричність навантаження на робочий орган можна

розглядати лише одну частину механізму, а саме контур r_1, r_2, r_3, r_4 . На кінцеву точку, а отже і точку C діє зусилля з боку коренів пня та ґрунту, яке може бути представлене у вигляді виразу: $P_0(1 + a \sin(\varphi_4))$, де P_0 сила опору ґрунту та коренів на початку занурення щелепи, a - коефіцієнт пропорційності зростання опору, φ_4 - кут повороту щелепи.

Раціональні параметри грейферного механізму можуть бути визначені шляхом знаходження мінімуму роботи привідної ланки

$$A = \int_0^s P_s ds, \quad (2.1)$$

де P_s - сила приведена до ведучої ланки;

s - зміна довжини ведучої ланки.

Приведена до ведучої ланки сила опору переміщенню щелепи виражається як (рис. 2.1)

$$P_s = \frac{P_0 r_5 (1 + a r_4 \varphi_4) (r_1 - r_4)}{r_3 r_4 \cos(\varphi_3) \cos(\varphi_4)}. \quad (2.2)$$

Оскільки P_s є функція зміни кута повороту ланки r_4 , то інтегрувати вираз (2.1) необхідно по незалежній змінній φ_4 . Тоді вираз (2.1) прийме вигляд

$$A = \int_0^s P_s ds = \int_{\varphi_{4\min}}^{\varphi_{4\max}} P_s s'_{(\varphi_4)} d\varphi_4. \quad (2.3)$$

Межі інтегрування у виразі (2.3) можуть бути визначені зі схеми взаємодії щелеп корчувача з пнем.

Найбільший радіус зони корчування у горизонтальному напрямку від осі пня становить $2d$ (два діаметри пня), а найбільша глибина заглиблення щелепи $(1, 2 \dots 1, 3)d$. При цьому висота пня при правильному спилуванні становить $z_n = 0,3d$. Верхня границя інтегрування у (2.3) становитиме

$\varphi_{4\max} = \arctg\left(\frac{0,3d}{2d - 0,5d}\right) = \arctg\left(\frac{1}{4,5}\right)$. Цей кут відповідає нижньому

положенню ланки r_4 , а отже і максимальному заглибленню щелепи у ґрунт. Верхньому положенню щелепи, а отже і нижній межі інтеграла відповідатиме кут $\varphi_{4\min} = \pi/2 - \varphi_{4\max}$.

Для знаходження величин φ_3 та s скористаємось наступним шляхом. Векторне рівняння для замкненого контуру (рис. 2.2) має вигляд:

$$\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_4 = 0. \quad (2.4)$$

Проекції цього рівняння на осі координат мають вигляд

$$\begin{cases} r_2 + r_3 \sin(\varphi_3) - r_4 \cos(\varphi_4) = 0; \\ r_1 - r_3 \cos(\varphi_3) + r_4 \sin(\varphi_4) = 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

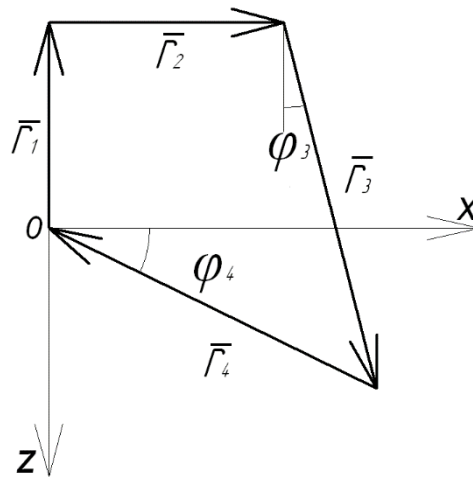


Рисунок 2.2 - Замкнений контур ланок грейферного механізму.

Спільний розв'язок системи рівнянь (2.5) дає вісім пар коренів, з яких одна пара відповідає дійсним значенням кутів повороту φ_3 та φ_4 ланок r_3 та r_4 .

$$\varphi_3 = \arccos \left(\frac{r_1^3 r_3 + r_1 r_2^2 r_3 - r_1 r_2 r_4^2 + \sqrt{-r_1^4 r_2^2 r_3^2 - 2r_1^2 r_2^4 r_3^2 - r_2^6 r_3^2 + 2r_1^2 r_2^2 r_3^4 + 2r_2^4 r_3^4 - r_2^2 r_3^6 + 2r_1^2 r_2^2 r_3^2 r_4^2 + 2r_2^4 r_3^2 r_4^2 + 2r_2^2 r_3^4 r_4^2 - r_2^2 r_3^2 r_4^4}}{2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)} \right);$$

$$\varphi_4 = \arccos \left(\frac{-\frac{r_1^2}{2r_2} + \frac{r_2}{2-r_3} + \frac{r_1^4 r_3^2}{2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)}}{\frac{r_4}{2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)} + \frac{r_1^2 r_2 r_3^2}{2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)}} + \frac{\frac{r_1^2 r_3^4}{2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)} + \frac{r_4^2}{2r_2} - \frac{r_1^2 r_3^2 r_4^2}{2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)}}{\frac{r_4}{2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)} + \frac{r_1^2 r_2 r_3^2}{2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2)}} + \frac{\left(\sqrt{-r_1^4 r_2^2 r_3^2 - 2r_1^2 r_2^4 r_3^2 - r_2^6 r_3^2 + 2r_1^2 r_2^2 r_3^4 + 2r_2^4 r_3^4 - r_2^2 r_3^6} + \sqrt{+2r_1^2 r_2^2 r_3^2 r_4^2 + 2r_2^4 r_3^2 r_4^2 + 2r_2^2 r_3^4 r_4^2 - r_2^2 r_3^2 r_4^4} \right) \cdot 2r_2(r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2) r_1 r_3}{r_4} \right). \quad (2.6)$$

Крім того кут φ_3 може бути виражений з другого рівняння (2.5)

$$\varphi_3 = -\arccos \left(\frac{r_1 - r_4 \sin(\varphi_4)}{r_3} \right). \quad (2.7)$$

Позначивши довжину ланки $r_3 = S + s$, де S - початкова довжина ланки, s - приріст довжини ланки можна з другого рівняння (2.5) підставивши в нього значення φ_3 з (2.6) виразити величину s

$$s = -S + \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_4^2 + 2\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2 \cdot \cos(\varphi_4)^2} - 2 \cdot r_1 \cdot r_4 \cdot \sin(\varphi_4)}. \quad (2.8)$$

Похідна, що входить у вираз (2.3) має вигляд

$$s'_{(\varphi_4)} = \frac{-2 \cdot r_1 \cdot r_4 \cdot \cos(\varphi_4) - \frac{2 \cdot r_2^2 \cdot r_4^2 \cdot \cos(\varphi_4) \cdot \sin(\varphi_4)}{\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2 \cdot \cos(\varphi_4)^2}}}{2\sqrt{r_1^2 + r_2^2 + r_4^2 + 2\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2 \cdot \cos(\varphi_4)^2} - 2 \cdot r_1 \cdot r_4 \cdot \sin(\varphi_4)}}. \quad (2.9)$$

Робота ведучої ланки (2.3) з урахуванням (2.2), (2.7) та (2.9) матиме вигляд

$$A = -\frac{1}{2r_4} dP_0 \left(\begin{aligned} & -0,423 \cdot a \cdot r_1 - \frac{0,867 \cdot r_1 \cdot (a \cdot r_1 + r_4)}{r_4} + \frac{2,704 \cdot r_1 (2 \cdot a \cdot r_1^2 + 2 \cdot r_1 \cdot r_4 - a \cdot r_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (-0,905 \cdot a \cdot r_4 - 3,904 (a r_1 + r_4))}{r_4^2} + \\ & + \frac{8 \cdot r_1 (a \cdot r_1 + r_4) \sqrt{r_1^2 - r_4^2} \cdot \arctan \left(\frac{-0,802 r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{4 \cdot r_1 \sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (a \cdot r_1 + r_4) \cdot (0,496 - \log(1,643(r_1 - 0,976 \cdot r_4)))}{r_4^3} \end{aligned} \right) +$$

$$+\frac{1}{2r_4}dP_0 \left(\begin{array}{l} -0,423 \cdot a \cdot r_1 - \frac{3,904 \cdot r_1 (a \cdot r_1 + r_4)}{r_4} + \frac{0,437 \cdot r_1 (2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ + \frac{\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (0,905 \cdot a \cdot r_4 - 0,867 (a \cdot r_1 + r_4))}{r_4^2} + \\ + \frac{8 \cdot r_1 (a \cdot r_1 + r_4) \sqrt{r_1^2 - r_4^2} \cdot \arctan \left(\frac{-0,109 \cdot r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2} + \\ + \frac{4 \cdot r_1 \sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (a \cdot r_1 + r_4) \cdot (0,011 - \log(1,012(r_1 - 0,216 \cdot r_4)))}{r_4^3} \end{array} \right). \quad (2.10)$$

Для знаходження раціональних параметрів грейферного механізму необхідно ввести обмеження, що забезпечать відсутність положень невизначеної рівноваги. Таке обмеження можна представити у вигляді

$$r_1^2 + r_2^2 - m(r_4^2 + r_3^2) = 0,$$

де $m = 1, 1 \dots 1, 2$ - коефіцієнт зміщення.

Тоді функція для знаходження екстремуму з обмеженням матиме вигляд

$$FA = A + \lambda(r_1^2 + r_2^2 - m(r_4^2 + r_3^2)). \quad (2.11)$$

де λ - множник Лагранжа.

Для пошуку екстремуму функції (2.11) необхідно розв'язати систему рівнянь з похідних першого порядку по довжинах ланок та множнику Лагранжа. Ці похідні мають вигляд:

$$dps_1 = \frac{\partial FA}{\partial r_1} = r_1 \lambda - K + L;$$

$$\frac{\partial FA}{\partial r_2} = 2r_2 \lambda - M + N;$$

$$\frac{\partial (FA)}{\partial r_4} = O + T + R - S;$$

$$\frac{\partial FA}{\partial \lambda} = r_1^2 + r_2^2 - m(r_4^2 + 4,84s^2),$$

де

$$S = \frac{1}{2r_4^2} dP_0 \times \left(\begin{aligned} & -0,423ar_1 - \frac{3,905r_1(ar_1 + r_4)}{r_4} + \\ & + \frac{0,437r_1(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{\sqrt{r_2^2 r_4^2} (0,906ar_4 - 0,868(ar_1 + r_4))}{r_4^2} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{4r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2} (ar_1 + r_4)(0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^3} \end{aligned} \right);$$

$$K = \frac{1}{2 \cdot r_4} dP_0 \times \left(\begin{aligned} & -0,424a - \frac{0,868 \cdot a \cdot r_1}{r_4} - \frac{3,905 \cdot a \cdot \sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2}}{r_4^2} - \frac{0,868(a \cdot r_1 + r_4)}{r_4} - \\ & - \frac{4 \cdot r_1 \cdot \sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (a \cdot r_1 + r_4)}{(r_1 - 0,976 \cdot r_4)r_4^3} + \frac{2,704 \cdot r_1(4ar_1 + 2r_4)}{r_4^2} + \frac{2,704(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \left(\frac{r_1(-0,802r_1 + r_4)}{(r_1^2 - r_4^2)^{3/2}} - \frac{0,802}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2 \left(1 + \frac{(-0,802r_1 + r_4)^2}{r_1^2 - r_4^2} \right)} + \\ & + \frac{8r_1^2(ar_1 + r_4) \arctan\left(\frac{-0,802 \cdot r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2 \sqrt{r_1^2 - r_4^2}} + \frac{8ar_1\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{8(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{4ar_1\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2} (0,497 - \log(1,643(r_1 - 0,976r_4)))}{r_4^3} + \\ & + \frac{4\sqrt{r_2^2 r_4^2} (ar_1 + r_4)(0,497 - \log(1,643(r - 0,976r_4)))}{r_4^3} \end{aligned} \right);$$

$$N = \frac{dP_0 \left(\frac{r_2 (0,906ar_4 - 0,868(ar_1 + r_4))}{\sqrt{r_2^2 r_4^2}} + \frac{4r_1 r_2 (ar_1 + r_4) (0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4 \sqrt{r_2^2 r_4^2}} \right)}{2r_4};$$

$$M = \frac{dP_0 \left(\frac{r_2 (-0,906ar_4 - 3,905(ar_1 + r_4))}{\sqrt{r_2^2 r_4^2}} + \frac{4r_1 r_2 (ar_1 + r_4) (0,497 - \log(1,643 \cdot (r_1 - 0,976r_4)))}{r_4 \sqrt{r_2^2 r_4^2}} \right)}{2r_4};$$

$$L = \frac{1}{2r_4} dP_0 \times \left(\begin{aligned} & -0,423a - \frac{3,905ar_1}{r_4} - \frac{0,868a\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2}}{r_4^2} - \frac{3,905(ar_1 + r_4)}{r_4} - \frac{4r_1 \sqrt{r_2^2 r_4^2} (ar_1 + r_4)}{(r_1 - 0,217r_4)r_4^3} + \\ & + \frac{0,437r_1(4ar_1 + 2r_4)}{r_4^2} + \frac{0,437(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \left(-\frac{r_1(-0,110r_1 + r_4)}{(r_1^2 - r_4^2)^{3/2}} - \frac{0,110}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2 \left(1 + \frac{(-0,110r_1 + r_4)^2}{r_1^2 - r_4^2} \right)} + \\ & + \frac{8r_1^2(ar_1 + r_4) \arctan\left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2 \sqrt{r_1^2 - r_4^2}} + \frac{8ar_1 \sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{8(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{4ar_1 \sqrt{r_2^2 r_4^2} (0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^3} + \\ & + \frac{4\sqrt{r_2^2 r_4^2} (ar_1 + r_4) (0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^3} \end{aligned} \right);$$

$$T = \frac{1}{2r_4^2} dP_0 \times \left(\begin{aligned} & -0,423ar_1 - \frac{0,868r_1(ar_1 + r_4)}{r_4} + \frac{2,704r_1(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{\sqrt{r_2^2 r_4^2}(-0,906ar_4 - 3,905(ar_1 + r_4))}{r_4^2} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} + \\ & + \frac{4r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(ar_1 + r_4)(0,497 - \log(1,643(r_1 - 0,976r_4)))}{r_4^3} \end{aligned} \right)$$

$$O = \frac{1}{2r_4} dP_0 \left(\begin{aligned} & -\frac{0,868r_1}{r_4} + \frac{(-3,905 - 0,906a)\sqrt{r_2^2 \cdot r_4^2}}{r_4^2} + \frac{0,868r_1(ar_1 + r_4)}{r_4^2} + \\ & + \frac{3,905r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(ar_1 + r_4)}{(r_1 - 0,976187r_4)r_4^3} + \frac{2,704r_1(2r_1 - 2ar_4)}{r_4^2} - \\ & - \frac{5,408r_1(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^2} + \\ & + \frac{r_2^2(-0,906ar_4 - 3,906(ar_1 + r_4))}{r_4\sqrt{r_2^2 r_4^2}} - \\ & - \frac{2\sqrt{r_2^2 r_4^2}(-0,906ar_4 - 3,905(ar_1 + r_4))}{r_4^3} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \left(\frac{r_4(-0,802r_1 + r_4)}{(r_1^2 - r_4^2)^{3/2}} + \frac{1}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2 \left(1 + \frac{(-0,802r_1 + r_4)^2}{r_1^2 - r_4^2} \right)} - \\ & - \frac{8r_1(ar_1 + r_4) \arctan\left(\frac{-0,802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} + \\ & + \frac{8r_1\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^2} - \\ & - \frac{16r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan\left(\frac{-0,802r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}}\right)}{r_4^3} + \\ & + \frac{4r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(0,497 - \log(1,643(r_1 - 0,976r_4)))}{r_4^3} + \\ & + \frac{4r_1r_2^2(ar_1 + r_4)(0,497 - \log(1,643(r_1 - 0,976r_4)))}{r_4^2\sqrt{r_2^2 r_4^2}} - \\ & - \frac{12r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(ar_1 + r_4)(0,497 - \log(1,643(r_1 - 0,976r_4)))}{r_4^4} \end{aligned} \right);$$

$$R = \frac{1}{2r_4} dP_0 \times \left(\begin{aligned} & - \frac{3,905r_1}{r_4} + \frac{(-0,868 + 0,906a)\sqrt{r_2^2 r_4^2}}{r_4^2} + \frac{3,905r_1(ar_1 + r_4)}{r_4^2} + \\ & + \frac{0,868r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(ar_1 + r_4)}{(r_1 - 0,217r_4)r_4^3} + \frac{0,437r_1(2r_1 - 2ar_4)}{r_4^2} - \\ & - \frac{0,875r_1(2ar_1^2 + 2r_1r_4 - ar_4^2)}{r_4^3} + \frac{r_2^2(0,906ar_4 - 0,868(ar_1 + r_4))}{r_4\sqrt{r_2^2 r_4^2}} - \\ & - \frac{2\sqrt{r_2^2 r_4^2}(0,906ar_4 - 0,868(ar_1 + r_4))}{r_4^3} + \\ & + \frac{8r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \left(\frac{r_4(-0,110r_1 + r_4)}{(r_1^2 - r_4^2)^{3/2}} + \frac{1}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2 \left(1 + \frac{(-0,110r_1 + r_4)^2}{r_1^2 - r_4^2} \right)} - \\ & - \frac{8r_1(ar_1 + r_4) \arctan \left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} + \frac{8r_1\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan \left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^2} - \\ & - \frac{16r_1(ar_1 + r_4)\sqrt{r_1^2 - r_4^2} \arctan \left(\frac{-0,110r_1 + r_4}{\sqrt{r_1^2 - r_4^2}} \right)}{r_4^3} + \\ & + \frac{4r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^3} + \\ & + \frac{4r_1r_2^2(ar_1 + r_4)(0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^2\sqrt{r_2^2 r_4^2}} - \\ & - \frac{12r_1\sqrt{r_2^2 r_4^2}(ar_1 + r_4)(0,012 - \log(1,012(r_1 - 0,217r_4)))}{r_4^4} \end{aligned} \right)$$

Спільне розв'язання системи рівнянь складених з часткових похідних числовим методом при заданій довжині $r_3 = S + s$ та для заданого діаметра пня d урахуванням того, що наприклад для гідроциліндра $S = (1,15 - 1,20)s$, дозволяють побудувати графіки залежності оптимальних розмірів ланок рейферного механізму рис 2.3 - 2.5.

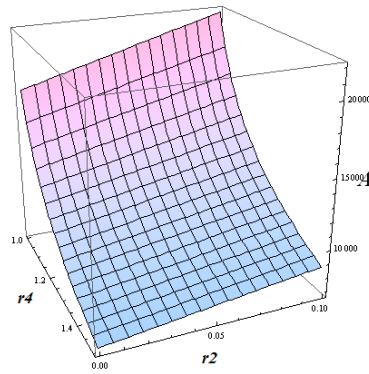


Рисунок 2.3 - Залежність зміни величини роботи A в залежності від зміни довжини щелепи (r_4) та відстані між центром грейферного механізму і точкою кріплення гідроциліндра (r_2).

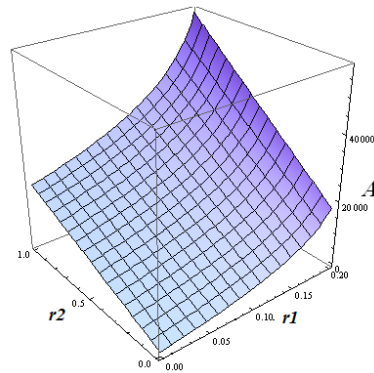


Рисунок 2.4 - Залежність зміни величини роботи A , в залежності від зміни відстані між центром грейферного механізму і точкою кріплення гідроциліндра (r_2) та відстані між центром грейферного механізму та точкою з'єднання підкопувальних щелеп (r_1).

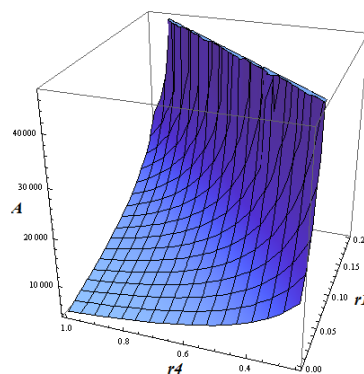


Рисунок 2.5 - Залежність зміни величини роботи A від зміни довжин підкопувальної щелепи (r_4) та відстані між центром грейферного механізму та точкою з'єднання підкопувальних щелеп (r_1).

Так, наприклад при $d = 0,3$ м, $s = 0,2$ м оптимальні довжини ланок мають значення: $r_1 = 0,84$, $r_1 \rightarrow 0$, $r_4 = 0,59$.

Таким чином шляхом аналізу грейферного механізму з застосуванням функції роботи ведучого ланцюга визначено оптимальні співвідношення довжин ланок, що забезпечують мінімум витрат енергії.

2.2 Визначення прогинів кореня розміщеного в ґрунті під дією на нього зусилля в статичному режимі

В процесі руйнування коренів дерев у ґрунті, під дією на них робочого органу корчувача, виникає необхідність вивчення взаємодії коренів різних діаметрів з робочим органом корчувача для прогнозування режимів роботи корчувача. На сьогодні теоретичні та експериментальні дослідження по опору корчуванню коренів дерев, спрямовані на визначення зусилля яке необхідне для здійснення руйнування коренів та їх зв'язків з ґрунтом. При цьому проведені дослідження по визначенню зусиль, що прикладаються у вертикальній або горизонтальній площинах, та так зване комбіноване зусилля (прикладається одночасно в двох площинах). Оскільки на сьогодні відсутні дані про дослідження які б встановлювали залежність статичного прогину жорстко закріпленого кореня, що знаходиться в ґрунті, від місця прикладання зосередженої сили, властивостей ґрунту та матеріалу кореня пня, здійснимо встановлення залежностей статичного прогину жорстко закріпленого кореня, що знаходиться у ґрунті від: місця прикладання зосередженої сили, властивостей ґрунту та матеріалу кореня пня.

Корінь, що відгалужується від пня закріплений на ньому жорстко та спирається на ґрунтову основу. В цьому випадку при дії на нього сили з боку лапи корчувача задача може зводитись до дії зосередженої сили на консольну балку, що спирається на пружну основу.

При розв'язанні задачі введемо наступні припущення та спрощення:

- прогин розглядається в межах пружних деформацій;

- корінь має постійний діаметр у межах ділянки, що розглядається;
- коефіцієнт опору основи пропорційний величині поперечного зміщення;
- прогин відбувається в площині в якій діє прикладена сила.

Схема такої взаємодії може бути формалізована як задача про прогин жорстко закріпленої балки, що лежить на пружній основі, зосередженою силою. Схема такої балки представлена на рис. 2.6.

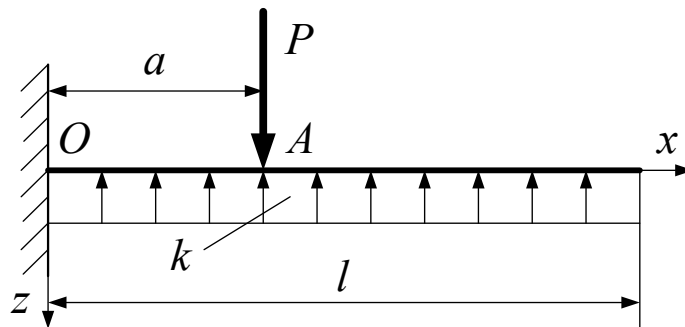


Рисунок 2.6 - Схема взаємодії лапи корчувача з коренем.

На відстані a від закріплення балки діє зосереджена сила P з боку лапи корчувача. Основа (ґрунт), на якій знаходиться балка чинить опір пропорційний переміщенню $z(x)$ з коефіцієнтом пропорційності для плоскої постановки задачі:

$$k = \frac{E_s}{1 - \nu^2},$$

де E_s - модуль пружності лінійних деформацій ґрунту;

ν - коефіцієнт Пуассона для ґрунту.

Згинальна жорсткість кореня за умов постійного по довжині діаметра має вигляд

$$D = \frac{\pi d_k^3}{32} E_k,$$

де E_k - модуль пружності лінійних деформацій кореня;

d_k - діаметр кореня.

Рівняння рівноваги балки у загальному вигляді має вигляд:

$$D z''''(x) + k z(x) = 0. \quad (2.12)$$

Якщо ввести позначення $G = \sqrt[4]{\frac{k}{4D}}$, тоді рівняння (2.12) прийме вигляд

$$z''''(x) + z(x)4G^4 = 0. \quad (2.13)$$

Розв'язок рівняння (2.13) можна представити в наступних виглядах:

- для випадку $-\infty < x < \infty$.

$$z = e^{(-1)^{3/4}\sqrt{2G}x}C_1 + e^{(-1)^{1/4}\sqrt{2G}x}C_2 + e^{(-1)^{3/4}\sqrt{2G}x}C_3 + e^{(-1)^{1/4}\sqrt{2G}x}C_4; \quad (2.14)$$

- для випадку $0 \leq x$.

$$z = \cosh(Gx)\cos(Gx)C_1 + \cosh(Gx)\sin(Gx)C_2 + \\ + \sinh(Gx)\cos(Gx)C_3 + \sinh(Gx)\sin(Gx)C_4. \quad (2.15)$$

Для випадку консольної балки може бути використаний розв'язок (2.15).

Постійні інтегрування, що входять до рівняння (2.15) можуть бути визначені з граничних умов

Першої граничною умовою є переміщення в т. О, яке дорівнює нулю.

При $x = 0$

$$\cosh(0)\cos(0)C_1 + \cosh(0)\sin(0)C_2 + \\ + \sinh(0)\cos(0)C_3 + \sinh(0)\sin(0)C_4 = 0,$$

Звідки: $C_1 = 0$.

Тоді рівняння (2.15) прийме вигляд

$$z = \cosh(Gx)\sin(Gx)C_2 + \sinh(Gx)\cos(Gx)C_3 + \sinh(Gx)\sin(Gx)C_4. \quad (2.16)$$

Поворот перетину в точці закріплення балки т. О відсутній, тобто

$$\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=0} = 0.$$

Похідна від рівняння (2.16)

$$\frac{dz}{dx} = G \left(\cosh(Gx) \left((C_2 + C_3) \cos(Gx) + C_4 \sin(Gx) \right) + \right. \\ \left. + C_4 \cos(Gx) + (C_2 - C_3) \sin(Gx) \sinh(Gx) \right),$$

при $x = 0$: $\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=0} = GC_2 + GC_3 = 0$, звідки $C_2 = -C_3$.

Тоді вираз (2.16) набуде вигляду

$$z = -C_3 \cosh(Gx) \sin(Gx) + C_3 \cos(Gx) \cdot \sinh(Gx) + C_4 \sin(Gx) \sinh(Gx). \quad (2.17)$$

Згинальний момент в точці прикладання зосередженої сили, тобто дії лапи корчувача повинен дорівнювати 0, оскільки розподілений опір основи слід розглядати як реакцію. Тобто фіктивний момент в точці А

$$\left. \frac{d^2 z}{dx^2} \right|_{x=a} = 0.$$

Другий диференціал виразу (2.16) матиме вигляд

$$\frac{d^2 z}{dx^2} = 2G^2 C_4 \cos(Gx) \cosh(Gx) - 2G^2 C_3 \cosh(Gx) \sin(Gx) - 2G^2 C_3 \cos(Gx) \sinh(Gx). \quad (2.18)$$

Прирівнювання виразу (2.18) при $x = a$ дозволяє визначити значення третьої постійної інтегрування

$$C_3 = \frac{C_4 \cos(aG) \cosh(aG)}{\cosh(aG) \sin(aG) + \cos(aG) \sinh(aG)}.$$

З урахуванням C_3 вираз (2.17) набуде виду

$$z = \frac{\left(C_4 \left(\cos(aG) \sin(Gx) \sinh(aG) \sinh(Gx) + \cosh(aG) \left(-\cos(aG) \cosh(Gx) \sin(Gx) + \cos(G(a-x)) \sinh(Gx) \right) \right) \right)}{\cosh(aG) \sin(aG) + \cos(aG) \sinh(aG)}. \quad (2.19)$$

Четверта постійна інтегрування може бути отримана з умови, що фіктивний момент в початковому перерізі кореня, тобто в точці закріплення відомий і дорівнює

$$M_0 = \frac{Pa}{D}.$$

Прирівнюючи другу похідну від виразу (2.19) до цього фіктивного моменту можна отримати четверту невідому постійну C_4

$$C_4 = \frac{aP}{2DG^2}.$$

З урахуванням всіх чотирьох визначених постійних інтегрування прогин кореня виразиться залежністю

$$\begin{aligned}
 & (1+i)a\sqrt{\frac{k}{d}}P \times \\
 & \left(\cos \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \sinh \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) + \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) + \right. \\
 & \left. - \cos \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \cosh \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \right) \cdot \\
 & \times \left(\cosh \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \cdot \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) + \right. \\
 & \left. + \cos \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} (a-x)}{\sqrt{2}} \right) \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \right) \\
 & ZK = \frac{\left(\cos \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \sinh \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) + \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) + \right. \\
 & \left. - \cos \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \cosh \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \right) \cdot \left(\cosh \left(\frac{a \left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right) \cdot \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) + \right. \\
 & \left. + \cos \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} (a-x)}{\sqrt{2}} \right) \sin \left(\frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}} x}{\sqrt{2}} \right) \right)}{k \left(\sin \frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} + \sinh \frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}} \right)} \quad (2.20)
 \end{aligned}$$

Встановлена аналітична залежність прогину жорстко закріпленого до пня кореня, що лежить на пружній ґрунтовій основі, дозволяє встановити місця виникнення як максимальних моментів так і максимальних поперечних сил, що діють у корені навантаженому лапою корчувача. Дана залежність дозволяє побудувати графіки прогину кореня в ґрунті в залежності від величини сили з якою робочий орган діє на корінь, місця прикладення сили робочим органом та діаметра кореня (рис. 2.7 - 2.9). Крім того ця залежність є основою для порівняльного аналізу з динамічним навантаженням, а також для розв'язання задачі про коливання кореня при динамічній дії лапи

корчувача, оскільки ця залежність входить в розв'язок рівняння коливань при аналогічних граничних умовах.

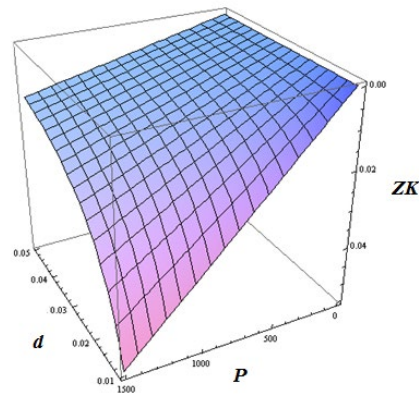


Рисунок 2.7 - Залежність величини прогину ZK кореня розміщеного у ґрунті, від величини прикладеної сили P , та діаметра кореня d .

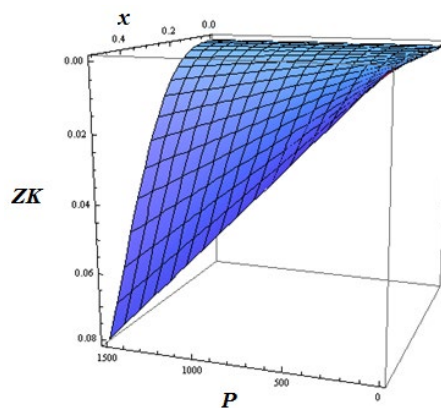


Рисунок 2.8 - Залежність величини прогину ZK кореня розміщеного у ґрунті, від величини прикладеної сили P , та відстані між точкою кріплення кореня до пня і точкою прикладення сили x .

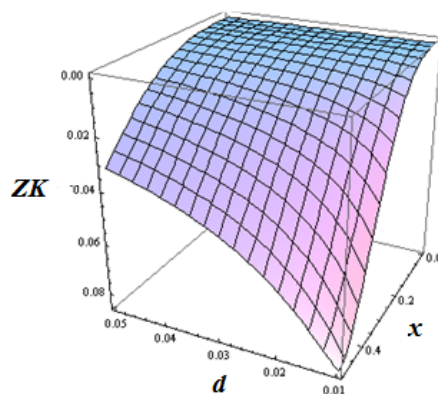


Рисунок 2.9 - Залежність прогину ZK кореня розміщеного у ґрунті від відстані від пня до точки прикладення сили x та діаметра d .

Висновки

1. На підставі проведеного аналізу взаємодії робочого органу корчувача із коренями пня в ґрунті, визначено оптимальні співвідношення довжин ланок його ланок, при яких забезпечується мінімум витрат енергії.

2. Встановлено залежність прогину жорстко закріпленого до пня кореня, що лежить в ґрунті, від величини та місця прикладення сили робочим органом корчувача.

3. Виведено залежність прогину кореня пня у ґрунті, від величини сили та частоти її прикладення з боку робочого органа корчувача.

4. Отримано співвідношення величини прогину кореня з напруженням, що при цьому в ньому виникає.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ: ПРОГРАМА І МЕТОДИКА

3.1 Програма експериментальних досліджень

На підставі аналізу стану питання і виконаних теоретичних досліджень складено наступну програму експериментальної роботи:

1. Провести лабораторні дослідження по визначенню механічних властивостей коренів дерев та ґрунту під час яких:

- уточнити фізико-механічні властивості ґрунту;
- визначити власні частоти коливань коренів дерев у ґрунті.

2. Виконати лабораторні дослідження процесу руйнування коренів дерев у ґрунті під час яких:

- визначити зусилля необхідні для руйнування коренів дерев у ґрунті при дії на них статичного зусилля;
- визначити зусилля необхідні для руйнування коренів дерев у ґрунті при дії на них періодичного зусилля.

3. Розробити експериментальний зразок машини з вібраційним робочим органом, провести його лабораторно-польові дослідження при яких визначити:

- енергетичні затрати на здійснення корчування вібраційним робочим органом;
- адекватність отриманих та теоретичних результатів;
- техніко-економічні показники машини.

4. Визначити економічну ефективність застосування у виробництві вібраційного корчувача пнів.

3.2. Методика визначення механічних властивостей ґрунту

З метою виконання програми досліджень по визначенню механічних

властивостей ґрунту було проведено наступні дослідження.

Визначення коефіцієнта Пуассона.

Коефіцієнт Пуассона визначається як відношення поперечної деформації ґрунтового зразка до поздовжньої, при дії на нього поздовжнього зусилля за умови одновісного стиску

$$\nu = \frac{\delta}{\varepsilon},$$

де δ - поперечна деформація, являє собою відношення приросту ширини ґрунтового зразка Δb до його початкової ширини b ,

$$\delta = \frac{\Delta b}{b},$$

де ε - поздовжня деформація, являє собою відношення зміни висоти ґрунтового зразка Δl , до його початкової висоти l

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}.$$

Для визначення даних параметрів було розроблено і застосовано наступну лабораторну установку. В жорсткій рамній конструкції розміщувалась ємність заповнена рідиною

В цю ємність поміщався циліндричний зразок ґрунту, вкритий еластичною оболонкою. Зверху, на даний зразок, через пуансон здійснювався тиск за допомогою гідравлічного домкрата.

Для визначення поздовжньої деформації зразка Δl застосовувалась мірна шкала закріплена на пуансоні.

Зазнаючи впливу пуансона, ґрунтовий зразок зменшував свої розміри в поздовжній площині. При цьому його розміри в поперечній площині збільшувались. Збільшення розміру в поперечній площині, призводило до деформацій еластичної оболонки, що викликало збільшення займаного зразком об'єму. Це призводило до витіснення рідини з ємності в якій розміщувався зразок.

Витіснена рідина перетікала до мірної склянки, за допомогою якої визначався її об'єм. Знаючи об'єм витісненої рідини після деформації зразка та враховуючи початковий діаметр зразка, за допомогою формул визначалась його лінійна деформація в поперечній площині.

Зміна ширини зразка визначалась за залежністю

$$\Delta b = 2(R - r),$$

де R - радіус ґрунтового зразка після деформування, визначається за залежністю $R = \sqrt{\frac{V + \pi \cdot r^2 \cdot h}{\pi \cdot h}}$,

де r - радіус ґрунтового зразка перед початком деформування;

V - об'єм води, витісненої до мірної склянки, в процесі деформації ґрунтового зразка;

h - зміна довжини ґрунтового зразка в площині по якій здійснювався вплив пуансона.

Дослід проводився в трикратній повторюваності. Для кожного значення лінійної деформації зразка у вертикальній площині, визначалось значення лінійної деформації у горизонтальній площині. Визначивши відношення цих двох величин отримували значення коефіцієнта Пуассона для даного зразка ґрунту. Модуль пружності лінійних деформацій ґрунту визначався за наступною методикою.

Для визначення модуля пружності лінійних деформацій ґрунтового зразка скористаємося формулою

$$E = \frac{K}{P},$$

де K - коефіцієнт деформації ґрунту

$$K = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\%.$$

Коефіцієнт деформації являє собою відношення зміни висоти ґрунтового зразка Δh , до початкової висоти ґрунтового зразка h і виражається в відсотках.

Величина тиску, що діє на ґрунтовий зразок, виражається за формулою

$$P = \frac{F}{\pi r^2},$$

де F - сила, що прикладається для деформації ґрунтового зразка, r - радіус основи пуансона по площі якої відбувається контакт з об'ємом ґрунту.

Для визначення модуля пружності ґрунту було розроблено і використано наступну лабораторну установку.

До силівимірювальної машини FM-1000 встановлювався металевий стакан заповнений ґрунтом з ущільненням близьким до природного. На поверхню ґрунту, за допомогою пуансона (рис. 3.8) передавалось зусилля створюване силівимірювальною машиною. При цьому спостерігалось ущільнення ґрунту і відповідно зменшення об'єму ґрунту розміщеного в стакані.

При цьому за допомогою тензометричного датчика здійснювалось вимірювання величини переміщення пуансона. Значення сили прикладеної до пуансона вимірювалося за допомогою динамометра тензометричного (дані засоби вимірювальної техніки використовувались і в попередньому досліді по визначенню залежності прогину коренів дерев у ґрунті під дією статичної та періодично прикладеної сил), були повірені в Українському центрі стандартизації метрології та сертифікації і мали чинні свідоцтва про повірку.

3.3 Визначення власних частот коливань коренів дерев

Для виконання програми досліджень по визначенню механічних властивостей коренів дерев, було розроблено наступну лабораторну установку.

Установка складається з масивної основи до якої жорстко фіксувався один кінець кореневого зразка.

До вільного кінця кріпиться датчик коливань, що фіксував коливання кореня, отриманий від датчика коливань сигнал надходив до аналого-

цифрового перетворювача. Аналого-цифровий перетворювач здійснював перетворення отриманих сигналів у послідовність цифрових кодів, які далі оброблялися за допомогою персонального комп'ютера.

Обробка отриманих даних за допомогою програмного продукту Mathematica, дозволяє побудувати графічні залежності прискорень за часом для точки в якій датчик коливань кріпиться до кореневого зразка. Отримані з даних графіків значення декримента затухань a_2/a_1 , та значення періоду коливань τ , встановлюємо до залежності

$$E = \frac{8}{45d^4\pi\tau^2} \left(360l^3m\pi^2 - 90l^3m \left(\ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \right)^2 + \sqrt{30} \sqrt[3]{ \begin{matrix} l^6 \left(4\pi^2 - \left(\ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \right)^2 \right) \times \\ \left(\pi^2 (1080m^2 + 13d^4gl\tau^2\rho^2) - \right. \\ \left. -270m^2 \left(\ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \right)^2 \right) \end{matrix} } \right),$$

та після здійснення обрахунків отримаємо значення модуля пружності кореневого зразка E . Для отримання значення коефіцієнта в'язкості μ скористаємось залежністю (3.19)

$$\mu = - \frac{8l(135Em + 52gl^4\pi\rho^2) \ln\left(\frac{a_2}{a_1}\right)}{135d^2E\pi\tau}.$$

3.4 Лабораторна установка для дослідження процесу деформування коренів дерев

Для виконання програми досліджень процесу руйнування коренів дерев у ґрунті, було розроблено лабораторну установку загальний вигляд якої наведено на рис. 3.1.



Рисунок. 3.1 - Лабораторна установка для дослідження процесу руйнування коренів дерев у ґрунті.

Установка складається з двох рамних конструкцій, перша являє собою рамну конструкцію зварену з металевих куточків, та двох швелерів, що утворюють верхню та нижню основи. В верхній основі виконано отвір, для підвішування даної конструкції до тяг випробувальної машини.

Друга частина установки, являє собою жорстку рамну конструкцію, зварену зі сталюого кутика. До нижньої частини приварена металева полоса, що має отвір, призначений для кріплення даної конструкції до тяг випробувальної машини. В верхній частині установки кріпиться фрагмент ножа. Для зміни кута нахилу фрагмента ножа, в бічних сторонах передбачено низку отворів, що дозволяє змінювати положення верхньої сторони, фіксуючи її за допомогою болтових з'єднань.

Контрольно-вимірювальна апаратура включає в себе:

- динамометр тензометричний;
- екстензометр;
- підсилювач сигналів;
- аналого-цифровий перетворювач;
- ЕОМ.

Динамометр тензометричний, ДМТ-50, максимальне навантаження 50

кН, змінює параметри струму, що проходить крізь нього, в залежності від сили механічного навантаження.

Екстензометр ИМДТ-20, змінює параметри струму, що проходить крізь нього, в залежності від зафіксованого ним механічного переміщення. Технічні характеристики екстензометру: робочий хід 20мм., живлення 12В постійного струму.

Для підсилення отриманих сигналів, використовувався блок нормалізаторів сигналів ADAM 3016.

Отримані сигнали перетворювались в послідовність цифрових кодів за допомогою аналого-цифрового перетворювача PSI-9113 (тактова частота 100kHz) виконаного у вигляді плати інтегрованої в ПЕОМ.

Персональний комп'ютер - здійснював реєстрацію й подальшу обробку отриманих даних.

Реєстрація та обробка сигналів здійснювалась в програмному середовищі FAST REG.

Дослід проводився в наступній послідовності.

Дане устаткування встановлювалось до випробувальної машини, за допомогою якої створювались необхідні зусилля.

Простір, утворений в основі першої частини лабораторної установки, заповнювався ґрунтом з ущільненням близьким до природного. На цій основі розміщувався кореневий зразок. Один з його кінців при цьому жорстко защемлювався за допомогою фіксуючого пристрою (чим створювались необхідні вихідні умови).

Другу частину лабораторної установки підводили за допомогою гвинтового механізму так, щоб отримати контакт ножа з кореневим зразком. Після цього вмикали в дію випробувальну машину і спостерігали процес деформування кореневого зразка, фіксуючи при цьому за допомогою контрольно-виміральної апаратури, переміщення ножа, а отже і величину деформування кореня та механічне зусилля яке до цього призводило. Після руйнування кореня дослід припиняли.

Для виконання досліджень процесу руйнування коренів дерев в режимі періодичного прикладення зусилля, лабораторна установка кріпиться до тяг силовиміральної машини через генератор коливань.

Частота коливань створюваних даним генератором задається за допомогою генератора частоти (рис. 3.20), який генерує вихідний сигнал з частотою в діапазоні від 10 до 150 Hz. Це дозволяло створювати періодичність в прикладенні зусилля впливу на кореневий зразок в даному частотному діапазоні.

3.5 Методика польових досліджень експериментального зразка машини

Метою проведення польових досліджень вібраційного корчувача пнів, було здійснити перевірку теоретичних розрахунків геометричних розмірів та кінематичних параметрів.

Основними завданнями польових досліджень були:

- перевірка ефективності технології корчування пнів за допомогою запропонованого вібраційного корчувача пнів;
- визначення роботоздатності конструкції запропонованого корчувача;
- визначення зусиль опору корчуванню за допомогою запропонованого корчувача.

Дослідження виконуються за стандартною методикою. В процесі дослідження здійснюються вимірювання корчувальних зусиль і фактичної продуктивності корчувача.

Визначення фактичної продуктивності вібраційного корчувача здійснюється шляхом визначення кількості пнів викорчуваних за одиницю часу.

Для відліку часу нами застосовується секундомір.

Окрім цього проводиться визначення діаметрів пнів та визначається середня товщина пня.

Якість проведеної роботи визначається візуально, враховується діаметр воронки, видалення кореневої системи, стан родючого шару ґрунту, після здійснення корчування.

Для визначення зусиль опору корчуванню, запропонованим способом, під'єднуємо до гідросистеми приводу підкопувальних щелеп манометр, таким чином (рис. 3.21), щоб можна було фіксувати значення тиску, що створюється за допомогою гідронасоса в напірних магістралях гідроциліндрів приводу підкопувальних щелеп, під час здійснення підкопування пня.

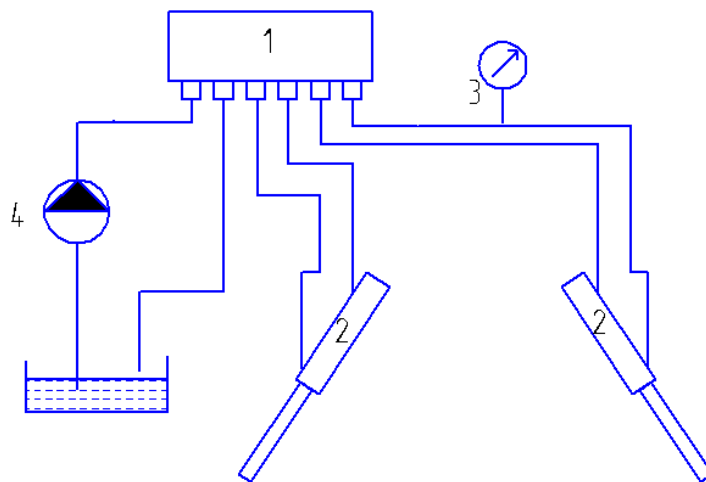


Рисунок 3.2 - Під'єднання манометрів до напірних магістралей гідроприводу: 1 - гідророзподільник, 2 - гідроциліндри, 3 - манометр, 4 - гідронасос.

Таким чином можна отримати значення тиску, що виникає в напірних магістралях гідроциліндрів, в момент корчування. Використовуючи отримані дані, що відповідають різним діаметрам пнів, отримуємо зусилля на штоках гідроциліндрів приводу підкопувальних щелеп та зусилля опору корчуванню відповідно

$$F = P \cdot S,$$

де F - зусилля, що створюється на штоках гідроциліндрів, κH ;

P - тиск оливи в напірній магістралі, $\kappa Па$;

S - площа поршня гідроциліндра, m^2 .

Врахувавши довжини ланок підкопувальних щелеп, отримаємо зусилля опору корчуванню.

Висновки

1. Розроблено програму і методику експериментальних лабораторно-польових досліджень, приведено опис та загальні види обладнання, засобів для проведення досліджень, розроблено методику визначення механічних властивостей матеріалу коренів пнів, шляхом дослідження частот власних коливань.

2. Для проведення лабораторних експериментальних досліджень розроблено і виготовлено установки для визначення модуля бічного розширення ґрунту, модуля пружності лінійних деформацій ґрунту, та визначення деформації коренів на ґрунтовій основі.

3. При дослідженні процесу деформування коренів на ґрунтовій основі використано випробувальну машину, для визначення величини деформації коренів в процесі досліджень використано екстензометр ИМДТ-20, для визначення величини сили впливу на корінь пня, використано динамометр тензометричний, ДМТ-50, максимальне навантаження 50 кН, для підсилення отриманих сигналів, використовувався блок нормалізаторів сигналів ADAM 3016.

4. Розроблено установку для визначення частот власних коливань коренів дерев. Визначення сили необхідної для підкопування пнів робочим органом корчувача здійснюється шляхом визначення величини тиску в напірних магістралях гідроциліндрів приводу робочих органів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення модуля пружності лінійних деформацій ґрунту

Лабораторні дослідження проводились з використанням лабораторної установки описаної в розділі 3.2. Здійснювався експеримент у наступній послідовності.

Металевий стакан заповнювався ґрунтом з ущільненням близьким до природного. На поверхні ґрунту розміщувався металевий диск діаметр якого підбирався згідно внутрішнього діаметра металевого стакана, що давало йому змогу вільно переміщуватись всередині останнього, уникаючи при цьому витіснення маси ґрунту зі стакана, з простору, що утворювався під диском. Потім стакан з ґрунтом встановлювався до силовимірювальної машини FM-1000.

На диск встановлювався пуансон, через який здійснювалось прикладення зусилля. Після цього вмикалась в дію силовимірювальна машина, яка через пуансон здійснювала ущільнення ґрунту.

Під час ущільнення ґрунту, переміщення пуансона фіксувалось за допомогою екстензометру ИМДТ-20. В цей же час за допомогою тензометричного динамометра проводилось вимірювання сили з якою пуансон чинив вплив на ґрунт.

Отримані дані через блок нормалізаторів сигналів ADAM 3016 передавалися на персональний комп'ютер. На комп'ютері отримані значення оброблялись за допомогою програмного забезпечення FAST REG і після їх конвертації до програми Microsoft Excel, дозволяли побудувати графік залежності переміщення пуансона від величини прикладеного до нього зусилля (рис. 4.1). Дослід проводився у трикратній послідовності. Після цього, маючи початкову величину ґрунтового зразка та визначивши величину

його деформації, за допомогою формули $K = \frac{\Delta h}{h} 100\%$,

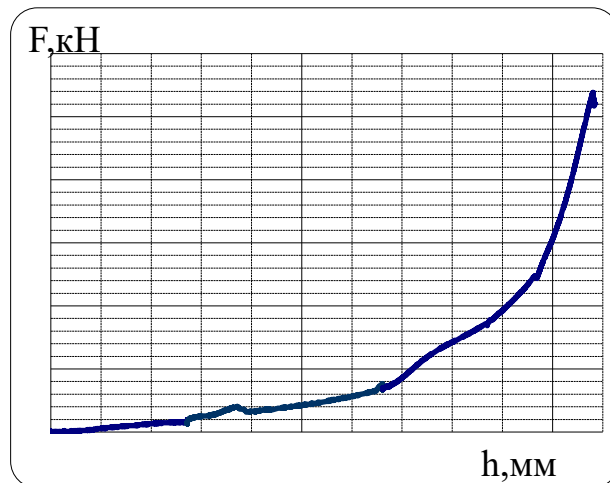


Рисунок 4.1 - Залежність величини переміщення пуансона від величини сили впливу на ґрунтовий зразок.

Далі, знаючи діаметр металевого диска по площині котрого здійснювався вплив на ґрунтовий зразок та визначивши величину сили впливу, за допомогою формули $P = \frac{F}{\pi r^2}$, визначалась величина тиску, який чинив пуансон діючи на ґрунтовий зразок, під час досліджень.

Підставивши у наведені формули відповідні значення, за допомогою програми Microsoft Excel, будувались графіки залежності коефіцієнта деформації ґрунту від величини тиску, що викликає дані деформації (рис. 4.2).

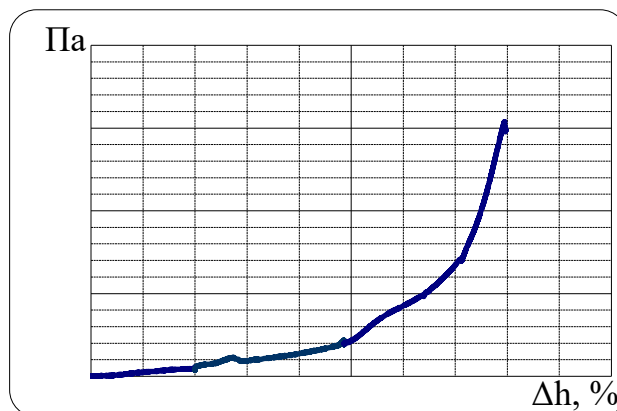


Рисунок 4.2 - Залежність коефіцієнта деформації ґрунту від величини тиску.

4.2 Визначення коефіцієнта бічного розширення для ґрунту

Для даного дослідження використовувався ґрунт тієї ж структури, що і для попередніх досліджень, з метою визначення всіх характеристик на одній партії ґрунту.

Після формування з ґрунту зразка циліндричної форми, останній поміщався в еластичну оболонку і розміщувався у ємності заповненій рідиною. Після цього на зразок за допомогою пуансона здійснювався механічний вплив. При цьому спостерігалось зменшення розмірів зразка у поздовжній площині та збільшення розмірів у поперечній площині.

Для визначення величини зміни розміру у поздовжній площині використовувалась мірна шкала. Дані фіксувалися і заносилися до таблиці. Одночасно зі зменшенням розмірів ґрунтового зразка у поздовжній площині, відбувалось збільшення його розмірів у поперечній площині. Збільшення розмірів зразка у поперечній площині призводило до розширення еластичної оболонки яка його вкривала.

Оскільки зразок, вкритий еластичною оболонкою розміщувався в посудині заповненій рідиною це призводило до витіснення останньої до мірної склянки. За допомогою мірної склянки визначався об'єм витісненої рідини. Дослід проводився у трикратній повторюваності, після чого визначалось середнє значення яке заносилось до таблиці.

Таблиця 4.1 - Залежність об'єму витісненої рідини від величини поздовжньої деформації

Початковий розмір зразка у поздовжній площині (мм)	Розмір зразка у поздовжній площині після деформації (мм)	Зміна розмірів зразка в поздовжній площині (Δl), мм	Об'єм витісненої рідини (10^3 мм ³)
116	51	65	110·10 ³

Таблиця 4.2 - Залежність величини деформації ґрунтового зразка в поперечній площині від об'єму витісненої рідини

Об'єм витісненої рідини (10^3 мм^3)	Розмір зразка у поперечній площині після деформації (R), мм	Початковий розмір зразка у поперечній площині (r), мм	Зміна розмірів зразка у поперечній площині (Δb), мм
$110 \cdot 10^3$	50,56	41	9,56

Користуючись отриманими даними вираховуємо величину поперечної деформації ґрунтового зразка

$$\delta = \frac{\Delta b}{b},$$

де Δb - зміна розмірів ґрунтового зразка у поперечній площині;

b - початковий розмір ґрунтового зразка у горизонтальній площині

$$\delta = \frac{9,59}{41} = 0,23.$$

Після чого визначаємо величину поздовжньої деформації кореневого зразка

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

де Δl - зміна розмірів ґрунтового зразка у поздовжній площині;

l - початкові розміри ґрунтового зразка у поздовжній площині

$$\varepsilon = \frac{65}{116} = 0,56.$$

Підставивши отримані числові значення до $\nu = \frac{\delta}{\varepsilon}$ отримаємо числове значення коефіцієнта Пуассона для ґрунту

$$\nu = \frac{0,23}{0,56} = 0,41.$$

Отримане значення знаходиться в межах $0 \leq \nu \leq 0,5$, що вказує на достовірність отриманого результату.

4.3 Результати польових досліджень корчування пнів вібраційним корчувачем

Польові дослідження процесу корчування пнів запропонованим корчувачем здійснювались в лісозахисних смугах Вінницької області.

Корчувач було виконано у вигляді змінного робочого обладнання, змонтованого на базі одноківшового екскаватора, що дозволяло прибути до місця проведення робіт, своїм ходом, без залучення транспортних засобів.

Під час досліджень застосовувались манометри для визначення величини тиску в напірних магістралях системи гідроприводу. При дослідженні, здійснювалось корчування пнів різного діаметра (рис. 4.4), при цьому визначалась величина тиску в напірних магістралях гідроциліндрів приводу робочих щелеп за допомогою під'єданого до гідросистеми манометра.



Рисунок 4.3 - Корчування пня за допомогою вібраційного корчувача.

Отримані за допомогою манометра, значення тиску в напірній магістралі гідроциліндрів, в одиницях тиску kPa , переводились в зусилля на штоках гідроциліндрів, за якими визначалось зусилля опору корчуванню.

Періодичність прикладення зусилля здійснювалась шляхом застосування гідравлічного розподільника, що забезпечував пульсуючу подачу робочої рідини гідросистеми.

Під час проведення експерименту, здійснювалось корчування пнів діаметром 0,1; 0,2 та 0,3 м. Для кожного з діаметрів здійснювалось корчування трьох пнів, при якому підкопування проводилось шляхом прикладення сили в статичному та періодичному режимах.

При здійсненні корчування в статичному режимі зі збільшенням діаметра пня від 0,1 до 0,3 м, спостерігалось зростання середнього значення зусилля корчування від 22,3 кН до 80,0 кН. Отримані дані заносилися до таблиці для їх подальшого обробітку (табл. 4.6).

При здійсненні корчування в режимі періодичного прикладання зусилля, зі збільшенням діаметра пня від 0,1 до 0,3 м, середнє зусилля корчування зростає від 15,2 кН до 39,1 кН (табл. 4.7).

Таблиця 4.6 - Опір корчуванні в режимі статичного прикладання зусилля

Діаметр пня, м	Величина прикладеного зусилля, кН			
	дослід 1	дослід 2	дослід 3	Середнє значення
0,1	19,9	22,2	24,8	22,3
0,2	49,4	51,4	52,5	51,1
0,3	81,2	80,5	78,3	80,0

Таблиця 4.7 - Опір корчуванню в режимі періодичного прикладання зусилля

Діаметр пня, м	Величина прикладеного зусилля, кН			
	дослід 1	дослід 2	дослід 3	Середнє значення
0,1	15,4	15,2	15,0	15,2
0,2	22,1	24,1	28,8	25,0
0,3	37,1	45,0	35,2	39,1

За отриманими даними побудовано графіки залежності сили необхідної для корчування пня, залежно від його діаметра в режимі статичного прикладення сили (рис. 4.4), та в режимі періодичного прикладення сили (рис. 4.5).

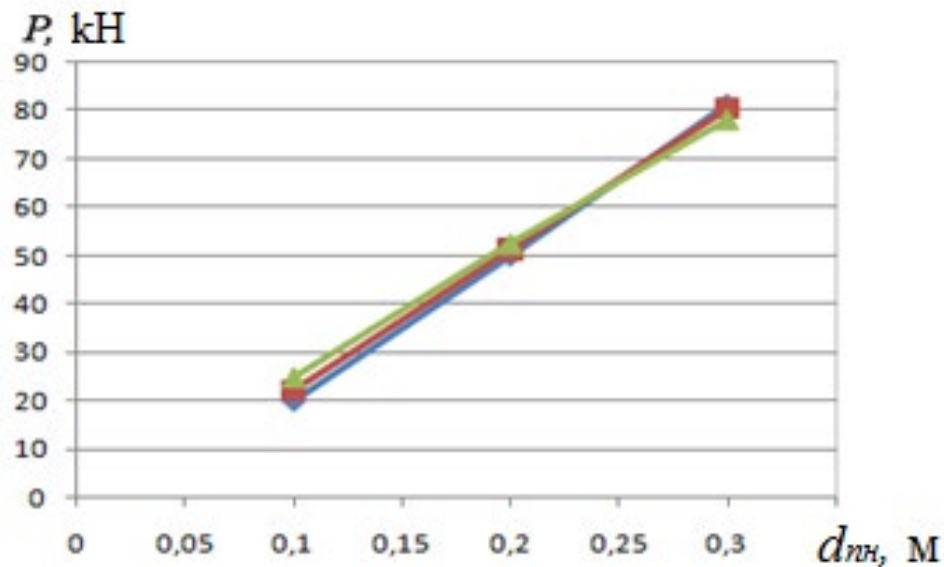


Рисунок 4.4 - Графік залежності сили корчування від діаметра пня, при прикладенні сили в статичному режимі, при трикратній повторюваності дослідів.

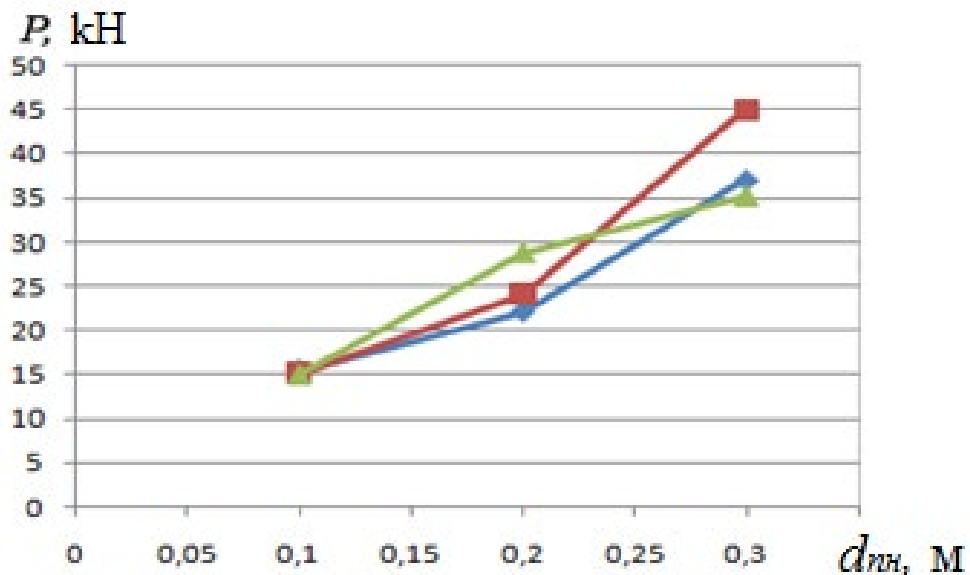


Рисунок 4.5 - Графік залежності сили корчування від діаметра пня, при прикладенні сили в періодичному режимі, при трикратній повторюваності дослідів.

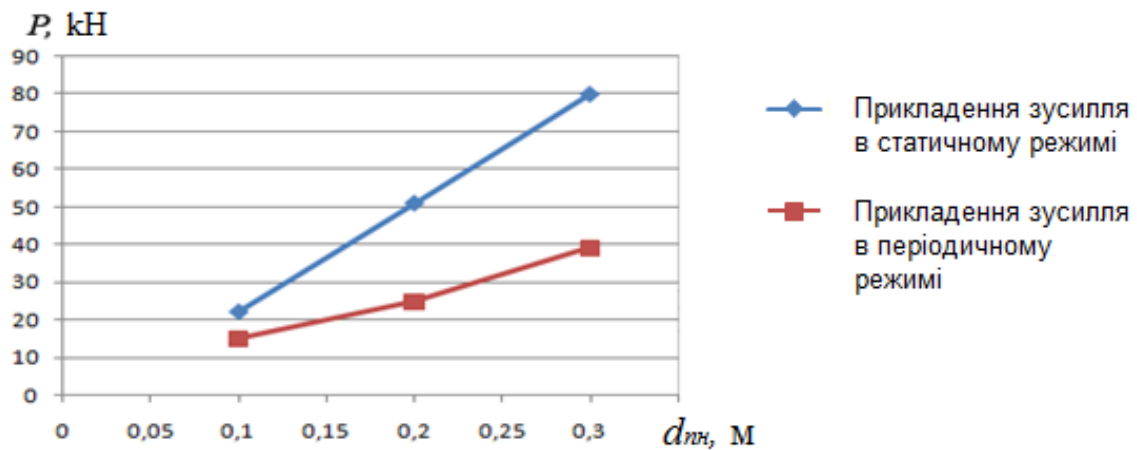


Рисунок 4.6 Графіки залежності сили корчування (середнє значення), від діаметра пня, при прикладенні сили в статичному та періодичному режимах.

Результати практичних досліджень дають змогу підтвердити справедливність проведених теоретичних досліджень та висновків, зроблених з них. Це дає змогу зробити висновок, що корчування з застосуванням вібраційних рухів підкопувальних щелеп, потребує менших зусиль, у порівнянні з роботою щелеп у статичному режимі.

Висновки

1. В процесі лабораторного визначення механічних властивостей ґрунту отримано наступні результати:

- Отримано значення величини модуля пружності лінійних деформацій ґрунту, що становить ($E = 1,4 \cdot 10^6$);

- Для ґрунту з природним ущільненням визначено значення коефіцієнта Пуассона яке склало ($\nu = 0,41$).

2. За результатами лабораторних досліджень по визначенню механічних властивостей коренів дерев отримано наступне:

- Для вибірки з трьох корневих зразків визначено період власних коливань (який склав $\tau = 0,75$ с);

- Шляхом дослідження коливань кореневого зразка, визначено послідовні амплітуди його коливальних рухів, що дозволило отримати величину декримента затухань ($a_2/a_1 = 0,95$)

- На підставі отриманих значень вираховано модуль пружності та коефіцієнт в'язкості для кореневої деревини.

3. В результаті польових експериментальних досліджень процесу корчування пнів вібраційним корчувачем встановлено наступне:

- в режимі статичного прикладення зусилля, для підкопування пня робочими щелепами, при зростанні діаметра пня від 10 до 40 см зусилля на штоках гідроциліндрів приводу підкопувальних щелеп зростає від 22,3 до 115,1 кН відповідно;

- в режимі періодичного прикладення зусилля з частотою в 20 Hz, для підкопування пня робочими щелепами, при зростанні діаметра пня від 10 до 40 см зусилля на штоках гідроциліндрів приводу підкопувальних щелеп зростає від 15,2 до 50,1 кН. відповідно.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Підготовка працівників:

Особи, які працюють з корчувачем, повинні пройти інструктаж з охорони праці, мати відповідний допуск та кваліфікацію.

Регулярно проводити повторний інструктаж та навчання з техніки безпеки.

Особистий захист:

Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): каску, рукавички, захисні окуляри, навушники або антифони. Одяг має бути щільним, без вільних частин, що можуть зачепитися за робочі механізми.

Контроль стану здоров'я:

Працівники повинні проходити медичний огляд перед початком роботи та регулярно – під час експлуатації техніки.

Огляд обладнання:

Перед початком роботи провести візуальний огляд корчувача для перевірки справності всіх вузлів і механізмів. Перевірити рівень змащення, кріплення робочих елементів і герметичність гідравлічних систем.

Вимоги техніки безпеки:

Підготовка до роботи:

Робоча зона має бути очищена від сторонніх предметів, які можуть спричинити аварійні ситуації. Не дозволяється перебування сторонніх осіб у зоні роботи корчувача.

Експлуатація:

Уникати перевищення допустимих навантажень на обладнання.

Під час роботи уникати різких рухів, які можуть викликати нестабільність або перевертання техніки. Не працювати поблизу електричних ліній без відповідних заходів захисту.

Робота з вібраційними елементами:

Час роботи з вібраційним обладнанням має бути обмежений відповідно до норм зменшення вібраційного навантаження. Застосовувати віброізоляційні рукавички та перерви для зменшення впливу вібрації на організм.

Аварійні ситуації:

У разі виявлення несправностей негайно зупинити роботу, вимкнути обладнання та повідомити відповідальну особу. Мати доступ до засобів пожежогасіння, аптечки та плану евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Після завершення роботи:

Зупинити двигун, виконати технічний огляд обладнання та очистити робочі елементи від залишків деревини чи ґрунту. Забезпечити безпечне зберігання корчувача в місці, недоступному для сторонніх осіб.

Розширені вимоги з охорони праці та техніки безпеки при роботі з вібраційним корчувачем пнів

Вимоги до робочого середовища: Робоча зона повинна бути освітлена відповідно до нормативів, особливо у темний час доби. Забороняється експлуатація обладнання під час сильного вітру, зливи, ожеледиці або інших несприятливих погодних умов. Уникати роботи на схилах або нерівній поверхні, які можуть призвести до перекидання техніки.

Організація робочого процесу:

Перед початком роботи необхідно визначити безпечний маршрут руху корчувача. Забезпечити комунікацію між операторами та іншими працівниками (наприклад, за допомогою рацій або жестів). Не допускати до роботи працівників у стані втоми, стресу або під впливом алкоголю чи наркотичних речовин.

Технічна безпека:

Регулярно проводити технічний огляд вібраційного механізму для запобігання поломкам під час роботи.

Забезпечити наявність захисних кожухів і бар'єрів для рухомих частин.

Перевіряти справність гальмівної системи перед кожним використанням.

Вимоги до робочого обладнання:

Використовувати лише ті комплектуючі та запасні частини, що рекомендовані виробником корчувача.

Заборонено експлуатацію обладнання з пошкодженими або зношеними робочими елементами.

Забезпечити відповідність потужності корчувача типу та розміру пнів, які необхідно видалити.

Заходи безпеки при транспортуванні:

Перед переміщенням корчувача переконатися у надійності фіксації його елементів.

Забезпечити стійкість обладнання під час перевезення, використовуючи ремені або кріплення.

Дотримуватися правил дорожнього руху під час транспортування техніки на місце роботи.

Вимоги під час технічного обслуговування:

Перед виконанням ремонту або технічного обслуговування необхідно вимкнути двигун і зняти напругу з електричних елементів.

Роботи з заміни деталей або мастильних матеріалів проводити лише на спеціально обладнаному майданчику.

Заборонено використовувати відкритий вогонь поблизу паливної системи або під час заправки техніки.

Вимоги до роботи з гідравлічними та паливними системами:

Перед початком роботи перевіряти герметичність гідравлічної та паливної систем.

У разі виявлення витоків рідини негайно припинити роботу, усунути несправності та очистити робочу поверхню від залишків рідин.

Забороняється проводити будь-які ремонтні роботи на гідравлічній системі під тиском.

Заправку паливного бака виконувати тільки при вимкненому двигуні, у добре вентильованому місці, використовуючи спеціалізовані інструменти.

Вимоги до вібраційного впливу:

Обмежити час безперервної роботи оператора з вібраційним корчувачем відповідно до нормативів з гігієни праці.

Встановити графік роботи, що передбачає перерви для зменшення негативного впливу вібрації на організм.

У разі роботи на твердій або скельній поверхні використовувати віброізоляційні підкладки для зменшення передавання вібрації на техніку.

Попереджувальні заходи під час експлуатації:

Уникати перебування людей у зоні можливого відскоку ґрунту, коріння або пнів.

Працювати тільки на безпечній відстані від будівель, споруд та інженерних комунікацій.

Заборонено виконувати роботи поруч із відкритими траншеями, ярами або водними об'єктами без спеціальних заходів захисту від зсувів.

Електробезпека:

У разі наявності електричних компонентів обладнання необхідно перевіряти заземлення перед початком роботи.

Заборонено працювати на вологій поверхні, якщо техніка має електричний привід або гідравлічні системи з електронним керуванням.

Забезпечити наявність автоматичних вимикачів у разі короткого замикання.

Дії у разі аварійних ситуацій:

Мати розроблену інструкцію щодо дій у разі аварії, з якою ознайомлені всі працівники.

У разі займання корчувача негайно використати вогнегасник, який має бути обов'язково доступним у зоні робіт.

Якщо під час роботи трапляється обрив або пошкодження елементів конструкції, оператор має негайно зупинити техніку та викликати ремонтну бригаду.

Оцінка ризиків перед початком роботи:

Провести аналіз місцевості для виявлення потенційних небезпек: схилів, підземних комунікацій, твердих предметів у ґрунті.

Перед запуском техніки виконати тестовий запуск на холостих обертах для перевірки її функціональності.

Висновки

У розділі "Основні вимоги з охорони праці та техніки безпеки" розглянуто ключові аспекти забезпечення безпеки на виробництві, що є необхідними для запобігання нещасним випадкам і зниження ризику травматизму. Усі етапи виробничого процесу мають бути супроводжуватись дотриманням стандартів безпеки, що включає використання відповідного обладнання, засобів індивідуального захисту та своєчасну перевірку технічного стану машин і механізмів.

Основними вимогами є: забезпечення навчання і інструктажу працівників з техніки безпеки; використання сертифікованих засобів захисту та регулярний контроль за їхнім станом; регулярне обслуговування й перевірка технічного стану обладнання; проведення інструктажів і тренувань з питань дій у разі надзвичайних ситуацій.

Таким чином, впровадження цих вимог дозволяє знижувати ризики виробничих травм та забезпечити безпечні умови праці для всіх учасників процесу.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Створення нових та модернізація морально застарілих машин вимагає науково обґрунтованого розрахунку економічної ефективності на всіх етапах проектування, модернізації існуючих та введення в експлуатацію нових машин.

Розрахунок річної економічної ефективності в будівництві чи експлуатації меліоративних систем нових технологічних процесів, нових засобів механізації та автоматизації та інших машин, приладів та апаратів, що забезпечують заощадження виробничих ресурсів (зниження собівартості, металоємкості робіт та продукції) здійснюється за формулою:

$$E_p = (B_n^i - B_n^H) P_n^H, \quad (6.1)$$

де E_p - річний економічний ефект, грн.;

B_n^i та B_n^H - витрати приведені на одиницю роботи, що здійснюється з застосуванням існуючої та нової техніки, грн./га;

P_n^H - річний об'єм виконання робіт за допомогою нової техніки, в розрахунковому році в натуральних одиницях (річна експлуатаційна продуктивність машини), га.

Витрати приведені на одиницю продукції являють собою сукупність витрат на капіталовкладення, амортизаційні відрахування та поточний ремонт, оплату праці працівників, а також витрати на паливо-мастильні матеріали, визначаються за формулою

$$B_n = (C_b + C_a + C_n) + E_H K_H, \quad (6.2)$$

де B_n - витрати приведені на одиницю роботи, грн./га;

C_b - питомі витрати на оплату праці одиниці роботи, грн./га;

C_a - питомі витрати амортизаційних відрахувань на одиницю роботи, грн./га.;

C_n - питомі витрати на паливо-мастильні матеріали, що відносяться на одиницю роботи, грн./га;

E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_H - питомі капіталовкладення в виробничі фонди, грн./га.

Для забезпечення адекватного підходу в оцінці економічної ефективності нової техніки, та виходячи з того, що організація її виробництва потребує додаткових ресурсів, в розрахунках застосовується єдиний нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що становить 0,15.

При визначенні вартості машин (капітальні витрати) враховують оптово-відпускні ціни на підставі діючих прейскурантів з врахуванням витрат на доставку, а також витрати на заготівлю зберігання та ін.

Капітальні вкладення (грн.) визначаються за формулою

$$K = F_b + K_b, \quad (6.3)$$

де F_b - відпускна ціна машини, грн.;

K_b - капітальні вкладення, пов'язані з експлуатацією, відновленням, грн.

Для конкретних умов F_b та K_b визначаються за бухгалтерськими даними. За відсутності таких даних їх розраховують за формулою

$$F_b = F + K_t, \quad (6.4)$$

де F - відпускна ціна, грн.;

K_t - транспортні витрати, заготівельно-складські витрати, вартість монтажу та інші витрати, що визначаються з виразу

$$K_t = K_{3n} \cdot G_t \cdot S_t + K_{pn} \cdot S_m, \quad (6.5)$$

де K_{3n} - коефіцієнт, що враховує заготівельно-складські та інші витрати;

G_t - маса машини в транспортному положенні, т;

S_t - вартість транспортування однієї тони маси машини, грн.;

K_{pn} - коефіцієнт, що враховує планові накопичення;

S_m - вартість монтажу, грн.

Для машин, що не потребують монтажу, вартість визначається за

формулою

$$F_b = K_b \cdot F, \quad (6.6)$$

де K_b - коефіцієнт для переходу від закупівельної ціни до розрахунково-балансової вартості.

Витрати на первинне транспортування техніки визначаються за діючим тарифом для конкретних умов, виходячи з відстаней і способів транспортування. Якщо при розрахунках не враховуються конкретні умови, то застосовуються наступні $K_{zn} = 1,04$; $K_{pn} = 1,13$. Вартість монтажних робіт визначається згідно прейскуранту.

Оптова ціна на машини та обладнання береться згідно діючих прейскурантів та доповнень до них. Коли, в процесі створення техніки, ще відсутні обґрунтовані значення оптової ціни, розрахунково-оптова ціна визначається за формулою

$$F = C(1 + P_b), \quad (6.7)$$

де C - собівартість виготовлення продукції, грн.;

P_b - рентабельність продукції у відсотках до собівартості.

Для глобального розрахунку застосовують метод питомих показників, за якого розрахункова собівартість визначається за собівартістю конструктивно аналогічної еталонної техніки, що припадає на одиницю основного параметра (маси, потужності, ємності) машини

$$F = C_{et} \frac{G_t}{G_{et}}, \quad (6.8)$$

де F - розрахункова собівартість;

C_{et} - собівартість еталонної техніки;

G_t - маса створюваної техніки;

G_{et} - маса еталонної техніки.

Капітальні вкладення враховуються в тих випадках, коли наявні суттєві відмінності даних вкладень по варіантах, що порівнюються.

Питомі капітальні вкладення визначаються за формулою

$$K_m = \frac{F_m + F_{tp}}{P_p}, \quad (6.9)$$

де F_m - оптова ціна машини, грн.;

F_{tp} - оптова ціна трактора, грн.;

P_p - річна експлуатаційна продуктивність машини, га.

Річну експлуатаційну продуктивність машини можна визначити за формулою

$$P_p = P_h \cdot T_p \cdot K_{3m}, \quad (6.10)$$

де P_h - погодинна експлуатаційна продуктивність машини, га/год;

T_p - річне завантаження машини в годинах;

K_{3m} - коефіцієнт використання часу зміни.

Для нових та вдосконалених машин для яких дані в ЕНіР не наводяться, погодинна експлуатаційна продуктивність визначається за формулою

$$P_h = P_t \cdot K_e, \quad (6.11)$$

де P_t - технічна продуктивність, га/год;

K_e - коефіцієнт переходу від технічної продуктивності до експлуатаційної.

Річне завантаження машини визначається за допомогою різних методів. Для машин, періодичність технічного обслуговування і ремонт яких встановлюються відповідними нормативами, річне завантаження в годинах визначається

$$T_p = \frac{(365 - T_m - T_b - T_n)t_{3m}K_{3m}}{1 + T_x \cdot t_{3m} \cdot K_{3m}}, \quad (6.12)$$

де T_m - простій через погодні умови, днів;

T_b - вихідні та святкові дні;

T_n - дні, що затрачаються на перевезення машини на протязі року;

T_x - простій в машино-днях для будь-якого технічного обслуговування та ремонту, що припадає на 1 годину роботи;

t_{3m} - тривалість зміни.

Витрати в днях, пов'язані з перевезенням на протязі року

$$T_k = \frac{(365 - T_m - T_b)d_n}{T_{po} \left(\frac{1}{t_{3m} \cdot K_{3m}} + T_r \right) + d_n}, \quad (6.13)$$

де d_n - тривалість одного перевезення в днях;

T_{po} - розрахункова кількість машино-годин роботи на об'єкті.

Заробітна плата з врахуванням нарахувань для приведених умов використання техніки визначається за формулою

$$C_{3n} = 0,01T_g \sum_{i=1}^A C_{ii} \lambda, \quad (6.14)$$

де T_g - річний фонд часу роботи техніки, год;

A - кількість робітників в бригаді;

C_{ii} - тариф оплати праці члена бригади за одну годину, грн.;

λ - коефіцієнт переходу від тарифного фонду заробітної плати до загального фонду з нарахуваннями.

Коефіцієнт λ враховує додаткову заробітну плату, а також нарахування до фондів соціального страхування пенсійного і т. п.

Поділивши заробітну плату на річну експлуатаційну продуктивність машини P_p , отримаємо величину питомих витрат на оплату праці на одиницю продукції

$$C_6 = \frac{C_{3n}}{P_p}. \quad (6.15)$$

Питомі витрати на амортизаційні відрахування та ремонт машини:

$$C_a = \frac{K_m (A_t + B_t)}{100}, \quad (6.16)$$

де K_m - питомі капіталовкладення на машину, грн./га;

A_t - величина амортизаційних відрахувань, %;

B_t - величина відрахувань на ремонт, %;

A_t та B_t визначаються за довідниками.

Питомі витрати C_n на паливо-мастильні матеріали вираховуються за наступною залежністю

$$C_n = \frac{W_t \cdot F_t \cdot N}{P_p}, \quad (6.17)$$

де W_t - витрата палива за одну годину, л/год;

F_t - вартість палива, грн./год.;

N - напрацювання машини за рік в годинах.

Витрата палива за одну годину приймається згідно з діючими нормативами.

За відсутності нормативних даних для даного двигуна, даної машини, витрата палива визначається за формулою

$$W_t = \frac{1,03}{1,05} N_H \cdot Q_H (K_j (K_d \cdot K_N - K_o) + K_o), \quad (6.18)$$

де 1,03 - коефіцієнт, що враховує витрату палива на запуск, регулювання та прогрівання машини;

N_H - номінальна потужність двигуна, кВт;

Q_H - питома витрата палива при номінальній потужності;

K_d - коефіцієнт навантаження двигуна за потужністю;

K_j - коефіцієнт завантаження двигуна за часом;

K_N - коефіцієнт, що враховує змін витрати палива в залежності від завантаження двигуна за потужністю;

K_o - коефіцієнт, що враховує зменшення витрати палива на холостих обертах двигуна.

Після підстановки отриманих значень до формули (6.2), отримаємо величину приведених витрат.

Для визначення річного економічного ефекту від впровадження нової машини, знаходимо приведені витрати, як для розробленої, так і для існуючої машини, отримані значення підставляємо до формули (6.1).

Якщо створюється дві і більше нових машин, за допомогою яких

здійснюється комплексна механізація робочого процесу, а також, якщо нова машина потребує у порівнянні з існуючою, зміни складу комплексу машин, економічна ефективність визначається шляхом порівняння двох варіантів комплексної механізації: одного із застосуванням комплексу машин нового типу, другого з застосуванням комплексу машин, що застосовується на аналогічних роботах.

В цьому випадку формула для визначення річного економічного ефекту набуде вигляду

$$E_p = \left(\sum_{i=1}^n Z_{ni}^b - \sum_{i=1}^m Z_{ni}^h \right) \cdot P_p^H, \quad (6.19)$$

де Z_{ni}^b - сума приведених витрат в існуючому комплексі машин, грн/га;

n - кількість машин в існуючому комплексі машин;

Z_{ni}^h - сума приведених витрат в новому комплексі машин, грн/га;

m - кількість машин в новому комплексі машин.

За вищенаведеною методикою здійснюємо розрахунок техніко-економічних показників існуючого й запропонованого обладнання.

На підставі техніко-економічних характеристик існуючого та запропонованого обладнання, а також вартості його обслуговування та експлуатації, проведемо обрахування значень техніко-економічних показників:

1. Об'єм виконаних робіт в межах року:

- для корчувача К-2А

$$P_p = 600 \cdot 40 = 24000 \text{ шт. пнів}$$

- для навантажувача

$$P_p = 300 \cdot 100 = 30000 \text{ шт. пнів}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$P_p = 600 \cdot 40 = 24000 \text{ шт. пнів}$$

2. Питомі капітальні вкладення на корчування одного пня:

- для корчувача К-2А

$$K = \frac{11430}{24000} \cdot 1,1 = 0,52 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$K = \frac{7710}{30000} \cdot 1,1 = 0,28 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$K = \frac{21000}{24000} \cdot 1,1 = 0,96 \text{ грн/пн}$$

3. Відрахування на амортизацію і поточний ремонт при корчуванні одного пня:

- для корчувача К-2А

$$C_a = \frac{0,52(24 + 12)}{100} = 0,19 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$C_a = \frac{0,28(24 + 12)}{100} = 0,10 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$C_a = \frac{0,96(24 + 12)}{100} = 0,34 \text{ грн/пн}$$

4. Витрати на оплату праці при корчуванні одного пня:

- для корчувача К-2А

$$C_b = \frac{24,7 \cdot 600}{24000} = 0,62 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$C_b = \frac{24,7 \cdot 300}{30000} = 0,25 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$C_b = \frac{24,7 \cdot 600}{24000} = 0,62 \text{ грн/пн}$$

5. Витрати на паливо-мастильні матеріали при корчуванні одного пня:

- для корчувача К-2А

$$C_n = \frac{0,352 \cdot 9,6 \cdot 0,8 \cdot 73,5}{40} = 4,96 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$C_n = \frac{0,282 \cdot 9,6 \cdot 0,8 \cdot 58,86}{100} = 1,27 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$C_n = \frac{0,265 \cdot 9,6 \cdot 0,8 \cdot 55,18}{40} = 2,80 \text{ грн/пн}$$

6. Експлуатаційні витрати при корчуванні одного пня:

- для корчувача К-2А

$$C = 0,19 + 0,62 + 4,96 = 5,77 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$C = 0,10 + 0,25 + 1,27 = 1,62 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$C = 0,34 + 0,62 + 2,80 = 3,76 \text{ грн/пн}$$

7. Приведені витрати на корчування одного пня:

- для корчувача К-2А

$$F = 5,77 + 0,15 \cdot 0,52 = 5,85 \text{ грн/пн}$$

- для навантажувача

$$F = 1,62 + 0,15 \cdot 0,28 = 1,66 \text{ грн/пн}$$

- для запропонованого вібраційного корчувача - навантажувача

$$F = 3,76 + 0,15 \cdot 0,96 = 3,90 \text{ грн/пн}$$

8. Річний економічний ефект

$$E_p = (5,85 + 1,66 - 3,90) \cdot 24000 = 86640 \text{ грн.}$$

Результати розрахунку економічної ефективності, наведені вище показують, що економічний ефект при здійсненні корчування за допомогою запропонованого обладнання, може становити до 86640 грн.

Таблиця 4.8 - Техніко-економічні показники

Показники	Од. виміру	К-2А	ЛТ-65Б	Запропоноване обладнання
-----------	------------	------	--------	--------------------------

Продуктивність	шт./год.	40	100	40
Річний об'єм робіт	шт.	24000	30000	24000
Питомі капіталовкладення	грн./шт.	0,52	0,28	0,96
Експлуатаційні витрати	грн./шт.	5,77	1,62	3,76
Приведені витрати	грн./шт.	5,85	1,66	3,90
Річний економічний ефект	грн.	-	-	86640

Маючи дані про економічну ефективність застосування нового обладнання, можна розрахувати термін окупності капітальних витрат запропонованого обладнання за формулою

$$T_o = \frac{K_e}{E_p} \quad (6.20)$$

де K_e - додаткові капітальні вкладення по новій машині, грн.;

E_p - річний економічний ефект, грн./рік;

Скориставшись формулою (5.20), отримаємо

$$T_o = \frac{21000}{86640} = 0,24.$$

Таким чином, при наведених об'ємах робіт, строк окупності запропонованого обладнання знаходиться в межах одного кварталу, що вказує на економічну ефективність та доцільність застосування розробленого вібраційного корчувача пнів.

Висновки

Очікуваний економічний ефект при застосуванні запропонованого корчувача становить 3,26 грн/пень, що за кількості в 300 пнів/га становить 978 грн/га.

Отримані в процесі польових експериментальних досліджень кількісні та якісні показники процесу роботи вібраційного корчувача пнів підтверджують високий технічний рівень запропонованої машини, а також її відповідність екологічним вимогам та сучасним технологіям

лісовідновлювальних робіт.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У даній магістерській роботі вирішена значуща науково-технічна проблема, яка полягає у визначенні оптимальних параметрів і режимів роботи вібраційного корчувача для ефективного корчування пнів і їх подальшого завантаження на транспортний засіб при мінімальних енергетичних витратах.

Досліджено механізм руйнування коренів пнів у ґрунті, досягнення критичних прогинів робочим органом корчувача, що дозволяє визначити необхідні зусилля для руйнування кореневої системи залежно від способу прикладання сили.

Встановлено залежності впливу геометричних параметрів робочих органів корчувача, що є частиною грейферного механізму, на процес підкопування пня та руйнування кореневих зв'язків із ґрунтом. Зокрема, для пнів діаметром до $d=0,3$ м, при довжині штоків привідних гідроциліндрів $s=0,2$ м, мінімум роботи досягається за оптимальних довжин ланок: $r_1=0,84$ м, $r_2 \rightarrow 0$, $r_4=0,59$ м. Для більших діаметрів ($d>0,3$ м) параметри ланок визначаються за отриманими залежностями, наведеними в дисертаційній роботі.

Вперше отримано функціональні залежності для визначення деформацій коренів пнів у ґрунті під дією робочого органа корчувача, враховуючи фізико-механічні властивості кореня та ґрунту. Визначено оптимальні режими прикладання сили робочим органом. Зміна частоти призводить до зміни величини прогину: при силі 1000 Н на корінь діаметром 10 мм частота прикладання сили в межах 0...20 рад/с викликає збільшення прогину з 0,01 до 0,03 м. Для зменшення енерговитрат подачу робочої рідини до гідроциліндрів приводу рекомендується здійснювати з частотою 20 рад/с, яка наближається до власних частот коливань системи корінь-ґрунт.

На основі аналізу коливань зразка кореня розроблено методику для визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості матеріалу кореня через аналіз амплітудо-частотних характеристик. За частоти власних коливань 14 Гц та декременту затухання $a_2/a_1=0,9$ модуль пружності склав $E=4,94 \cdot 10^8$ Па, а коефіцієнт в'язкості $\mu=72,5$ Па·с.

Очікуваний економічний ефект від застосування запропонованого корчувача становить 3,26 грн на пень, що при обробці 300 пнів на гектар дає 978 грн на гектар.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Беляєв, Ю.В. Основи лісового господарства: навчальний посібник. - Київ: Урожай, 2014. - 356 с.
2. Васильєв, О.В. Технічні засоби і технології лісовідновлення та лісогосподарських робіт. - Київ: Лісова промисловість, 2008. - 280 с.
3. Бобров, В.І. Лісогосподарські технології: теорія і практика. - Харків: Фоліо, 2012. - 432 с.
4. Коваленко, С.В. Лісові машини і механізми: довідник. - Київ: Техніка, 2016. - 252 с.
5. Кисельов, І.П. Техніка і технології лісової промисловості. - Чернівці: Книги-XXI, 2013. - 180 с.
6. Нестеренко, В.О. Лісові технології та інновації. - Київ: Наукова думка, 2020. - 300 с.
7. Лісівничі роботи та організація праці в лісовому господарстві / за ред. Л.В. Іванова. - Київ: Наукова думка, 2011. - 324 с.
10. Зайцев, О.П. Технологія лісових робіт: навчальний посібник. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2015. - 305 с.
11. Лєсніков, Ю.П. Механізми і технології лісових робіт. - Москва: Вища школа, 2017. - 444 с.
12. Мельниченко, О.М. Екологічні аспекти лісогосподарських робіт. - Київ: Наукова думка, 2018. - 277 с.
13. Воронков, П.А. Техніка і технологія лісових машин: підручник. - Київ: Наукова думка, 2012. - 402 с.
14. Рибаків, О.М. Лісові машини та обладнання. - Харків: Політехніка, 2014. - 248 с.

15. Братухін, В.О. Проблеми лісової механізації в Україні. - Київ: Українська академія аграрних наук, 2010. - 230 с.
16. Топчий, П.О. Технічні засоби лісовідновлення. - Харків: Інститут аграрної економіки, 2016. - 198 с.
17. Плотніков, Ю.В. Охорона лісів і лісогосподарські роботи: підручник. - Чернівці: Букрек, 2014. - 312 с.
18. Руденко, В.В. Інновації в лісовому господарстві. - Київ: Наукова думка, 2019. - 368 с.
19. Пасічник, С.І. Практика лісових робіт: методичний посібник. - Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2015. - 234 с.
21. Шевченко, І.В. Лісові екосистеми та сталий розвиток лісового господарства. - Київ: Вища школа, 2021. - 392 с.
22. Трофімов, І.А. Лісове господарство та його технології. - Харків: Наукова думка, 2016. - 384 с.
23. Коновалова, О.П. Лісове господарство: основи та методи. - Київ: НТУУ "КПІ", 2017. - 310 с.
24. Горбатов, М.В. Лісова продуктивність та лісовідновлення. - Дніпро: Промінь, 2019. - 268 с.
25. Іванов, П.К. Механізація лісоводства. - Чернівці: Плай, 2014. - 265 с.
26. Дубровський, І.М. Лісовідновлювальні роботи. - Київ: Урожай, 2015. - 320 с.
27. Гірник, О.Я. Технічні засоби та методи лісового господарства. - Одеса: Астропринт, 2017. - 246 с.
28. Мельник, В.П. Організація та механізація лісових робіт. - Київ: Міжнародна книга, 2020. - 280 с.
29. Грановський, О.С. Технології лісового господарства: сучасний погляд. - Львів: Наука і освіта, 2018. - 310 с.
30. Кузнецов, І.О. Лісові роботи та технології лісового господарства. - Харків: Світ ділової книги, 2016. - 398 с.

ДОДАТКИ