

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

МАТКОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ

УДК 631.312.68 (477.7)

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРґАНУ ПЛУГА ДЛЯ  
ВИКОПУВАННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Науковий керівник:  
Караєв Олександр Гнатович,  
кандидат технічних наук, старший  
науковий співробітник

Мелітополь - 2016

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПЛУГІВ ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР	11
1.1. Технологія вирощування саджанців плодкових культур	11
1.2. Функціональний аналіз конструкцій плугів для викопування саджанців	13
1.3. Дослідження технологічних операцій підкопування і вибірки саджанців плодкових культур	30
Висновки до першого розділу	40
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПУШУВАЧА РОБОЧОГО ОРґАНУ ВИКОПУВАЛЬНОГО ПЛУГА	41
2.1. Біометричні характеристики саджанців	41
2.2. Обґрунтування конструктивної схеми робочого органу	46
2.2.1 Розроблення конструктивної схеми робочого органу	46
2.2.2 Визначення основних вимог для удосконалення робочого органу плуга	48
2.3. Кінематичні дослідження качання розпушувача	54
2.4. Дослідження руху ґрунтової скиби з саджанцем по розпушувачу з різними формами поверхонь	56
2.4.1 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною	57
2.4.2 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною	61
2.4.3 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною	64

2.5. Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту	71
2.5.1 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною	71
2.5.2 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною	72
2.5.3 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною	73
2.5.4 Обчислення роботи рухомої сили і вибір виду поверхні розпушувача	76
2.6. Визначення режиму коливань розпушувача	79
Висновки до другого розділу	85
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	86
3.1. Лабораторно - польові дослідження викопувального плуга з експериментальним зразком робочого органу	86
3.1.1 Програма і методика лабораторно – польових досліджень	86
3.1.2 Математичне планування дослідів	87
Висновки до третього розділу	106
РОЗДІЛ 4. НАУКОВО – ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ВИКОПУВАЛЬ - НОГО ПЛУГА ВПН - 2М	107
4.1. Програма і методика і науково – виробничої перевірки плуга ВПН - 2М	107
4.2. Агротехнічна оцінка роботи викопувального плуга	107
4.3. Економічна оцінка роботи викопувального плуга	112
Висновки до четвертого розділу	114
ВИСНОВКИ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	117
ДОДАТКИ	127

ДОДАТОК А	128
ДОДАТОК Б	131
ДОДАТОК В	143
ДОДАТОК Г	146

## ВСТУП

Науково-технічний потенціал садівництва характеризується сукупністю трудових, матеріальних і фінансових ресурсів, які зосереджені в наукових, консультаційних, фінансових, інформаційних та інших сферах для здійснення наукових досліджень і розробок, впровадження їх у виробництво з метою науково-технічного забезпечення сталого розвитку галузі.

Серед причин, які стримують розвиток промислового виробництва є відсутність належного технічного забезпечення, тому що промисловість України спеціалізована садову техніку практично не виробляє, а відтак недотримання агротехнічних заходів, висока трудомісткість виробництва. Такий стан негативно впливає на забезпечення технічного чиннику розвитку садівництва.

Вирощування садивного матеріалу за існуючими технологіями відноситься до трудомістких виробництв, де переважає ручна праця, яка має місце при вибиранні плодкових саджанців під час їх викопування. Серед робіт, які виконуються в плодovому розсаднику, викопуванні саджанців відводиться особливе місце тому що воно відноситься до однієї з завершальних операцій в отриманні садивного матеріалу.

Отже потрібні дослідження процесу механізованого викопування саджанців плодovих культур для обґрунтування конструктивно - технологічних і кінематичних параметрів робочих органів спрямованих на поліпшення умов праці працівників при вибиранні саджанців з підкопаного ґрунту з одночасним збереженням якості кореневої системи, які забезпечать допустимий клас умов праці.

**Актуальність теми.** Садивний матеріал плодovих культур виробляється у 173 спеціалізованих розсадницьких господарствах України. Але обсяг виробництва залишається недостатнім для потреб заміни старих малопродуктивних садів і не у повній мірі відповідає сучасним вимогам до якості садивного матеріалу.

Викопування саджанців плодovих культур в ґрунтово - кліматичній зоні «Південний степ» відбувається в листопаді в умовах підвищеної вологості і

щільності ґрунтів, переважно на чорноземах важкосуглинного гранулометричного складу. Коренева система дворічних саджанців кісточкових культур має розвинуту та розгалужену структуру і потребує підкопування на глибину не менше 0,35 м. Витягування саджанців робітниками з ґрунту після їх підкопування існуючими плугами для викопування саджанців потребує такого зусилля на витягування з ґрунту, яке за показником важкості трудового процесу відносять до класу шкідливих умов праці. При цьому, втрачається найбільш цінна частина коренів саджанців, що призводить до зниження їхньої сортності.

Окреслена проблема пов'язана з тим, що робочі органи існуючих плугів для викопування саджанців не забезпечують достатнього розпушування ґрунтової скиби та відділення ґрунтових агрегатів від коренів без їх руйнування. Також в процесі розпушування ґрунтової скиби з саджанцем вона рухається по поверхні розпушувача значної довжини, що призводить до збільшення роботи на переміщення ґрунтової скиби. Конструкції існуючих плугів не дозволяють проводити зміни режимів роботи з урахуванням умов викопування.

Вирішення даної проблеми забезпечить підвищення якості кінцевої продукції розсадників і поліпшення умов праці робітників, що є актуальною науково-технічною задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у Таврійському державному агротехнологічному університеті згідно науково - дослідної роботи "Розробка технології та технічних засобів для рослинництва в умовах зрошувального землеробства півдня України", державний реєстраційний номер 0111U002549 за тематичним планом НДДКР Таврійського державного агротехнологічного університету на 2011 - 2015 рр.

**Мета і завдання досліджень.** *Мета досліджень* – поліпшення умов праці робітників при вибиранні саджанців з підкопаного ґрунту з одночасним збереженням якості їх кореневої системи шляхом забезпечення зусилля на

витагування саджанців, яке повинне бути не більше 70 Н за рахунок застосування активного розпушувача викопувального плуга.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **задачі**:

- визначити функції розпушувача, які суттєво впливають на ефективне відділення кореневої системи саджанця від ґрунту з відповідними технічними рішеннями їх реалізації та розробити конструктивно - технологічну схему робочого органу викопувального плуга;

- провести теоретичні дослідження процесу переміщення ґрунтової скиби з саджанцем по розпушувачу, обґрунтувати вид його поверхні та геометричні параметри за критерієм витраченої роботи на її переміщення;

- визначити вплив амплітуди коливань розпушувача на інтенсивність розпушення ґрунтової скиби з саджанцем та розробити конструкцію важеля з можливістю регулювання величини амплітуди коливань;

- експериментально визначити оптимальні значення параметрів розпушувача викопувального плуга, при яких досягається покращення умов праці робітників при вибиранні саджанців з підкопаного ґрунту з одночасним збереженням якості кореневої системи;

- надати агротехнічну оцінку роботи викопувальному плугу ВПН-2М з запропонованим розпушувачем під час виробничого процесу викопування саджанців плодкових культур;

- надати економічну оцінку застосування модернізованого плугу ВПН-2М в виробничих умовах розсадника.

*Об'єктом досліджень* є процес механізованого викопування саджанців плодкових культур в умовах зрошення.

*Предметом досліджень* є закономірності впливу параметрів і режимів роботи розпушувача викопувального плуга на ґрунтову скибу з саджанцем.

*Методи досліджень.* Теоретичні дослідження з обґрунтування параметрів розпушувача проводилися з використанням положень теоретичної механіки та методів диференційного та інтегрального числення, а оптимізацію його

параметрів проведено за методикою математичного планування екстремального експерименту.

Експериментальні дослідження проводились в польових умовах відповідно до прийнятих методик та галузевих стандартів. Обробка результатів досліджень здійснювалася методами математичної статистики за допомогою ЕОМ з використанням програмного середовища пакетів «Maple» та «MathCad».

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в тому, що

– вперше отримано закономірності зміни рухомої сили при переміщенні ґрунтової скиби з саджанцем по лінійчатим поверхням розпушувача з різними видами напрямних, що дозволило обрати поверхню, на якій робота рухомої сили є найменшою;

– вперше отримано залежності змін напрямів прискорень і швидкостей опуклої поверхні розпушувача, який здійснює качання, що дозволило визначити режим качань та величину ексцентриситету;

– отримала подальший розвиток кінематика механізму коромислового типу в частині визначення коливань точок коромисла, яке качається та рівномірно рухається, що дозволило розв'язати задачу впливу зміни амплітуди коливань по довжині розпушувача та врахувати в конструкції важеля можливість регулювання інтенсивності розпушення ґрунтової скиби з саджанцем.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень з оптимізації параметрів і режимів роботи робочого органу плуга можуть бути використані при розробці технічних завдань на ДКР. Розроблено дослідний зразок робочого органу до викопувального плуга ВПН - 2, який пройшов випробування в ТОВ «Блексі фрут компанії» (Запорізька обл. Мелітопольський район). Результати досліджень впроваджені в ДП ДГ «Мелітопольське» Мелітопольського району Запорізької області.

**Особистий внесок здобувача.** Результати досліджень, які відображають зміст і суть роботи, отримані автором самостійно. Постановка мети і



відповідних задач, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим керівником.

Автором особисто вибрані напрямки вдосконалення робочого органу плуга для викопування саджанців та визначено напрямки вдосконалення параметрів і режимів роботи робочого органу викопувального плуга [1, 2], розроблено методику з вибору виду форми поверхні розпушувача [3, 4, 5, 6], визначено параметри і режими коливань розпушувача [7, 8, 9], отримано математичну модель з оптимізації параметрів розпушувача для визначення зусиль на витягання саджанців, розроблено експериментальний зразок робочого органу та виконано агротехнічну оцінку функціональних показників викопувального плуга, проведено обробку та оцінку отриманих даних.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати роботи доповідалися на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, співробітників і магістрів Таврійського державного агротехнологічного університету (2010-2015 рр.), Міжнародній науково-технічній конференції «Науково - технічний прогрес в сільськогосподарському виробництві», присвяченої 65 - річчю Республіканського унітарного підприємства «Науково - технічний центр Національної академії наук Білорусі по механізації сільського господарства» Республіка Білорусь (Мінськ, 2012 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Імпортозамінні технології вирощування продукції садівництва та рослинництва» (Умань, 2015 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку: матеріали» (Дніпропетровськ, 2015 р.).

**Публікації.** Результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані у 12 друкованих працях, у тому числі в 2 – одноосібно. У наукових фахових виданнях опубліковано 6 статей, у закордонних – 1, в інших виданнях – 2. Результати досліджень представлені 2 тезами доповідей на науково-практичних конференціях. Отримано висновок про видачу патенту на корисну модель по заявці № u 201509299.

Загальний обсяг наукових праць складає 3,1 умовних друкованих аркуша.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 91 найменувань на 9 сторінках та додатків на 20 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 147 сторінку тексту, з яких на 116 сторінках викладено основний текст роботи. Дисертація включає 45 рисунків (графіки, схеми і фотографії) та 25 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПЛУГІВ ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ САДЖАНЦІВ ПЛОДОВИХ КУЛЬТУР

#### 1.1. Технологія вирощування саджанців плодкових культур

Садивний матеріал плодкових культур вирощується в розсадниках за різними технологіями, різноманітність яких визначається ґрунтовими і кліматичними умовами, районуванням порід і сортів, схемами розміщення сіянців і відводків в полі розсадника, термінами окуліровок і щеплень, використанням різних машин і знарядь, а також вимогами на якість саджанців.

Виробничий процес у розсаднику поєднує в собі вирощування маточних насаджень у маточно - насінневому та маточно - живцевому садах, вирощування (формування) щеплених саджанців, розмноження клонових підщеп і виконується на відповідних структурних ділянках [1]. Плодовий розсадник повинен мати ділянку для тимчасової та постійної прикопки (на зиму) садивного матеріалу.

Вирощування щеплених саджанців проводиться на ділянці формування (у першому полі для однорічних саджанців і в другому для дворічних), яка є основною у розсадницькій сівозміні і займає до половини основної площі розсадника [2]. Ця ділянка відрізняється найбільш складною технологією. Закладка першого поля проводиться в основному двома способами: посадкою однорічних підщеп (сіянців, відводків) та посадкою щеплених рослин (зимові щеплення), але розвиток отримав перший спосіб, який набув поширення в розсадниках господарств [1, 2]. Підщепи, вирощені в шкільці сіянців або маточнику клонових підщеп, висаджують в перше поле і окулірують. На наступний рік це поле стає другим (поле однорічних саджанців). Для отримання дворічних саджанців їх залишають ще на рік (третє поле розсадника).

В виробництві садивного матеріалу рослини переважно висаджують у перше поле плодового розсадника з міжряддями від 0,7 до 1 м [3 – 5]. Для забезпечення найбільшого завантаження енергетичних засобів та підвищення рівня механізації робіт у розсаднику широке розповсюдження отримали міжряддя з шириною 0,7 м і 0,9 м [6, 7].

Відстань між рослинами в ряду у плодовому розсаднику вибирається залежно від сортопідщепних комбінацій і технологічного процесу вирощування саджанців [3, 6, 7]. Висаджування однакової кількості рослин при вирощуванні однорічних і дворічних саджанців призводить до значного недобору кількості садивного матеріалу [8]. При однорічній тривалості вирощування саджанців найбільш прийнятна відстань між рослинами в ряду до 0,2 м, а при дворічній – 0,15 м. Найбільшого поширення в розсадництві набули технології вирощування плодкових саджанців з застосуванням рядного розташування рослин за різними схемами посадки (з відстанню в міжряддях 0,7 м та 0,9 м і між рослинами в ряду від 0,15 м до 0,25 м).

Технологічні операції в плодовому розсаднику вміщують значну частку ручної праці, тому вони мають високу трудомісткість. Так витрати праці на вирощуванні 45 тис. штук (площа 1 га) однорічних саджанців зерняткових культур за технологічними картами складають 5642,3 люд. · год., що склала на 125,4 люд. · год. одну тисячу саджанців [9]. До трудомістких робіт відносяться операції з проведення окулірування і подальшої ревізії, які займають 1840,5 люд. · год. (32,6%), видалення дикої порослі – 758,1 люд. · год. (13,4%). Викопування та вибірка саджанців – 396,7 люд. · год. (7%). Із загальних трудовитрат тільки 241,3 люд. · год. механізовано. Рівень механізації складає 4,3%.

В умовах зрошення і на зв'язних ґрунтах доводиться використовувати для викопування плуг з подвійною тягою (два трактори і один викопувальний плуг). В якості енергетичного засобу застосовують трактори тягового зусилля до 30 кН.

Для оцінки рівня енергоємності технології вирощування плодкових саджанців кісточкових культур виконано енергетичний аналіз витрат ресурсів на машинних операціях за технологічними картами [9]. Відповідно до ДСТУ 3682 - 98 «Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг» визначено складові витрат ресурсів на механізованих операціях на один гектар другого поля плодового розсадника кісточкових культур [10]. Розрахунки показали, що енергоємність машинних технологічних операцій склала 30,8 ГДж, що більше квоти енергетичного навантаження на 1 га угідь за рік (допустиме навантаження 15 ГДж на 1 га [11]).

Найбільш трудомісткими технологічними операціями в розсаднику, на виконання яких припадає 70% усіх витрат по вирощуванню саджанців, є садіння підщеп у перше поле, обробіток ґрунту в міжряддях, внесення добрив, захист рослин від шкідників і хвороб і викопування саджанців.

## 1.2. Функціональний аналіз конструкцій плугів для викопування саджанців

Розробка засобів механізації для викопування та вибірки саджанців обумовлена технологічним процесом вирощування садивного матеріалу. Операції викопування та вибірки саджанців є заключними, важливість яких визначається отриманням продукції з потрібними показниками якості.

Існуючі машини і знаряддя для викопування саджанців мають конструктивно різні виконання з певної кількості елементів, які в сукупності утворюють технічну систему (ТС) відповідного функціонального призначення.

Функціональний аналіз дає методику поглибленого і повного вивчення загальної конструкції та структури ТС, яку потрібно вивчити і далі вдосконалити [12]. При такому підході ставляться і уточнюються такі завдання: а) які функції виконує кожен структурний елемент ТС і як елементи функціонально пов'язані всередині системи; б) які фізичні операції

(перетворення) виконує кожен елемент і як вони взаємопов'язані і розташовані усередині системи.

Аналіз функцій ТС ґрунтується на методичному принципі виділення та розгляду структурних елементів з дворівневою ієрархією. При цьому ТС можна розділити на кілька неподільних елементів, кожен з яких має цілком певну функцію (або функції) щодо забезпечення роботи ТС або її елементів. У цьому випадку ТС являє собою верхній рівень, а виділені функціональні елементи - нижній. Неподільні елементи будемо називати деталлю з мінімальним числом функцій (не менше однієї) щодо забезпечення роботи інших елементів. Будемо також виділяти об'єкти навколишнього середовища, з якими ТС перебуває у функціональній чи вимушеній взаємодії і які суттєво впливають на конструкцію ТС. Як правило, вони сприймають дії з боку ТС. При аналізі будемо виділяти головні елементи, до яких відносяться робочі органи та інші елементи, які безпосередньо взаємодіють з предметами обробки та іншими об'єктами навколишнього середовища. При цьому функції головних елементів збігаються з функцією ТС і об'єкти навколишнього середовища з об'єктами, на які спрямована дія головних елементів.

Вирощування саджанців плодкових культур обумовлює потребу у створенні ТС, які реалізують функцію їх викопування та вибірки. Конструктивне виконання ТС для викопування визначають рівень їхньої функціональності, який визначається вимогами якості та раціональними експлуатаційно-технологічними показниками. Такі ТС виконують функцію викопування садивного матеріалу з кореневою системою установлених розмірів.

Проведемо аналіз функцій машин, знарядь і пристроїв, які використовують для викопування, представлених в різних інформаційних джерелах.

Для зниження тягового опору викопуванню саджанців на важких ґрунтах в умовах зрошення і забезпечення повного звільнення коренів від ґрунту, що дозволяє зменшити зусилля на вибірку саджанців, в інституті садівництва УААН Фрішевим С. Г. розроблено макетний зразок плуга [13].

На базі макетного зразка машини розроблено викопувальний плуг ВСН - 1, який пройшов, державні приймальні випробування і рекомендований до виробництва. Відділом механізації Інституту садівництва УААН освоєно виробництво плуга.

Плуг ВСН - 1 складається з рами 1 (рис. 1.1) у вигляді труби з навісним пристроєм 10, до якої консольно з правого боку по ходу трактора приєднана викопувальна скоба 2, а з лівого – ніж стійкості 9. На виході з робочої поверхні скоби встановлені пальці-розпушувачі 3, що мають поздовжню увігнутість. Зі скобою шарнірно з'єднана розпушувально - сепарувальна решітка 4, яка складається з трьох опуклих коромисел, утворюючих робочу поверхню і з'єднаних між собою віссю коливань. Задня частина решітки через шатун з'єднана з кривошипно - шатунним механізмом 5. Сам механізм отримує привід від вала відбору потужності трактора через карданний вал, редуктор 6 і приводний вал 7. Регулювання глибини робочого ходу скоби виконується переміщенням стійки опорного колеса 8. Плуг виконує функцію викопування саджанців та сіянців з кореневою системою з глибини до 0,4 м.

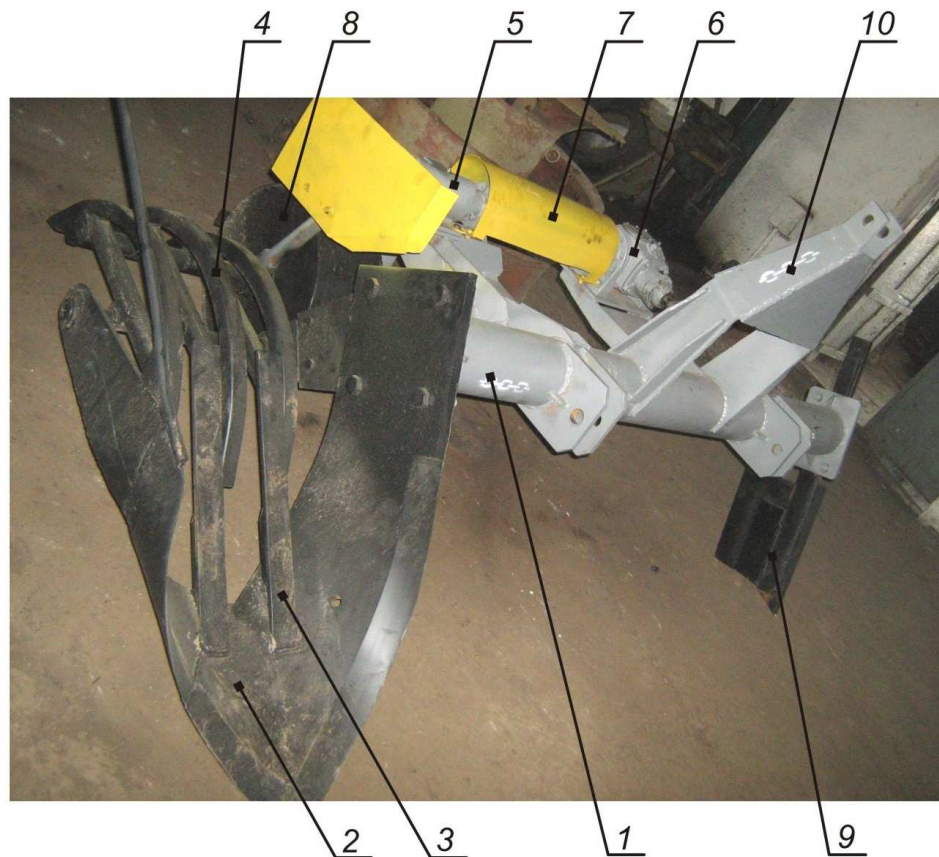


Рис. 1.1. Викопувальний плуг ВСН - 1.

Аналіз функцій елементів робочого органу плуга наведено в табл. 1.1, де прийняті позначення головних елементів через  $E_0, E_{01} \dots E_{0n}$ , інших -  $E_1 \dots E_n$ , об'єктів навколишнього середовища з якими взаємодіють елементи ТС через  $V_1 \dots V_n$ . Функції головних елементів позначені через  $F_0, F_{01} \dots F_{0n}$ , інших -  $F_1 \dots F_n$ .

Таблиця 1.1

## Аналіз функцій елементів робочого органу викопувального плуга ВСН - 1

Елемент		Функція	
Позна – чення	Найменування	Позна - чення	Опис
1	2	3	4
$E_0$	Викопувальна скоба	$F_0^1$	Вирізає ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) і кореневу систему саджанця (КСС) ( $V_{2.2}$ ) з ґрунтового масиву ( $V_1$ ) поля розсадника.
		$F_0^2$	Переміщує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ ) до розпушувача $E_{01}$ .
$E_{01}$	Розпушувач	$F_{01}^1$	Руйнує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ )
		$F_{01}^2$	Переміщує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ ) до РСР ( $E_{02}$ )
$E_{02}$	Розпушувально - сепарувальна решітка (РСР)	$F_{02}^1$	Руйнує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ )
		$F_{02}^2$	Переміщує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ )
		$F_{02}^3$	Сепарує ґрунтові агрегати ( $V_{1.1.1}$ )
		$F_{02}^4$	Скидає саджанець ( $V_2$ ) на поверхню ґрунтового масиву ( $V_1$ ), утворену ґрунтовими агрегатами ( $V_{1.1.1}$ )

Для плуга ВСН - 1 виконана конструктивна функціональна структура (рис. 1.2) на підставі аналізу функцій (див. табл. 1.1).



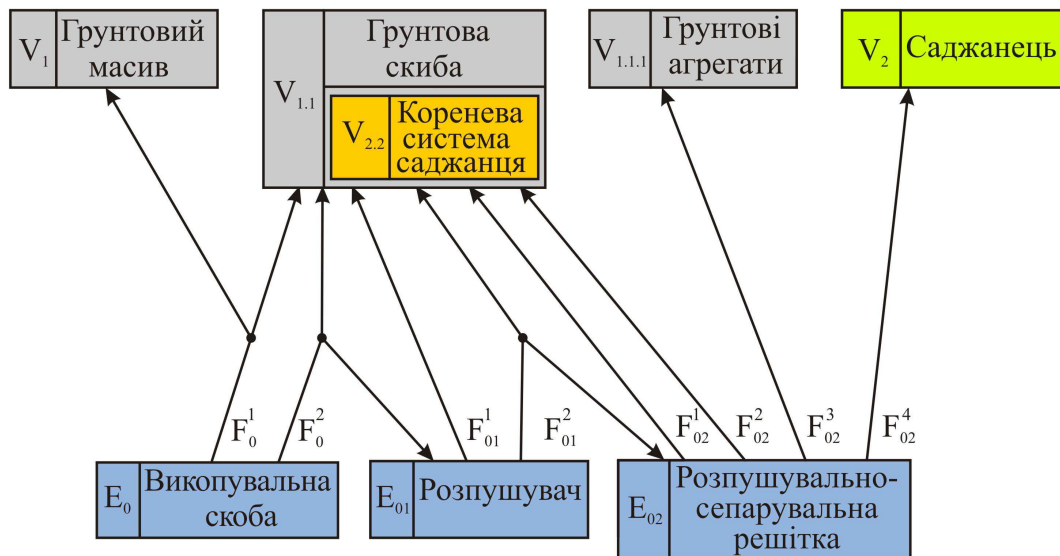


Рис. 1.2. Конструктивна функціональна структура робочого органу плуга ВСН - 1.

У державному проектно-конструкторському технологічному інституті «Плодмашпроект» розроблено викопувальний плуг ВП - 1 [14]. Завданням ставилося зменшити тяговий опір плуга шляхом застосування коливального лемеша, зруйнувати відокремлений блок ґрунту з кореневою системою саджанця до такого стану, при якому істотно полегшується вибірка саджанців. Кінематичні параметри коливань: амплітуда - 14 мм, частота від 6 до 9  $s^{-1}$ . Технологічний режим руху викопувального агрегату знаходився в межах від 0,8 м/с до 0,9 м/с.

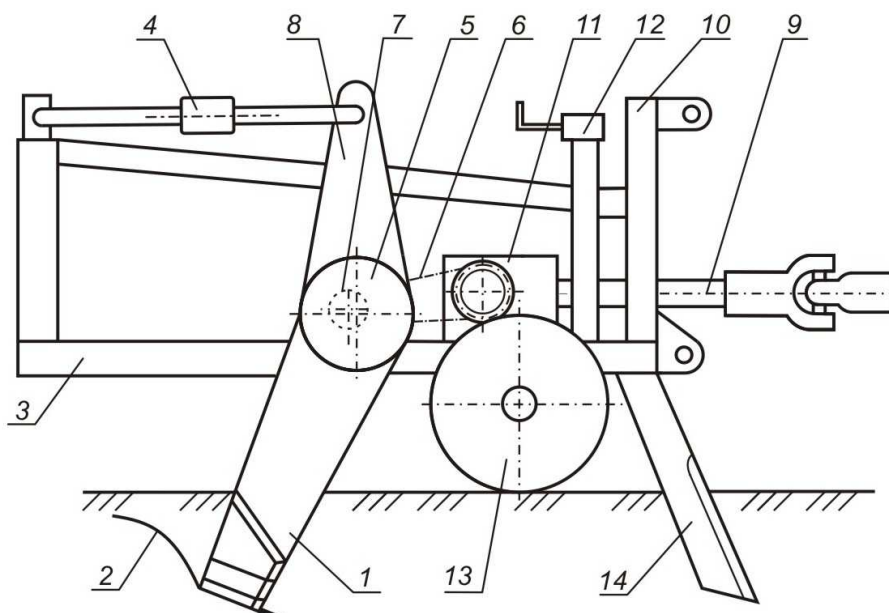


Рис. 1.3. Конструктивна схема плуга ПВС - 1 (ВП - 1).

Конструктивна схема плуга ПВС - 1 (рис 1.3) відрізняється від плуга ВСН -1 наявністю просторово виконаної рами, ексцентрикового механізму для здійснення коливань підкопувальним лемешем, механізму регулювання кута установки лемеша до дна борозни. Плуг включає викопувальну скобу 1 з подовжувачами 2, раму 3, коромисло 4, ексцентриковий механізм 5, ланцюгову передачу 6, реактивний ніж 14 і опорні колеса 13 з гвинтовим механізмом 12. Стійка скоби і важіль 8 закріплені на корпусі ексцентрикового механізму 5, встановленого на приводному валу 7. Привід ексцентрикового механізму здійснюється від ВВП трактора через карданний вал 9, редуктор 11, ланцюгову передачу 6 до приводного валу. Глибина підкопування до 0,4 м, робоча ширина захвату - 0,55 м. За результатами випробувань плуг забезпечив продуктивність 0,39 га за годину змінного часу.

В інституті «Плодмашпроект» були розроблені вихідні вимоги і виготовлений експериментальний зразок викопувального плуга ПВС - 1, в якому були змінені кінематичні параметри: амплітуда склала 7 мм, частота коливань  $9 \text{ с}^{-1}$ . Скоба виконана з шести нерухомо з'єднаних сегментів, профільна проекція якої представлена ламаною кривою.

Виробничі випробування макетного зразка викопувального плуга ПВС - 1 в державному підприємстві дослідному господарстві «Мелітопольське» інституту зрошуваного садівництва УААН на викопуванні дворічних саджанців зерняткових культур, які були проведені в 1999 році, привели до відмови плуга першою групою складності (злам шийки приводного вала робочого органу) через 0,25 години роботи [15, 16], через що його подальше використання було неможливе.

Проведемо функціональний аналіз тільки для нових елементів робочого органу плугу, з огляду на раніше розглянуті. Аналіз функцій робочого органу на дане знаряддя представлено в табл. 1.2 .

Аналіз функцій елементів робочого органу викопувального  
плуга ПВС - 1

Елемент		Функція	
Позна - чення	Найменування	Позна - чення	Опис
1	2	3	4
$E_0$	Викопувальна скоба	$F_0^1$ $F_0^2$	Вирізає ґрунтову скибу( $V_{1.1}$ ) і КСС ( $V_{2.2}$ ) з ґрунтового масиву ( $V_1$ ) активно її руйнуючи. Передає зусилля опору різанню ґрунтового масиву ( $V_1$ ), з КСС ( $V_{2.2}$ ) ексцентриковому механізму ( $E_1$ )
$E_1$	Ексцентриковий механізм	$F_1$	Перетворює обертальний рух приводного валу в коливальний викопувальної скоби ( $E_0$ )
$E_2$	Коромисло	$F_2^1$ $F_2^2$	Змінює кут нахилу викопувальної скоби ( $E_0$ ) до горизонталі. Забезпечує коливальний рух викопувальної скоби ( $E_0$ )

Завданням, на вирішення якого спрямовано технічне рішення [17], є підвищення ефективності технологічного процесу викопування коренів рослин. Коріння, переміщені на поверхню поля, повинні відокремлюватися від залишків ґрунту з мінімальними пошкодженнями.

Технічне рішення застосовано в конструкції викопувального плуга ПВУ - 0,7, який пройшов Державні приймальні випробування, протокол № 3-47 - 2000 (1031600 і був рекомендований для промислового освоєння. У пропонованій конструкції, підвищились показники якості за рахунок руйнування ґрунту різальної дії похилих елементів скоби.

Пристрій для викопування коренів (рис. 1.4) включає раму 1, на якій встановлена викопувальна скоба 2, яка виконана у вигляді рівносторонньої трапеції з співвідношенням основ 1: 2, при цьому верхня основа не замкнута, а нижня виконує функцію лемеша. На поверхні лемеша 5 вздовж осі основи трапеції закріплена напрямна 3, з боку якої симетрично встановлені ножі 4 із ріжучим лезом під кутом до горизонтальної поверхні лемеша. Поверхні ножів 4 відігнуті в боки щодо осі симетрії. На лемеші встановлений зуб 6. Перед скобою на рамі встановлені віддільники 7 симетрично до осі викопувальної скоби. Положення опорних коліс 8 щодо лемеша, регулюється гвинтовими механізмами 9, які визначають глибину викопування рослин.

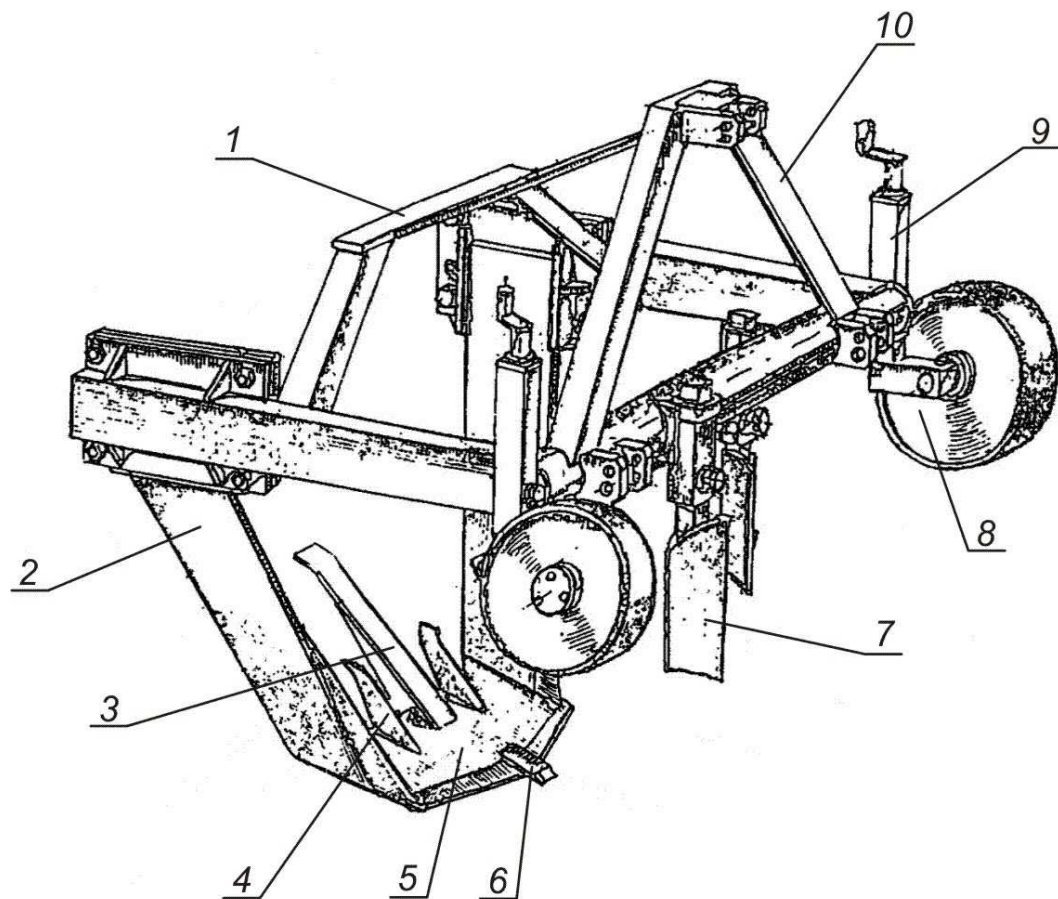


Рис. 1.4. Пристрій для викопування коренів [17].

Функціональний аналіз елементів пристрою, які мають нові функції, наведено в табл. 1.3.

Аналіз функцій елементів робочого органу пристрою для викопування коренів

Елемент			Функція
Позна -чення	Найменування	Позна -чення	Опис
1	2	3	4
E <sub>01</sub>	Зуб	F <sub>01</sub>	Забезпечує заглиблення лемеша в ґрунтовий масив (V <sub>1</sub> )
E <sub>02</sub>	Напрямна	F <sub>02</sub>	Руйнує і переміщує ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> ) вгору
E <sub>03</sub>	Вертикальний ніж	F <sub>03</sub>	Розрізає ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> )
E <sub>04</sub>	Віддільник	F <sub>04</sub>	Розрізає ґрунтовий масив (V <sub>1</sub> ) і переміщує ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> )

Завод «Полігон» (Одеса, Україна) [18] виготовляє корчувач виноградниковий КВ - 3 (рис. 1.5) для розкорчування старих виноградників. Глибина корчування від 0,2 м до 0,4 м при робочій ширині захвату 0,6 м.



Рис. 1.5. Викорчувач виноградниковий КВ - 3.

Викорчувач має функціонально подібні елементи, що і викопувальний плуг ВПН - 2 з конструктивними відмінностями. Установлення глибини викопування виконується зміною положення котка. Кут установки лемеша до

дна борозни можна змінювати приєднанням центральної тяги механізму навіски трактора в один і трьох отворів стійки навісного пристрою, що спрощує технологічну переналадку.

Сучасна технологія вирощування садивного матеріалу в розсадниках вимагає наявності цілого комплексу машин і механізмів. Наявні в даний час в плодкових розсадниках машини не повною мірою відповідають вимогам цієї технології та неефективні через недосконалість їх конструкції. До того ж технологічні параметри цих машин не взаємопов'язані через те, що їх випускають різні виробники, а частина потрібних машин промисловістю зовсім не випускається.

З урахуванням вимог сучасних технології, рекомендацій учених і фахівців впроваджувальне підприємство «Новатор» (Російська федерація) розробило комплекс машин з взаємопов'язаними параметрами. До складу комплексу машин входить викопувальний плуг ВПН - 1 (рис. 1.6), який призначений для викопування садивного матеріалу в плодово-ягідних і лісових розсадниках.

Плуг ВПН - 1 має подібну конструктивну схему до викопувального плугу ВПН - 2. Розроблені нові конструктивні елементи базових деталей, робочих органів, відрізняється розташуванням опорного колеса. Плуг ВПН - 1 включає раму 4, на якій з одного боку по ходу руху розміщена викопувальна скоба 2 зі знімним лемешем 1 і розпушувачами 6, інший - ніж стійкості 5. Відмінним є технічним рішенням з установкою опорного колеса 3 на стійці скоби, що надає можливість регулювання його положення перестановкою по отворах. Навісний пристрій 7 дозволяє навішувати плуг на трактори з тяговим зусилля 30 кН або 50 кН. Плуг за технічними характеристиками дозволяє викопувати саджанці з глибини до 0,4 м з робочою шириною захвату 0,5 м.



Рис. 1.6. Викопувальний плуг ВПН - 1.

Функції елементів робочого органу плуга ВПН - 1 аналогічні відповідним елементам плуга ВСН - 1.

Дослідження відділу механізації Державної Наукової Установи Всеросійського селекційно-технологічного інституту садівництва і розсадництва Россільгоспакадемії (ДНУ ВСТІСР) спрямовані на вирішення наукових проблем, пов'язаних з розробкою і виготовленням нових сільськогосподарських машини для садівництва та розсадництва. Результатом таких розробок, з пропонованого переліку машин для механізації робіт у розсадництва, є вібраційний копач саджанців ВКС - 2 [19].

Вібраційний копач саджанців призначений для роботи в розсадниках зі схемою посадки 0,7 м, 0,8 м, 0,9 м на викопуванні двох рядів сіяньців плодкових культур, смородини, обліпихи, одно-і дворічних саджанців висотою до 0,9 м. Серед переваг вібраційного копача відзначається висока продуктивність, застосування активного розпушування ґрунту дозволяє знизити зусилля на вилучення рослин і сприяє відділенню ґрунту від коренів.

Копач (рис. 1.7) включає раму 1, на якій розміщені головні елементи викопувальні скоби 2, що приводяться в коливальний рух від ексцентрикового механізму 3 розміщеного на приводному валу. Передача крутного моменту приводному валу здійснюється від ВВП трактора через карданний вал,

редуктор і ланцюгову передачу. При переміщенні по полю рама спирається на три колеса 8, положення яких визначає глибину викопування кореневої системи саджанців і змінюється за допомогою гвинтового механізму 5. Навісний пристрій 7 триточкової схеми навішування. Коромисло 6 дозволяє змінювати кут різання ґрунту і тим самим змінювати тиск робочої частини скоби на ґрунт. Поверхня скоби утворена діаметральним перетином циліндра вздовж його осі і встановлена вздовж напрямку руху під кутом горизонту.

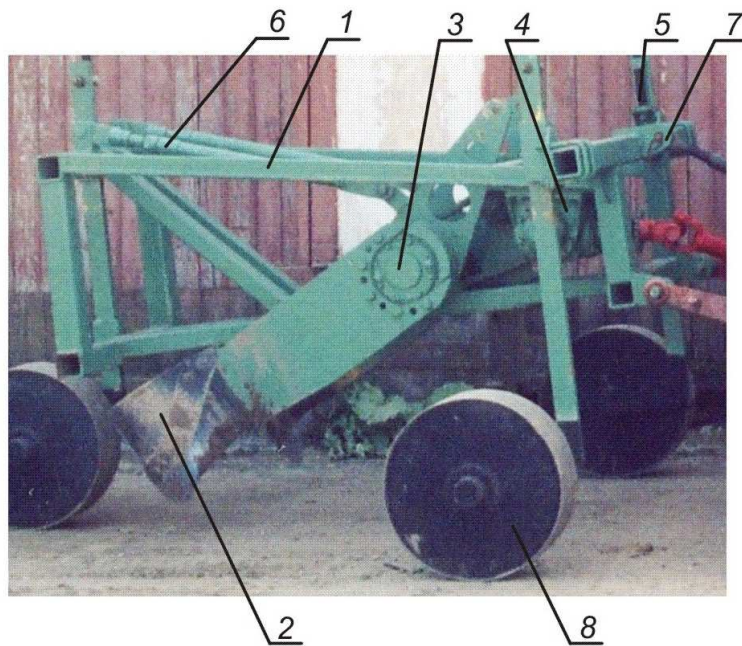


Рис. 1.7. Вібраційний копач саджанців ВКС - 2 [19].

Ширина захвату викопувальної скоби копача ВКС - 2 дорівнює 0,4 м, глибина викопування 0,3 м. Агрегатується з тракторами тягового класу до 30 кН, робоча швидкість 3,2 км / год., продуктивність до 0,5 га / год.

Копач має подібний набір елементів як у плуга ПВС - 1 (за винятком відсутності ножа стійкості, також відрізняється конструкцією викопувальної скоби) та аналогічні функції.

Компанією «Ditta - Berto Guerrino» (Італія) [20] випускається викопувальний плуг (рис. 1.8), який включає стовбу 5, до якої приєднується викопувальна частина з лемешем 1, встановленим під кутом до напрямку руху, і коливальну розпушувально-сепарувальну решітку 3 у вигляді поздовжніх пластин. Знаряддя гідрофіковане, решітка приводиться в коливальний рух



ексцентриковою тягою 4 від маніпулятора 6, який з'єднано з гідромотором. Передбачена можливість змінювати положення робочого органу в горизонтальній і вертикальній площині гвинтовим механізмом 7, а також всієї машини відносно поздовжньої осі трактора.

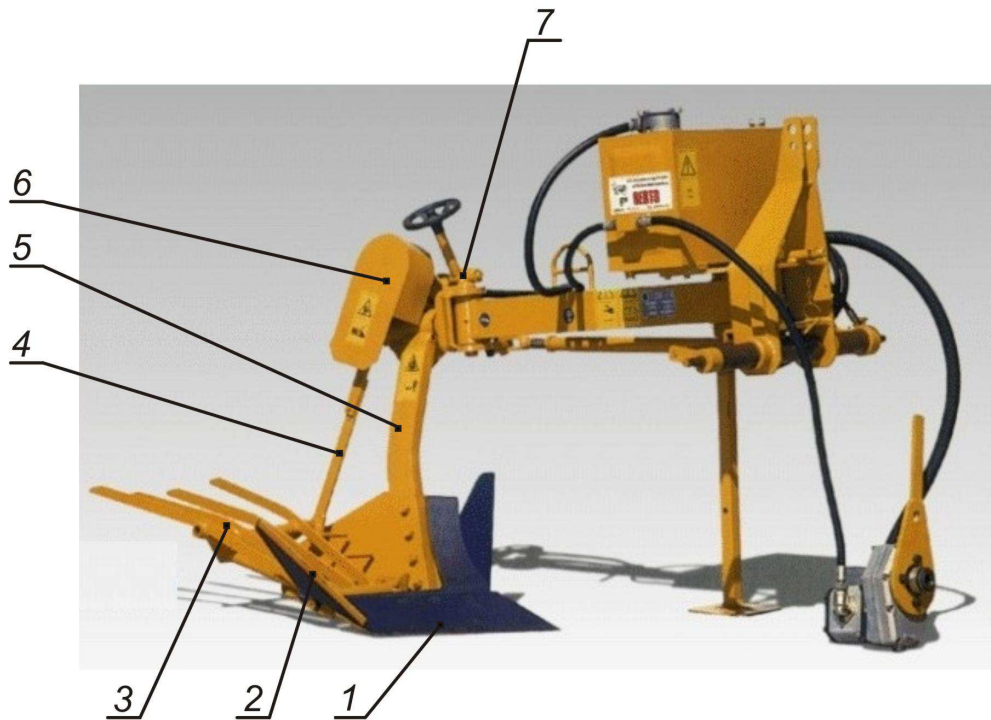


Рис. 1.8. Викопувальний плуг компанії «Ditta - Berto Guerrino» [20].

Робочий орган, крім лемеша, має два нахилених назад вертикальних ножа 2 для відділення кореневої системи саджанця у вертикальній площині.

Функціональний аналіз до робочої частини плугу наведено в табл. 1.4

Таблиця 1.4

Аналіз функцій елементів робочого органу плугу «Berto»

Елемент		Функція	
Позна - чення	Найменування	Позна - чення	Опис
1	2	3	4
$E_0$	Леміш	$F_0^1$ $F_0^2$ $F_0^3$	Вирізає ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) і кореневу систему саджанця (КСС) ( $V_{2.2}$ ) з ґрунтового масив ( $V_1$ ). Передає зусилля опору різанню ґрунтового масиву ( $V_1$ ) і КСС ( $V_{2.2}$ ) рамі Переміщує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ ) до розпушувача $E_{01}$ .

## Продовження табл. .1.4

$E_{01}$	Вертикальний ніж	$F_{01}^1$	Розрізає ґрунтовий масив ( $V_1$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ )
$E_{02}$	Розпушувач	$F_{02}^1$ $F_{02}^2$	Переміщує і руйнує ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) з КСС ( $V_{2.2}$ ). Сепарує ґрунтові агрегати ( $V_{1.1.1}$ ) і розміщує саджанці ( $V_2$ ) на поверхні ґрунтового масиву ( $V_1$ ), утвореній ґрунтовими агрегатами ( $V_{1.1.1}$ )
$E_1$	Ексцентрикова тяга	$F_1^1$	Забезпечує коливальний рух розпушувача ( $E_{02}$ ).
$E_2$	Маніпулятор	$F_2$	Забезпечує обертання головки ексцентрикової тяги ( $E_1$ )
$E_3$	Стовба	$F_3^1$ $F_3^2$	Забезпечує положення лемешу ( $E_0$ ), вертикального ножа ( $E_{01}$ ), розпушувача ( $E_{02}$ ) відносно поверхні ґрунтового масиву ( $V_1$ ). Передає зусилля опору діям лемеша ( $E_0$ ) вертикального ножа ( $E_{01}$ ) розпушувача ( $E_{02}$ ) рамі

У технологічному процесі викопування саджанців руйнування ґрунтового шару впливає на зниження зусиль при вибиранні або бранні саджанців. У винаході на викопувальну машину [21] за мету ставиться підвищення продуктивності праці і зниження трудовитрат за рахунок поєднання операції ошмигування рослин з їх викопуванням.

Викопувальна машина (рис. 1.9) має пов'язані собою рухливу 1 і нерухому 2 скоби. Кожна з верхніх частин рухомий скоби за допомогою тяги і шарніра з'єднана зі стійкою 4, розміщеною з можливістю переміщення у встановленій на нерухомій скобі напрямній 3. На стійці 4 закріплено пальцевий щит 5 механізму для видалення листя. Пальцевий щит складається з рамки і набору порожнистих горизонтальних перекладин, в пазу кожної з яких на осі за допомогою штифта і пружини, що взаємодіє з внутрішньою поверхнею порожнистої поперечини, встановлений утримувач, на кінцевій частині якого закріплено гумовий палець. Пальці розміщені на пальцевому щиті в шаховому порядку, механізм для видалення листя розміщено над гирлом брального апарату.

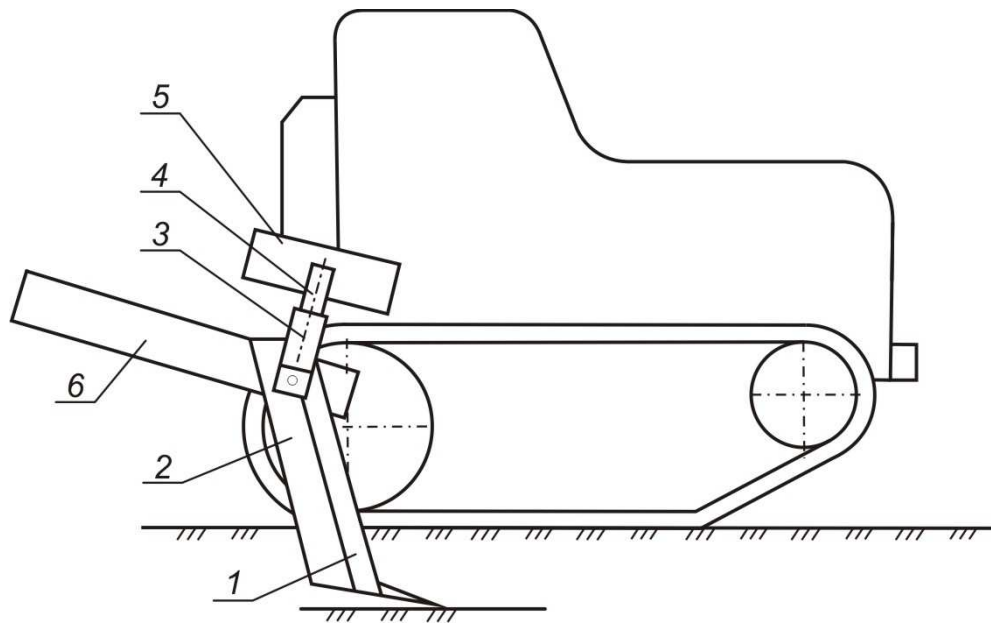


Рис. 1.9. Викопувальна машина [21].

Функціональний аналіз наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

#### Аналіз функцій викопувальної машини

Елемент		Функція	
Позна - чення	Найменування	Позна - чення	Найменування
1	2	3	4
$E_0$	Викопувальна нерухома скоба	$F_0$	Вирізає, переміщує з руйнуванням ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) і КСС ( $V_{2.2}$ ) з ґрунтового масив ( $V_1$ )
$E_{01}$	Викопувальна рухома скоба	$F_{01}$	Вирізає, переміщує з руйнуванням ґрунтову скибу ( $V_{1.1}$ ) і КСС ( $V_{2.2}$ ) з ґрунтового масив ( $V_1$ )
$E_1$	Пальцевий щит	$F_1$	Видаляє листя ( $V_{2.1.1}$ ) з саджанця ( $V_2$ )
$E_2$	Бральний апарат	$F_2$	Захоплює і витягує саджанці ( $V_2$ ) з ґрунтової скиби ( $V_{1.1}$ ), транспортує та скидає на поверхню ґрунтового масиву ( $V_1$ )

На активізацію процесу руйнування зв'язків у ґрунті з розміщеною в ньому кореневою системою направлено технічне рішення за патентом [22] в викопувальній машині, яку зображено на (рис. 1.10).

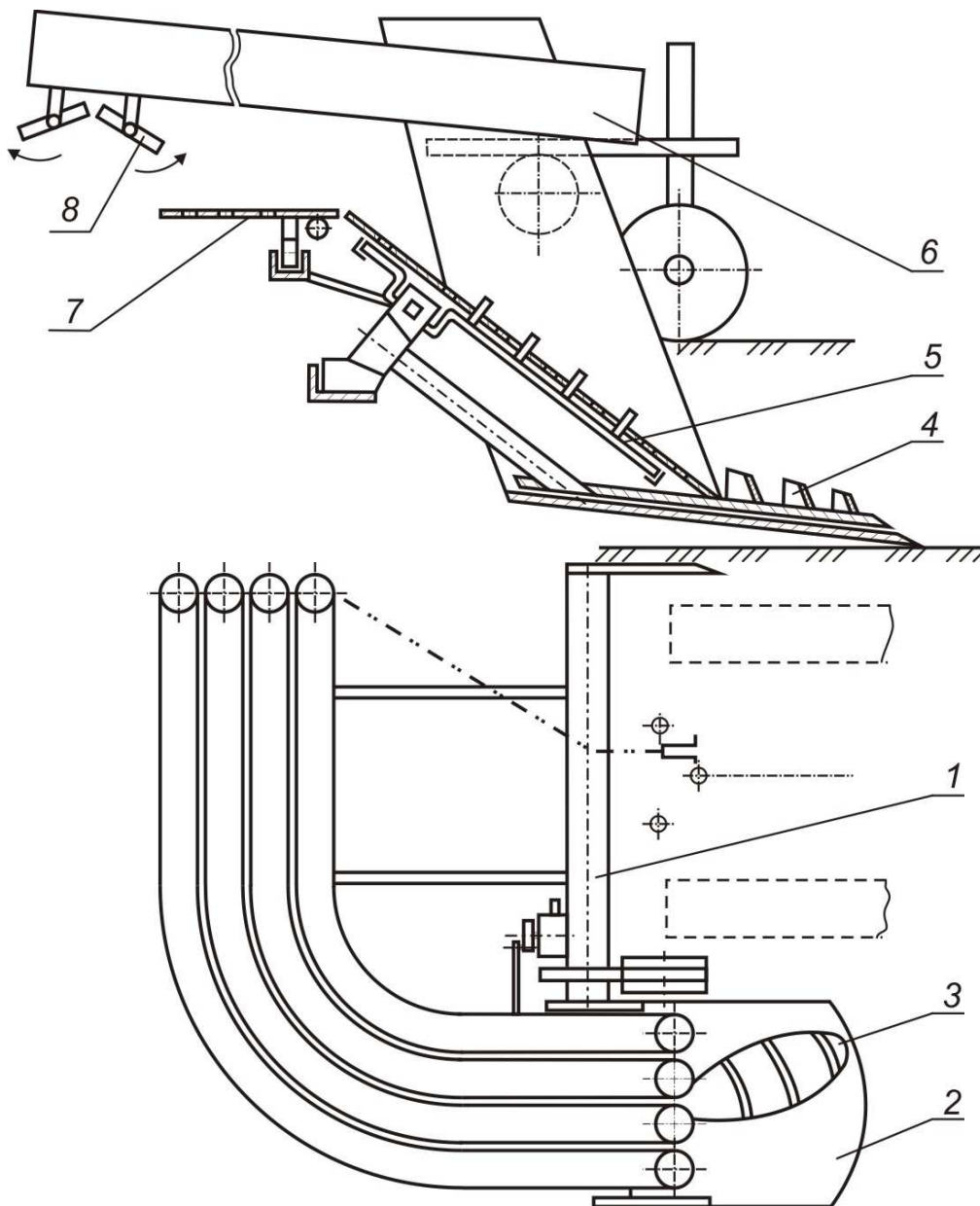


Рис. 1.10. Викопувальна машина [22].

Викопувальна машина включає раму 1, на яку встановлено підкопувальну скобу 2 і розміщені пристрої для активної дії на ґрунт. Перший пристрій, являє собою коливальний підрізальний ніж 3 з різновисокими клиновими розпушувачами 4, другий – пальцевий обтрушувач ґрунту з коренів рослин 5, встановлений нахилено до скоби і має отвори для сепарації ґрунтових агрегатів, третій – коливальний подовжувач 7, здійснює дію на ґрунтові агрегати на коріннях, захоплені бральним апаратом 6. На бральному апараті встановлені бітери 8 для остаточного звільнення коренів саджанців від ґрунту.

Витягнуті з ґрунту саджанці за допомогою ременів брального апарату подаються в зону дії бітерів, де ґрунт, який залишився на коренях, остаточно

обтрушується та саджанці укладаються на вільну частину поля або в накопичувач.

Аналіз функцій елементів викопувальної машини представлено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5

## Аналіз функцій елементів викопувальної машини

Елемент		Функція	
Позна - чення	Найменування	Позна - чення	Найменування
1	2	3	4
E <sub>01</sub>	Підрізальний ніж	F <sub>01</sub>	Підрізає і перенаправляє ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> ) на одну з гілок брального апарату (E <sub>1</sub> )
E <sub>02</sub>	Клиновий розпушувач	F <sub>02</sub>	Руйнує ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> )
E <sub>03</sub>	Перфорована пластина	F <sub>03</sub>	Сепарує ґрунтові агрегати (V <sub>1.1.1</sub> ), забезпечує розміщення пальців
E <sub>04</sub>	Подовжувач	F <sub>04</sub> <sup>1</sup> F <sub>04</sub> <sup>2</sup>	Руйнує ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) і сепарує ґрунтові агрегати (V <sub>1.1.1</sub> ). Транспортує КСС (V <sub>2.2</sub> ) до брального апарату (E <sub>1</sub> )
E <sub>1</sub>	Бральний апарат	F <sub>1</sub>	Захоплює, переміщує і скидає саджанці (V <sub>2</sub> ) на поверхню ґрунтового масиву
E <sub>2</sub>	Бітер	F <sub>2</sub>	Виконує ударну дію по ґрунтовим агрегатам (V <sub>1.1.1</sub> ) на КСС (V <sub>2.2</sub> )

Функціональний аналіз дозволив встановити, які функції виконують структурні елементи, взаємозв'язок між ними, з іншими і у взаємодії з об'єктами навколишнього середовища в викопувальних машинах.

### 1.3. Дослідження технологічних операцій підкопування і вибірки саджанців плодкових культур

Викопування та вибірка саджанців плодкових культур є операціями технологічного процесу їх вирощування і виборки. У викопуванні саджанців, що виконується викопувальними знаряддями, можна виділити різання ґрунту з кореневою системою саджанця, відділення кореневої системи від ґрунту і транспортування саджанця до поверхні борозни (або скидання на поверхню поля). Дані види дій є функції відповідних елементів робочих органів знарядь. Вибірка саджанців виконується вибиранням вручну після підкопування викопувальними плугами та механізовано викопувальними машинами.

Особливістю викопування саджанців є те, що слід розглядати взаємодію робочих органів з системою «ґрунтова скиба - коренева система саджанця». Взаємодія робочих органів з системою «ґрунтова скиба - коренева система саджанця» ґрунтується на теорії різання клином. Різання клином системи «ґрунтова скиба - коренева система саджанця» вимагає розгляд умов, факторів, закономірностей взаємодії, що визначають перебіг процесу з умов мінімальних зусиль на різання ґрунту з кореневою системою саджанців та її відокремлення від ґрунтових агрегатів .

Дослідження з створення більш ефективних робочих органів для викопувальних машин були проведені Варламовим Г.П., Хайлісом Г. А., Ілюхіним В. В., Строем А. О., Кукушкіним В. К., Кліновим С. І., Грушанським О. А., Фрішевим Г. А., Караєвим О. Г., Кравченко В. В.

В дослідженнях Ілюхіна В. В. [24, 25] ставилося за мету розробити теоретичні основи брання саджанців для створення машини, що здійснює не тільки викопування (підкопування) але і вибірку саджанців із звільненням коренів від ґрунту. Проведено дослідження з вивчення розмірних характеристик кореневої системи саджанця, визначення сили опору саджанців нахилу, коефіцієнта взаємного тертя для встановлення конструктивних параметрів і робочих режимів брального апарату викопувальної машини. Визначено зусилля опору підкопуванню та вилучення саджанців (викопування

проводилося плугом ВПН - 2) з ґрунту для створення тиску стиснення, з яким необхідно затиснути саджанці в бральному апараті без їх пошкодження. Для плодкових саджанців (черешня, слива) зусилля витягання з підкопаного ґрунту знаходяться в межах від 350 Н до 1000 Н (середнє значення 680 Н) для яблуні від 350 Н до 800 Н. За результатами вивчення ширини ряду а також розташування в ґрунті кореневої системи смородини, малини плодкових культур запропонована ширина викопувального робочого органу з формою півкола в межах від 0,55 м до 0,7 м. Серед фрикційних характеристик визначено коефіцієнт тертя спокою саджанців між собою (у яблуні – 0,62, сливи – 0,7), динамічного тертя саджанця по гумі (яблуня – 0,64, слива – 0,55).

За результатами теоретичних досліджень встановлено, що показник кінематичного режиму роботи брального апарату залежить від відношення поступальної швидкості машини до швидкості бральних ременів і повинен бути в межах від 0,7 до 1,05. Умови, які визначають затягування саджанців у бральний апарат, характеризуються кутом  $\alpha$  між бральними ременями і підпорядковане залежності  $\alpha \leq 2\varphi$  (де  $\varphi$  – кут зовнішнього динамічного тертя саджанця по гумі). Обґрунтовано умову брання саджанців - перевищення сил тертя між рослинами і ременями над зусиллям опору саджанців вилученню з ґрунтової скиби. Корисна потужність, що витрачається на брання саджанців, залежить від зусилля витягання рослин з ґрунту, швидкостей бральних пасів і трактора.

У роботі [25] пропонується для додаткового руйнування ґрунтового шару використовувати коливальну рамку до плуга ВПН - 2, що приєднується до задньої частини лемеша (рис. 1.11).

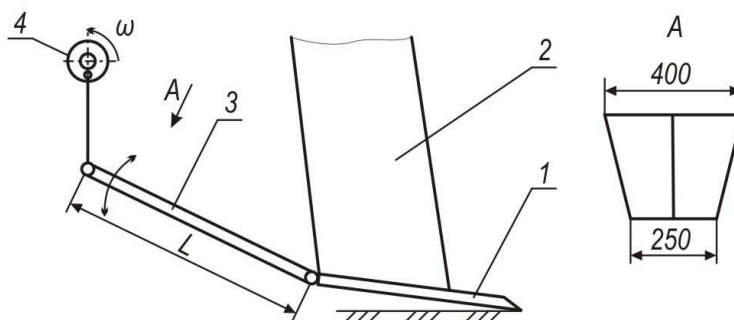


Рис. 1.11. Схема робочого органу плуга ВПН - 2 з коливальною рамкою [25].

Запропоновано методику обґрунтування геометричних параметрів рамки 3 і її положення щодо задньої кромки лемеша 1 робочого органу 2, виходячи з сумісної дії на ґрунт лемешу і коливальної рамки, привід якої здійснюється від кривошипно – шатунного механізму 4. Важливою умовою взаємодії коливної рамки з ґрунтовим шаром армованим корінням є відсутність нагромадження його при переміщенні та достатнє руйнування, що забезпечує зменшення зусиль на вибірку саджанців. Аналітично обґрунтована довжина рамки, яка дорівнює  $L = 0,73$  м, прийняті поперечні розміри рамки: більша основа трапеції (кінець рамки по ходу руху) – 0,4 м менше – 0,25 м (початок рамки). Кут різання лемешем прийнято в межах від  $10^0$  до  $12^0$ . Для цих значень, спираючись на дослідження [26] на переміщення пласта двограним клином приходиться до 14,3 % тягового опору. Результати випробувань для швидкості руху агрегату 0,7 м/с, з амплітудою коливань рамки  $A = 0,067 - 0,082$  м і частоті обертання кривошипу від  $6,0 \text{ с}^{-1}$  до  $8,5 \text{ с}^{-1}$  показали, що зусилля на витягання саджанців з ґрунту в залежності від сортового складу знижуються від 1,7 до 2,5 разів в порівнянні з викопувальним плугом ВПН - 2. В дослідженнях не наводяться дані щодо обґрунтування запропонованих режимів роботи та параметрів коливальної рамки.

У теоретичних дослідженнях [27] запропоновано методику розрахунку розмірів лемеша викопувального плуга, проведено кінематичний аналіз та досліджено процес взаємодії коливального лемеша з ґрунтовим шаром на основі використання двомасової упруго-в'язкопластичної феноменологічної моделі. Було встановлено вплив кута нахилу лемеша до горизонталі на тиск в ґрунтовому шарі: збільшення кута більше  $20^0$  недоцільно. Запропонована модель дозволяє визначити умови перевищення швидкості вібропереміщення над швидкістю руху агрегату при амплітуді коливань 7 мм і частоті обертання приводного валу ексцентрикового механізму  $10 \text{ с}^{-1}$ .

Експериментально встановлено, що при ширині лемеша 0,4 м і глибині викопування саджанців 0,35 м для різних саджанців буде викопано від 68 до 79% кореневої системи, при ширині 0,6 м – від 75 до 86%. В роботі не розглянуто обґрунтування параметрів розпушувального пристрою.



У роботі [28] розглянуто технологічний процес викопування та пересадки великих за розмірами дерев з грудкою ґрунту. У структурі завдань та їх вирішенні обґрунтована конструктивна схема викопувальної машини, оптимальна форма і параметри викопувальної скоби для різання ґрунту з корінням. Запропонована форма активної зони викопної скоби у вигляді сукупності прямолінійних лез, (рис. 1.12) нахилених під певними кутами до вертикалі.

Для уточнення факторів, що впливають на зусилля опору різання середовища «ґрунт - корінь» [28] було здійснено аналіз сил діючих на фаски ріжучого периметра скоби. Аналітично встановлено, що зусилля на ущільнення стінок щілини і розсовування коренів у сторони можна зменшити, змінивши заточку фасок ріжучого периметра скоби (асиметрична зовнішня заточка), зменшенням кута заточування і зниженням тертя ковзання ґрунту, який розрізається, об внутрішню поверхню, створюючи умови мінімального стиснення.

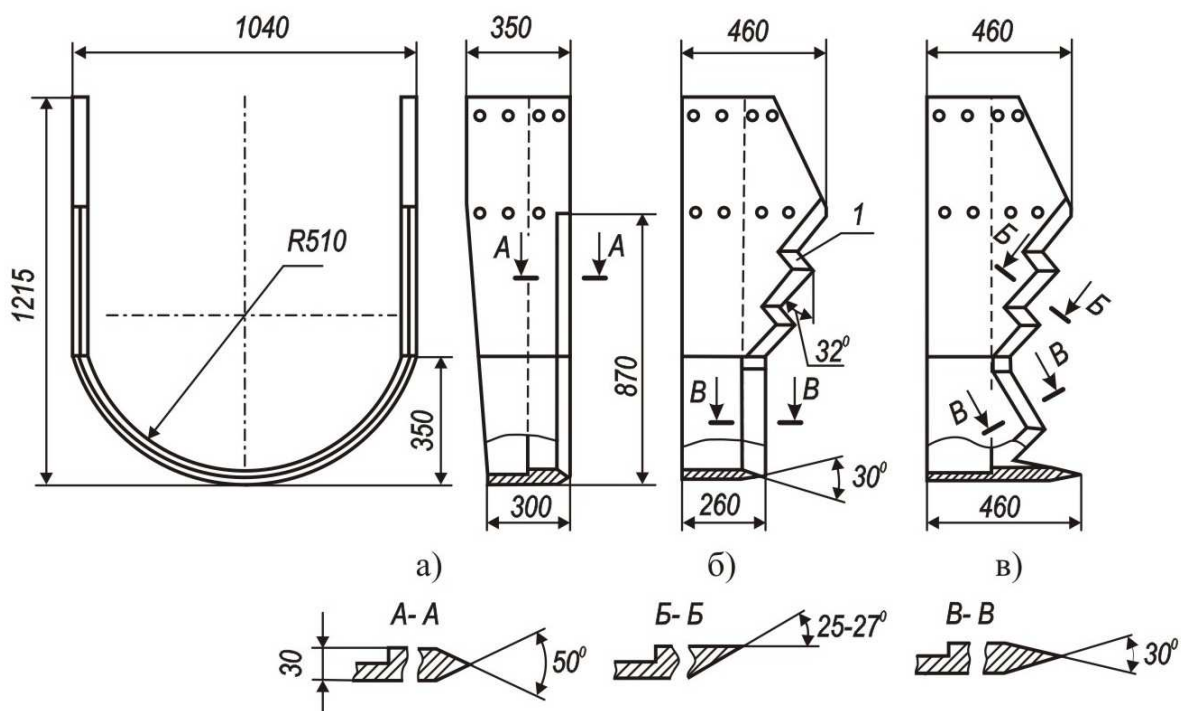


Рис. 1.12. Форми викопувальної скоби: а) викопувальна скоба агрегату АВКС; б) викопувальна скоба машини «Кріт» для роботи в розсадниках; в) викопувальна скоба «Кріт» для викопування великих за розмірами дерев.

До проектування викопувальної скоби сформульовані наступні вимоги: при мінімально можливій довжині скоби (по ходу руху) довжина її леза повинна бути максимально можливою; повинно реалізовуватися похиле і різання з ковзанням лезом бічних стінок скоби; лінія леза бічних стінок скоби повинна мати нахил у бік напрямку руху; геометричні параметри скоби, її ріжучого профілю повинні забезпечувати мінімальне зусилля різання системи «грунт - корінь» і зниження сил тертя при переміщенні відокремленого кома з кореневою системою по поверхні в середині скоби.

Проведено експериментальні дослідження для вивчення вплив виду форми викопувальної скоби і її положення (кут нахилу днища до горизонталі) на зусилля різання і бічний стиск ґрунту з кореневою системою саджанця всередині скоби при викопуванні дерев для подальшої пересадки. Досліджувались п'ять масштабних моделей (рис. 1.13) для визначення зусиль різання. Критерієм раціональності конструкції було прийнято питоме зусилля різання. Найменшим воно було для моделей 1 і 5. Слід зазначити, що для моделі 5 питомий опір має тенденцію зниження до кутів від  $4^{\circ}$  до  $5^{\circ}$ , потім збільшується по пологій кривизні, для досліджуваних кутів нахилу днища. Сумарне бічне стиснення ґрунту з кореневою системою дерев в моделях за результатами вимірювань тиску всередині ґрунту на різних глибинах від дна викопування (120 мм, 210 мм, 290 мм) встановлено найменшим для моделей 3 і 4.

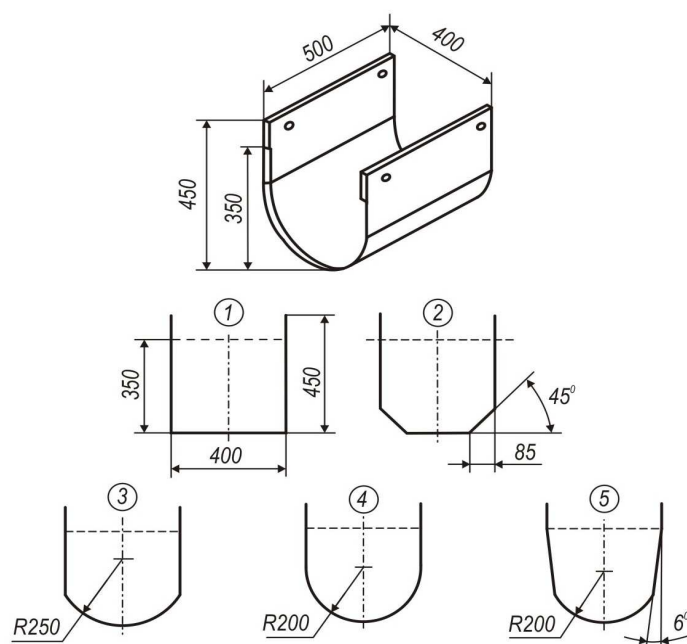


Рис. 1.13. Масштабні моделі викопувальних скоб [28 ].

За експериментальними дослідженнями і отриманими математичними моделями встановлено вплив кута заточування леза скоби і кут нахилу лінії леза скоби на оптимізуємий параметр – питоме зусилля різання для умов різання ґрунту без коріння і з корінням. Отримано такі величини кута нахилу леза –  $30^\circ$ , кут загострення –  $27,5^\circ$  для різання ґрунту без коріння, з корінням відповідно  $34^\circ$  і  $25^\circ$ . Для використання скоби в умовах різання ґрунту з корінням і без коріння рекомендовано розташування леза скоби під кутом  $32^\circ$  до вертикалі, кут заточування леза в інтервалі від  $25^\circ$  до  $27,5^\circ$ . З метою попередження та забезпечення стійкості ходу скоби на важких ґрунтах нижню, заокруглену частину скоби рекомендується заточувати симетрично з кутом в межах від  $25^\circ$  до  $30^\circ$ .

Серед напрямків наукових досліджень машинного викопування саджанців повинні розглядатися задачі обґрунтування технологічних схем, конструктивних оптимальних параметрів робочих органів для інтенсифікації дії на відокремлений ґрунт з кореневою системою саджанця з метою руйнування і подальшого відділення ґрунту від коренів саджанця та зниження енергоємності процесу.

Для вирішення цих завдань пропонується конструктивна схема викопувального плуга (рис. 1.14) [29], яка включає скобу 1 напівкруглого поперечного перерізу з встановленими на ній пластинчастими розпушувачами 2 і розпушувально-сепарувальну решітку 3, які утворюють робочу поверхню з подовжнім профілем у вигляді увігнуто-опуклої кривої.

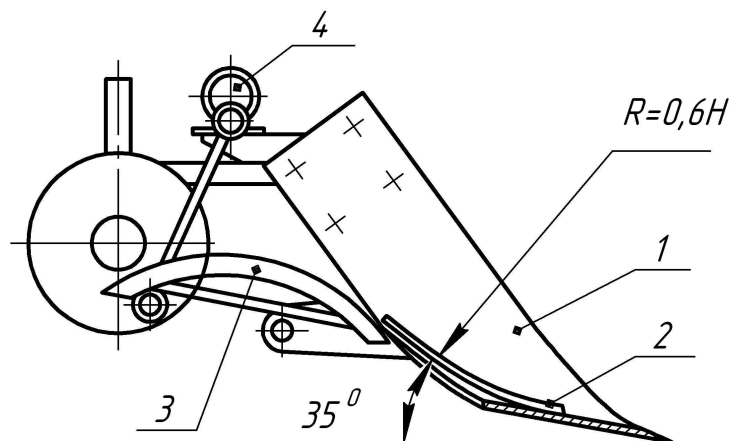


Рис. 1.14. Конструктивна схема викопувального плуга ВСН - 1.

За тип робочого органу прийнята скоба, що має напівкруглий профіль, радіус якого дорівнює половині робочій ширині захвату. Величина радіусу увігнутої частини поздовжнього профілю скоби прийнята не менше 0,6 глибини викопування ( $H$ ) з умови розташування його центру вище нейтральної осі опору поздовжнього перерізу пласта вигину. Кут нахилу горизонтальної частини скоби до дна борозни визначає зусилля опору різання ґрунту і повинен забезпечувати різання коренів саджанців. Його величина прийнята в межах від  $7^{\circ}$  до  $10^{\circ}$  за рекомендаціями [30]. Для підйому ґрунтового шару з саджанцями до поверхні поля, в задній частині скоби встановлені пластинчасті розпушувачі, положення яких визначено кутом рівним  $35^{\circ}$ , прийнятим, ґрунтуючись на дослідженнях Синєокова Г. Н., Панова Н. М. [31], що забезпечує його переміщення. Остаточне руйнування і відділення ґрунту від кореневої системи саджанця запропоновано реалізувати на коливальній решітці, привід якої здійснюється кривошипно-шатунним механізмом 4. Інтенсивність руйнування ґрунту досягається режимом коливання з відривом саджанця з ґрунтом від решітки і забезпечується амплітудою коливань 0,025 м і частотою періодичних коливань в діапазоні від 7,5 Гц до 9,3 Гц.

Експериментальними дослідженнями встановлено залежність коефіцієнта повноти відділення ґрунту, зв'язаного з корінням саджанців, від подачі ґрунту і частоти коливань решітки на важкому глинистому ґрунті (вологість становила від 19 до 22 %, твердість – від 1,7 МПа до 2,3 МПа). Зі збільшенням подачі ґрунту на решітку і зменшенням частоти коливань решітки відбувається зменшення коефіцієнта повноти відділення ґрунту. Зміна частоти коливань решітки в діапазоні від 7,5 Гц до 10,5 Гц менш істотно впливає на повноту відділення ґрунту (збільшення коефіцієнта склало від 0,8 до 0,83).

У рослинництві найбільш енергоємною операцією є основна обробка ґрунту, різновидами якої є відвальна й безвідвальна. Безвідвальна обробка відноситься до менш енергоємної й спрямована на розуцільнення ґрунту, поліпшення водного й повітряного режиму, також вона відноситься до прийомів захисту ґрунтів від повітряної й водної ерозії. Виконується вона із застосуванням розпушувальних, щілинорізальних, чизельних знарядь, які

працюють в умовах глибокого розпушування. Конструктивні елементи робочих органів безвідвальних знарядь своєю формою й положенням визначають ефективність технологічних процесів ґрунтообробки.

Розглянемо види форм і ті структурні елементи безвідвальних знарядь, які функціонально подібні до робочих органів викопувальних машин.

У роботі [32] розглянута задача обґрунтування використання малоенергоємних поверхонь знакозмінного впливу на обробку ґрунту. Запропонований принцип дії передбачає встановлення відповідності між основними технологічними функціями (різання, кришення і розпушування) і виконавчими структурними елементами робочих органів. Забезпечення такої відповідності було встановлено для форми поздовжнього профілю робочого органу знакозмінного впливу аналітичною функцією

$$ax = 5,3tg \frac{\pi(by' - 4,25)}{13,6} - 13,56, \quad (1.3)$$

де а й b - коефіцієнти масштабу.

Крива графіка функції як це видно з рис. 1.15 змінює увігнутість профілю в опуклість при безперервній зміні кривизни, при цьому відбувається перехід від деформування різанням ґрунту до деформування руйнуванням. Зменшення швидкості розповсюдження деформації в ґрунті, яке викликає кривизна поверхні, зменшує енергоємність процесу.

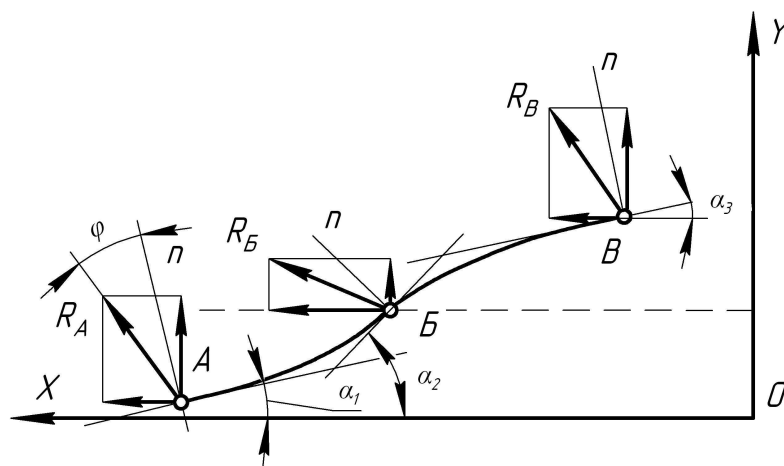


Рис. 1.15. Крива поздовжнього профілю робочого органу знакозмінного впливу.

Поверхні знакозмінного впливу застосовані в конструкціях знарядь типу скоби і півскоби (рис.1.16) [33].

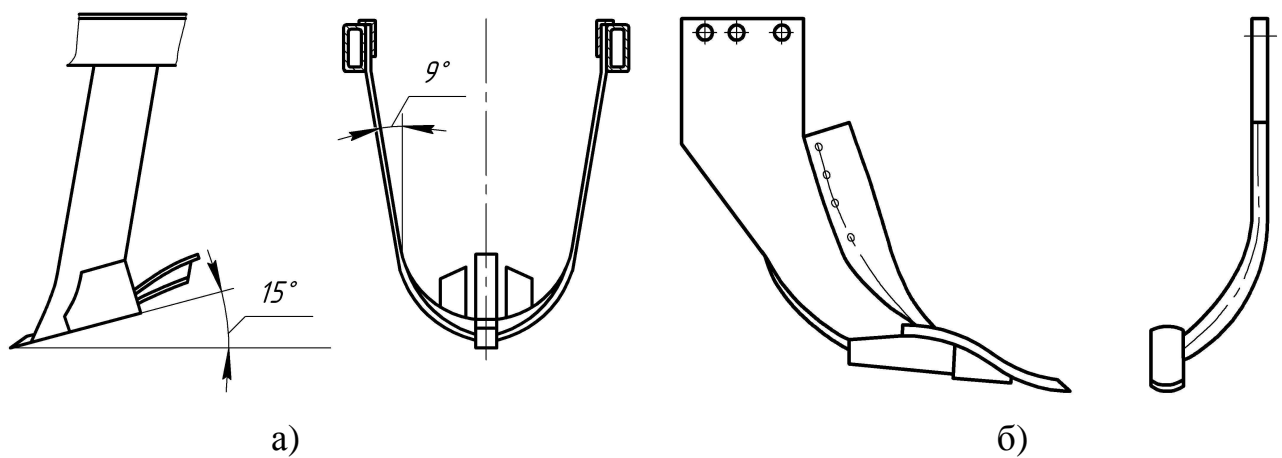


Рис. 1.16. Скоба (а) та півскоба (б) знакозмінного впливу.

У дослідженнях [33, 34] розглянуто форми і параметри поверхонь розпушувальних робочих органів, які здійснюють вплив на енерговитрати. Форма і положення робочої поверхні впливає на процес взаємодії з ґрунтом, змінюючи види деформацій. Запропоновано поздовжній профіль робочої поверхні у вигляді кривої, по довжині якої здійснюється рівномірний тиск на пласт. Для визначення кривої пласт представлений у вигляді консольної балки навантаженої рівномірно розподіленим тиском. Профіль у цьому випадку описується рівнянням зігнутої осі пласта

$$y = p(x^4 - 4l^3 \cdot x + 3l^4) / 24E \cdot J_z, \quad (1.2)$$

де  $p$  - розподілена сила;

$l$  - довжина шару;

$E$  - модуль деформації;

$J_z$  - момент опору поперечного перерізу шару.

Рівняння описує увігнуту криву з кривизною, яка зменшується від початкової до кінцевої точки. При безперервній зміні кривизни лінія профілю, увігнута крива закономірно переходить в опуклу зі зміною знака кривизни. Робоча поверхня клина з таким подовжнім профілем призводить до деформації стиснення ґрунт із зсувом на увігнутій ділянці і розтягуванням на опуклій. Цим досягається зниження енергоємності кришення від зниження швидкості

деформації і реалізується ефект Баушінгера. Радіус увігнутої частини поздовжнього профілю з метою зниження надлишкового стиснення пропонується примати більше або рівним двом третинам максимальної глибини обробки ґрунту. Положення точки перегину поздовжнього профілю знаходиться на відстані від 0,55 до 0,64 довжини профілю по горизонталі від передньої точки кромки профілю.

Викопування саджанців викопувальними знаряддями подібно процесам роботи землерийних машин, які здійснюють, у загальному вигляді, відділення ґрунту від масиву, подальше переміщення вирізаного ґрунту вперед до місця відвалу або всередині робочого органу з накопиченням і транспортування до місця вивантаження (навантаження)

Процеси роботи землерийних машин, які близькі за характеристикою умов, схем і протіканню взаємодії з ґрунтом, формам робочих органів з викопувальними машинами, були розглянуті в роботах учених [35 - 48].

Ґрунтуючись на дослідженнях в наведених роботах, процеси взаємодії робочого органу з ґрунтом залежать від наступних основних факторів: призначення робочого органу, його конструктивних параметрів (параметрів форми і положення ріжучих елементів); кінематичних особливостей землерийних машин (траєкторія руху, кінематичні кути різання); геометричних параметрів зрізаємої стружки (ширини і товщини та їх співвідношення, площі поперечного перерізу); схеми взаємодії робочого органу з ґрунтом (кількість відкритих поверхонь у розроблюваного масиву); фізичних властивостей ґрунту (щільність, вологість, твердість, липкість); механічних властивостей (опір стиску, зсуву, розриву, відриву, вигину); фрикційних властивостей (кутів внутрішнього та зовнішнього тертя, коефіцієнтів тертя).

## Висновки до першого розділу

1. Визначено, що до найбільш трудомістких технологічних операцій в розсаднику плодкових саджанців відноситься викопування саджанців з наступною їх вибіркою робітниками, а конструкції робочих органів існуючих викопувальних плугів не забезпечують оптимальні умови праці робітників при витягуванні підкопаних саджанців з ґрунту.

2. На підставі проведеного функціонального аналізу викопувальних плугів встановлено, що функція розпушення ґрунтової скиби з кореневою системою саджанців є найбільш ваговою при мінімізації зусилля на витягування підкопаних саджанців з ґрунту робітниками. Також встановлено, що в процесі розпушення має відбуватися відділення часток ґрунту від кореневої системи саджанців з можливістю їх переміщення на дно борозни.

3. Встановлено що розпушувач має бути активним завдяки його качання, а на ефективне розпушення і відділення ґрунту від кореневої системи саджанця суттєвий вплив мають такі його параметри:

- режим коливань з відривом ґрунтової скиби від поверхні розпушувача;
- кут встановлення поверхні розпушувача до горизонту;
- відстані між розпушниками;
- час взаємодії поверхні розпушувача з ґрунтовою скибою.

4. Форма поверхні розпушувача повинна забезпечувати рух ґрунтової скиби з саджанцем з найменшими витратами енергії на переміщення.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗПУШУВАЧА РОБОЧОГО ОРГАНУ ВИКОПУВАЛЬНОГО ПЛУГА

#### 2.1. Біометричні характеристики саджанців

За характером розміщення у ґрунті корені поділяють на горизонтальні і вертикальні. Корені поділяють на скелетні, напівскелетні і обростаючі. Однією з важливих функцій скелетних і напівскелетних коренів є утримання саджанців у ґрунті [49, 50, 51].

До основних параметрів кореневої системи належать діаметр і довжина коренів [52] та кількість коренів горизонтального і вертикального спрямування. На ефективність утримуючої функції кореневої системи також впливає її архітектоніка та глибина залягання.

У дослідженнях [53 - 59] вивчалися механічні властивості та розмірно-масові параметри садивного матеріалу в плодорозсадниках з метою обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів та режимів роботи машин для вирощування і викопування саджанців. За дослідженнями Мережко І. І. [58] встановлено, що від 90 до 95% коренів саджанців яблуні (Джанотан, Макінтош, Уманське зимове, зимове Плесецького) розташовується на глибині до 0,4 м. Досліджувався вплив глибини викопування саджанців (викопувалися на глибині 0,25 м, 0,4 м, 1 м) на подальше приживання їх в саду в різних ґрунтових умовах (тип ґрунту, вологість, вологоємність). Рекомендовано глибину копання здійснювати не менше 0,4 м. Дані дослідження були проведені для умов вирощування без застосування систем стаціонарного зрошення.

Для встановлення розмірних параметрів кореневої системи саджанців на зрошенні в ґрунтово - кліматичних умовах південного Степу нами були прове-

дені дослідження з виявлення особливостей розташування кореневої системи в ґрунті.

Для дослідження кореневої системи саджанця було застосовано метод «скелету», який дозволяє більш ретельно вивчити кореневу систему. За цим методом корені відкопуються по ходу їх розташування в ґрунті, що дає уявлення о місцезнаходженні і устрою кореневої системи. Під час досліджень установлювалася довжина коренів відносно лінії ряду (вздовж і поперек) та глибина залягання коренів.

Дослідження кореневої системи саджанців зерняткових культур було проведено для яблуні на підщепах М9, М7 в розсаднику відділення №3 ДГ ДП «Мелітопольське» за схемою вимірювань, яка наведена на рисунку 2.1. Виявлено, що коренева система розповсюджується рівномірно відносно осі ряду. Корені мають, в основному, горизонтальний напрямок і досягають довжини від 1,0 м до 1,3 м. В глибину вони мають меншу спрямованість і залягають від 0,5 м до 0,6 м.

Дослідження кореневої системи саджанців кісточкових культур було проведено у другому в розсаднику за подібною схемою. Кількість горизонтальних коренів, в основному, дорівнює вертикальним. Було виявлено три умовні зони росту коренів: перша на глибині від 0,05 м до 0,1 м, друга – від 0,2 м до 0,25 м і третя - на глибині 0,3 м. Встановлено, що основна кількість коренів кореневої систем кісточкових знаходиться другій зоні в кількості до 15 штук.

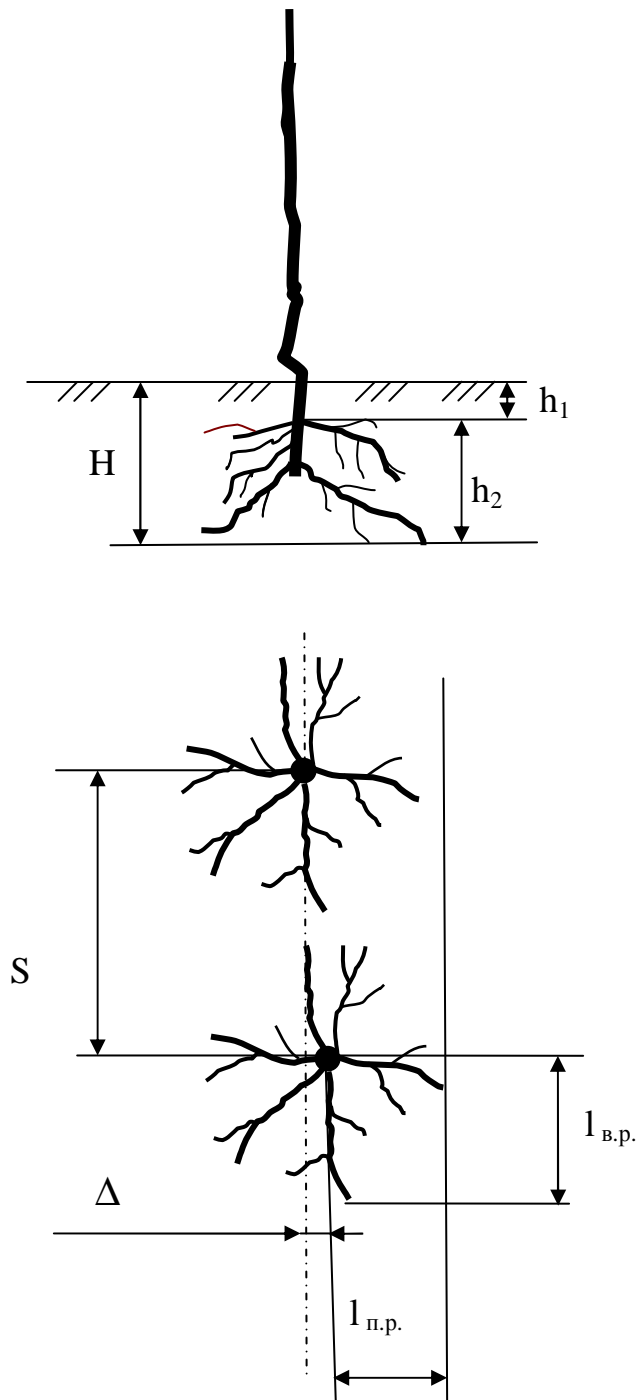


Рис. 2.1. Схема для вимірювання розмірів кореневої системи саджанців:  
 $H$  – глибина залягання нижніх коренів;  $h_1$  – глибина залягання верхніх коренів;  
 $h_2$  – зона розташування основної маси коренів;  $l_{в.р.}$  – розповсюдження коренів  
вздовж ряду;  $l_{п.р.}$  – розповсюдження коренів поперек ряду;  $\Delta$  – відхилення са-  
джанців від умовної осі ряду;  $S$  – відстань між саджанцями в ряду.

Результати вимірювань наведено в таблицях 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1

Значення параметрів розташування коренів системи саджанців  
яблуні в ґрунті, см

Параметр	Культура	
	яблуня на М9	яблуня на М7
Глибина залягання верхніх коренів:		
середня	7,8	6,9
найменша	5,0	6,0
найбільша	10	10
Глибина залягання нижніх коренів:		
середня	27,2	28,1
найменша	19,0	18,0
найбільша	37,0	35,0
Зона розташування основної маси коренів:		
середня	11,7	12,2
найменша	10,0	10,0
найбільша	12,0	13,0
Розповсюдження коренів вздовж ряду:		
середнє	31,7	32,3
найменше	17,0	16,0
найбільше	50,0	45,0
Розповсюдження коренів поперек ряду:		
середнє	27,8	26,8
найменше	18,0	17,0
найбільше	55,0	53,0
Відхилення саджанців від осі ряду:		
середнє	3,5	3,6
найбільше	7,0	7
Відстань між саджанцями в ряду:		
середня	18,5	17,8
найменша	6,0	5,0
найбільша	50,0	60,0

Значення параметрів розташування коренів системи саджанців черешні і вишні в ґрунті на підщепі «маголепка», см

Параметр	Культура	
	черешня	вишня
Глибина залягання верхніх коренів:		
середня		
найменша	7,3	7,5
найбільша	5,0	8,0
	10,0	10,0
Глибина залягання нижніх коренів:		
середня		
найменша	53,6	57,3
найбільша	32,0	30,0
	70,0	60,0
Межа розташування основної маси коренів:		
середня	22,5	23,5
найменша	18,0	20,0
найбільша	27,0	26,0
Розповсюдження коренів вздовж ряду:		
середнє		
найменше	54,4	53,5
найбільше	20,0	19,0
	72,0	60,0
Розповсюдження коренів поперек ряду:		
середнє		
найменше	56,8	52,6
найбільше	19,0	19,0
	80,0	55,0
Відхилення саджанців від осі ряду:		
середнє		
найбільше	3,3	3,8
	8,0	9,0
Відстань між саджанцями в ряду:		
середня	20,5	19,7
найменша	5,0	5,0
найбільша	50,0	60,0

За статистичною обробкою отриманих параметрами кореневої системи саджанців встановлено, що ширина розпушувача має бути в межах від 0,38 м до 0,44 м, в яких знаходиться від 70% до 80% маси кореневої системи. Такі ме-

жі ширини розпушувача узгоджуються з параметрами викопувальної скоби плуга ВСН - 1, а саме її ширини, яка складає 0,55 м і прийнята із умов відділення 90% коренів саджанців від ґрунтового масиву та технологічних особливостей роботи плуга (відхилення саджанців від вісі ряду, наявність вірогідності відхилення трактора від напрямку руху, який повинен співпадати з віссю ряду).

## 2.2 Обґрунтування конструктивної схеми робочого органу

### 2.2.1 Розроблення конструктивної схеми робочого органу

Садильний матеріал отримують під час викопування саджанців у другому (третьому) полі розсадника. Викопування відбувається восени з другої декади жовтня на зрошуваних землях в умовах підвищеної вологості, щільності ґрунту, в ґрунтово - технологічних умовах орних земель, що характеризуються чорноземами південного Степу важкосуглинистого гранулометричного складу. Коренева система дворічних саджанців кісточкових культур має розвинуту та розгалужену структуру і передбачає викопування на глибину не менше 0,4 м. Такі умови викопування та недосконаленість робочих органів існуючих викопувальних плугів потребують на їх переміщення тягове зусилля, яке перевищує 30 кН, тобто тягове зусилля найбільш розповсюдженого трактора загального призначення. Для роботи одного викопувального плуга на глибині 0,4 м використовується два трактори даного класу.

Вибір саджанців робітниками після їх підкопування потребує зусиль на витягання з ґрунту за показниками важкості трудового процесу що відносять до класу шкідливих умов праці разове підіймання та переміщення вантажів постійно протягом робочої зміни до 300 Н для чоловіків, для жінок до 100 Н.

Використання двох тракторів створює не тільки технічні труднощі, але й веде до підвищення енергоємності процесу, зниження продуктивності праці, підвищенню трудових і енергетичних витрат, що знижує ефективність використання техніки та трудових ресурсів.

Існуюча проблемна ситуація виникає із - за наявності таких недоліків в існуючих конструкціях плугів:

а) пристрої для руйнування, переміщення ґрунтової скиби з кореневою системою саджанців не забезпечують достатнього розпушування та відділення ґрунтових агрегатів від коренів, що призводить до зусиль на витягування саджанців, які класифікуються як важки умовам праці;

б) витягування саджанців з підкопаного ґрунту, який не зруйновано до стану відділення ґрунтових агрегатів від коренів призводить до їхньої втрати (обриву).

Для отримання якісного садивного матеріалу засоби механізації, що виконують викопування повинні забезпечувати: природні розмірні характеристики кореневої системи саджанця; повноту підкопування саджанців; не допущення механічних пошкоджень наземної і підземної частин саджанця.

Під час вибірки саджанців важливими є фактори трудового процесу, серед яких виділяють напруженість праці, яка характеризується навантаженнями переважно на нервову систему і тяжкість праці, обумовлена фізичними та динамічними навантаженнями, а саме: масою вантажу, який піднімається і переміщується, загальним числом стереотипних робочих рухів, ступенем нахилу корпусу тіла. Ці фактори будуть обумовлювати умови праці, які повинні бути оптимальними.

Експлуатаційні властивості, що характеризуються енергетичною оцінкою, надійністю, безпекою конструкції, експлуатаційно-технологічної оцінкою повинні відповідати або перевищувати технічний рівень машин даного класу.

Технологічний процес викопування саджанців вміщує:

а) різання ґрунтового масиву і відділення скиби ґрунту з кореневою системою саджанців;

б) переміщення ґрунтової скиби з кореневою системою саджанців, руйнування зв'язків між ґрунтовими агрегатами;

в) розпушення ґрунтової скиби з кореневою системою саджанців та їх переміщення на поверхню поля.

## 2.2.2 Визначення основних вимог для удосконалення робочого органу плуга

Розгляд основних вимог до робочого органу будемо здійснювати, виходячи з проведеного аналізу засобів механізації для викопування саджанців (розділи 1.1, 1.2), з якого обрано для подальшого розгляду викопувальний плуг ВСН-1.

Основні технологічні вимоги до робочого органу плуга такі:

- 1) глибина підкопування до 40 см;
- 2) ширина захоплення до 60 см;
- 3) викопування одного ряду саджанців;
- 4) розміщувати саджанці на поверхні поля утвореній після викопування;

ня;

До основних вимог функцій розпушувача відносяться:

а) інтенсивне розпушування ґрунтової скиби з відділення ґрунту від коренів під час переміщення;

б) мінімальна площа поверхні контакту розпушуючих пристроїв з ґрунтовою скибою і коренями саджанців;

в) мінімальна довжина переміщення ґрунтової скиби з саджанцем для забезпечення розташування саджанців на поверхні поля утвореній після викопування

г) зусилля на витягування з підкопаного ґрунту не повинно перевищувати 70 Н [60].

На підставі визначених вимог зроблено оцінку плуга ВСН – 1 та виявлено такі основні недоліки:

а) переміщення і руйнування відділеного шару ґрунту з кореневою системою саджанця починається на пасивному розпушувачу, а потім подається на коливальну розпушувально - сепарувальну решітку, що зменшує час активної взаємодії з ґрунтом і кореневою системою саджанця та знижує інтенсивність розпушування ґрунтової скиби;

б) незмінне початкове положення розпушувачів та розпушувально - сепарувальної решітки не дозволяє змінювати їх положення ( кут встановлення



до горизонталі) для врахування стану ґрунту (щільність вологість, кут зовнішнього тертя) висоту переміщення ґрунту від зміни глибини викопування саджанців;

в) незмінна відстань між розпушниками не дозволяє впливати на кількість відділення ґрунту від скиби під час її переміщення і розпушення в залежності від розмірів кореневої системи, механічного складу ґрунту, а також не враховується кількість ґрунту.

д) форма та положення пластинчатих розпушувачів зменшують площу для сепарування ґрунту, утворюють зони налипання його на поверхні скиби та розпушувача.

На підставі наведеного аналізу викопувального плуга ВСН – 1 розроблено функціональну структуру робочого органу плугу, яка наведена в табл. 2.3 та визначено функціональні зв'язки конструктивних елементів плуга з ґрунтовою скибою та саджанцем (рис. 2.2).

Таблиця 2.3

## Функціональна структура робочого органу плуга

Конструктивний елемент		Функція	
позначення	найменування	позначення	опис
1	2	3	4
E <sub>0</sub>	Викопувальна скоба	F <sub>0</sub> <sup>1</sup>	Вирізає ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) і кореневу систему саджанців (КСС) (V <sub>2.2</sub> ) спочатку вертикальною а потім горизонтальною частиною леза з ґрунтового масиву (V <sub>1</sub> )
		F <sub>0</sub> <sup>2</sup>	Переміщує ґрунтову скибу (V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> ) до розпушувача - відокремлювач (РВ) (E <sub>01</sub> )
E <sub>01</sub>	Розпушувач	F <sub>01</sub> <sup>1</sup>	Руйнує ґрунтову скибу(V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> )
		F <sub>01</sub> <sup>2</sup>	Переміщує ґрунтову скибу(V <sub>1.1</sub> ) з КСС (V <sub>2.2</sub> )
		F <sub>01</sub> <sup>3</sup>	Відділяє ґрунтові агрегати (V <sub>1.1.1</sub> ) від ґрунтової скибу(V <sub>1.1</sub> )
		F <sub>01</sub> <sup>4</sup>	Переміщує саджанець (V <sub>2</sub> ) на поверхню утворену ґрунтовими агрегатами (V <sub>1</sub> )

Продовження табл. 2.3

$E_{01.1}$	Розпушник	$F_{01.1}^1$	Утворює решітчасту поверхню розпушувача ( $E_{01}$ )
$E_{01.2}$	Траверса	$F_{01.2}^1$	Забезпечує зміну положення розпушувача ( $E_{01.1}$ )
		$F_{01.2}^2$	Забезпечує зміну відстані між розпушниками
$E_1$	Важіль	$F_1^1$	Забезпечує качання розпушувача ( $E_{01}$ )
		$F_1^2$	Змінює величину амплітуди коливань Р - В ( $E_{01}$ )
		$F_1^3$	Змінює положення поверхні розпушувача ( $E_{01}$ ) до горизонту
$E_2$	Ексцентрикова тяга	$F_2^1$	Змінює положення важеля ( $E_1$ )
		$F_2^2$	Забезпечує качання важеля ( $E_1$ )

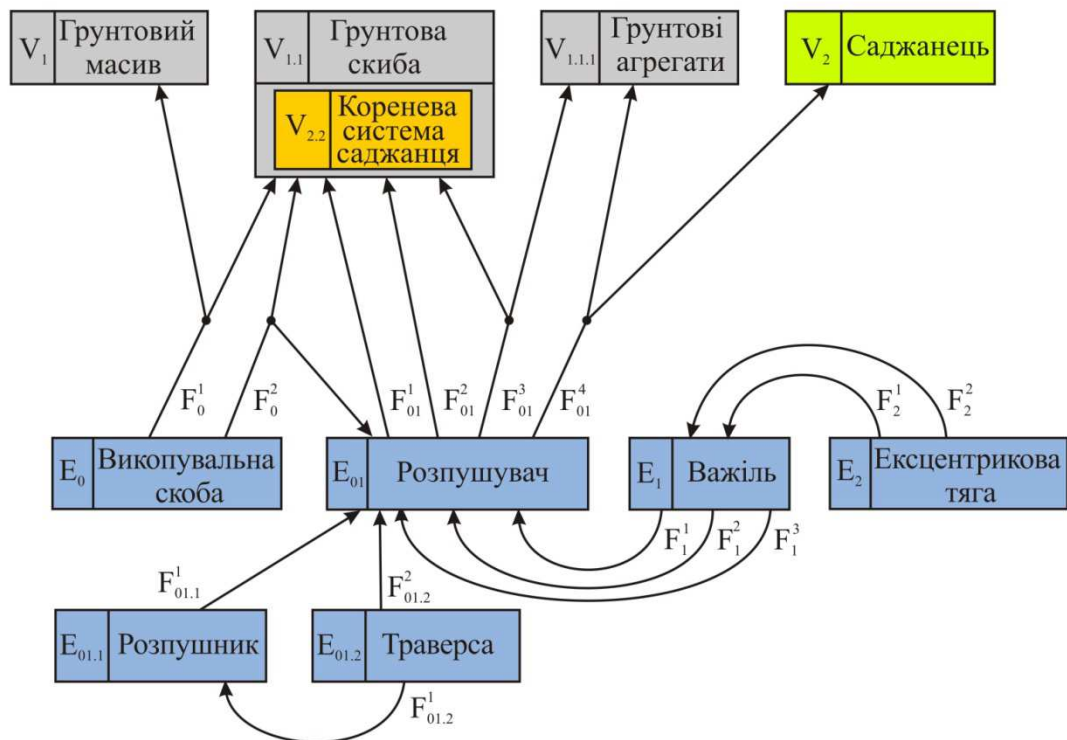


Рис. 2.2. Схема функціональних зв'язків конструктивних елементів плуга з ґрунтовою скибою та саджанцем.

З урахуванням технічних рішень, які наведено в роботах [24 - 30] щодо конструкцій робочих органів викопувальних плугів можна скласти перелік їх параметрів, які впливають на ефективність роботи [61].

З урахуванням предмету наших досліджень визначено параметри розпушувача робочого органу, який має лінійчасту поверхню, яка утворена розпушниками [62].

Розпушувач складається з розпушувальних елементів, які утворюють решітчасту поверхню.

Параметри форми конструктивних елементів робочого органу наведено на рис. 2.3.

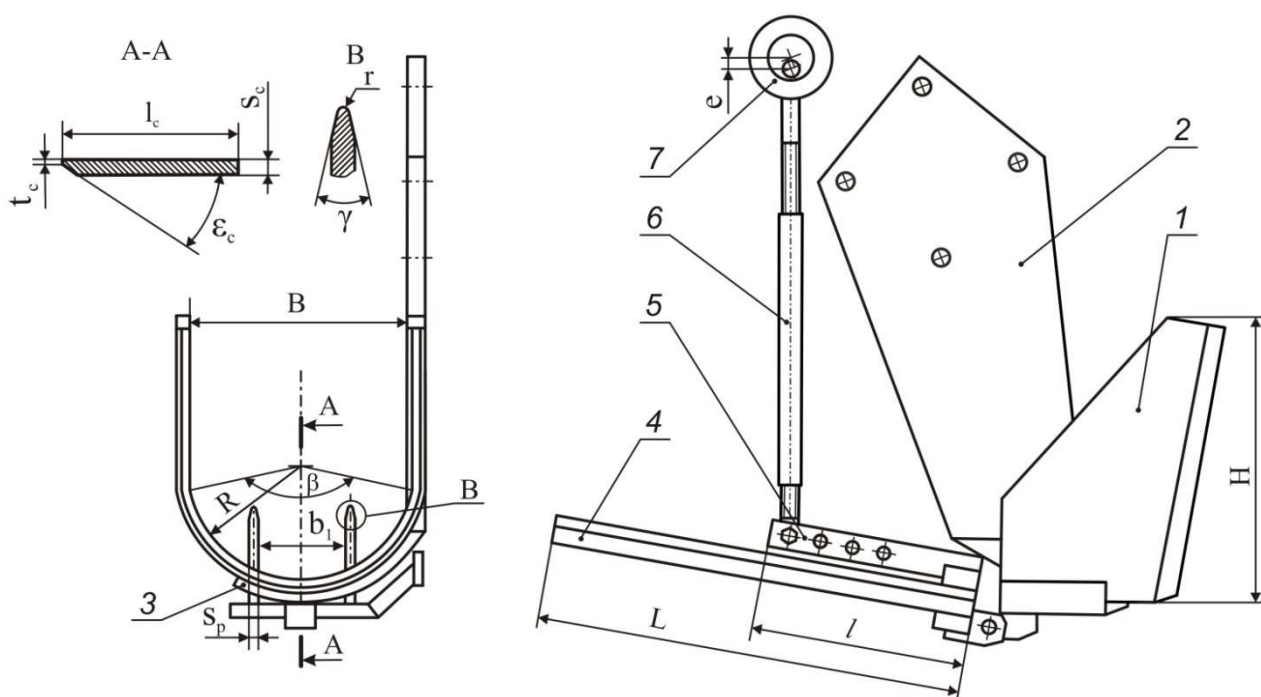


Рис. 2.3. Параметри форми конструктивних елементів робочого органу викопувального плуга:

1 - викопувальна скоба; 2 - стійка; 3 - башмак; 4 - розпушувач; 5 - важіль; 6 - ексцентрикова тяга; 7 - ексцентриковий пристрій.

Робочий орган (рис. 2.3) складається з викопувальної скоби 1, яка встановлюється на башмак 3 з'єднаний зі стійкою 2. До башмака шарнірно приєднується розпушувач 4, який приводиться в коливальний рух через важіль 5 за допомогою ексцентрикової тяги 6 від ексцентрикового пристрою 7. Поперечний переріз викопувальної скоби має криволінійну (криволінійний ніж) та прямолінійну ділянки (вертикальний ніж), робочі кромки яких загострені і утворюють

леза. Криволінійний ніж має циліндричну поверхню, а вертикальні ножі є площини.

До параметрів форми викопувальної скоби належать (рис. 2.3):

- довжина  $l_c$ ,
- висота  $H$ ,
- ширина  $B$ .

Також викопувальна скоба має такі конструктивні параметри:

$s_c$  - товщина скоби,  $t_c$  - товщина лева скоби,  $\varepsilon_c$  - кут верхнього (може бути нижнього, симетричного) загострення лева скоби,  $r$  - параметр кривизни скоби (радіус кривизни скоби)  $\beta$  - кут сектора криволінійної частини скоби.

До параметрів форми розпушувача належать такі параметри (рис. 2.3) [63]

Рубцов Н. О.:

- довжина розпушувача  $L$ ,
- довжина важеля  $l$ ,
- висота розпушувача  $h_p$ ,
- відстань між прутковими розпушниками  $b_1$  - ,
- ширина пруткового розпушника  $s_p$  - ,
- ширина розпушувача  $b_2$  - ,
- радіус округлення поверхні пруткового розпушувача  $r$ ,
- кут розхилу поверхонь розпушування розпушувача  $\gamma$  - .

Положення розпушувача визначають такі параметри (рис. 2.4):

- кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p$  ;
- кут нахилу лева вертикальної частини скоби до горизонту  $\delta_c$ ;
- задній кут нахилу фаски скоби до горизонту  $\psi_c$ .

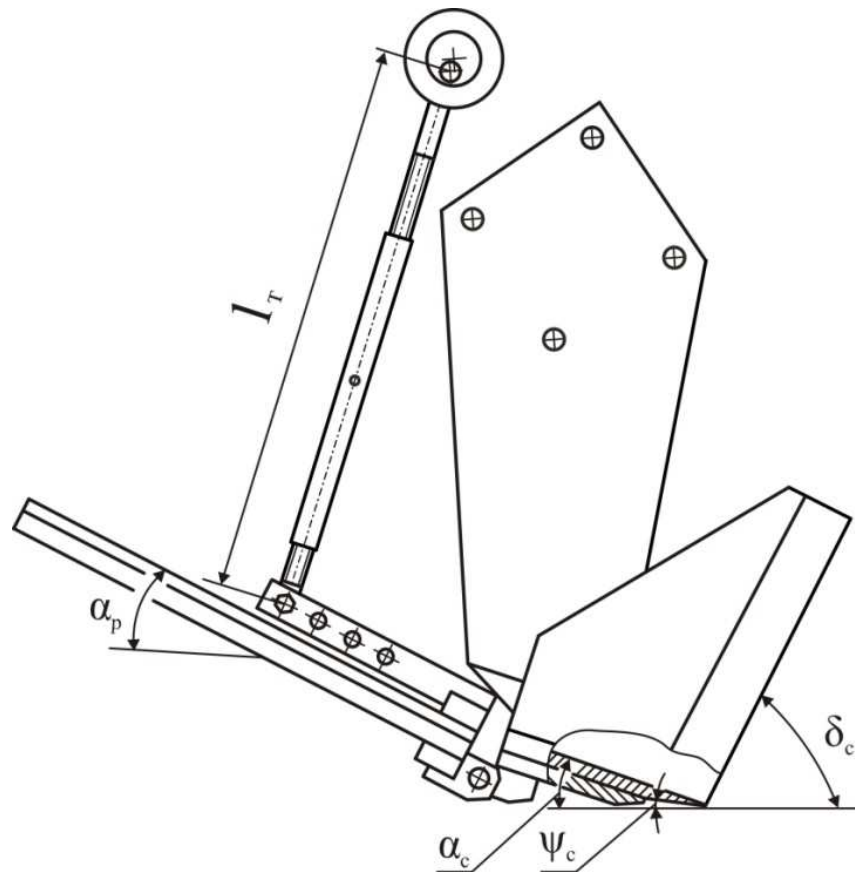


Рис. 2.4. Параметри положення робочого органу викопувального плуга.

Ексцентрикова тяга характеризується довжиною  $l_T$  (рис. 2.4), яка може змінюватись для встановлення кута поверхні розпушувача до горизонту.

Значення визначених параметрів, які були реалізовані в існуючих конструкціях плугів і які було враховано при удосконаленні параметрів розпушувача плугу ВСН – 1 наведено в додатку А.

В основу конструкції покладено функції, які забезпечує розпушувач (табл. 2.3) та прийнято такі конструктивні рішення:

- 1) розпушувач здійснює коливальний рух а його конструкція дозволяє регулювати положення розпушників в горизонтальній площині;
- 2) конструкція важеля та ексцентрикова тяга дозволяють одночасно змінювати амплітуду коливань та положення розпушувача до горизонту.

Конструктивно-технологічна схема робочого органу, який адаптовано до встановлення на плуг ВПН - 2 та графічне відображення технологічного процесу викопування саджанців надано на рис. 2.5.

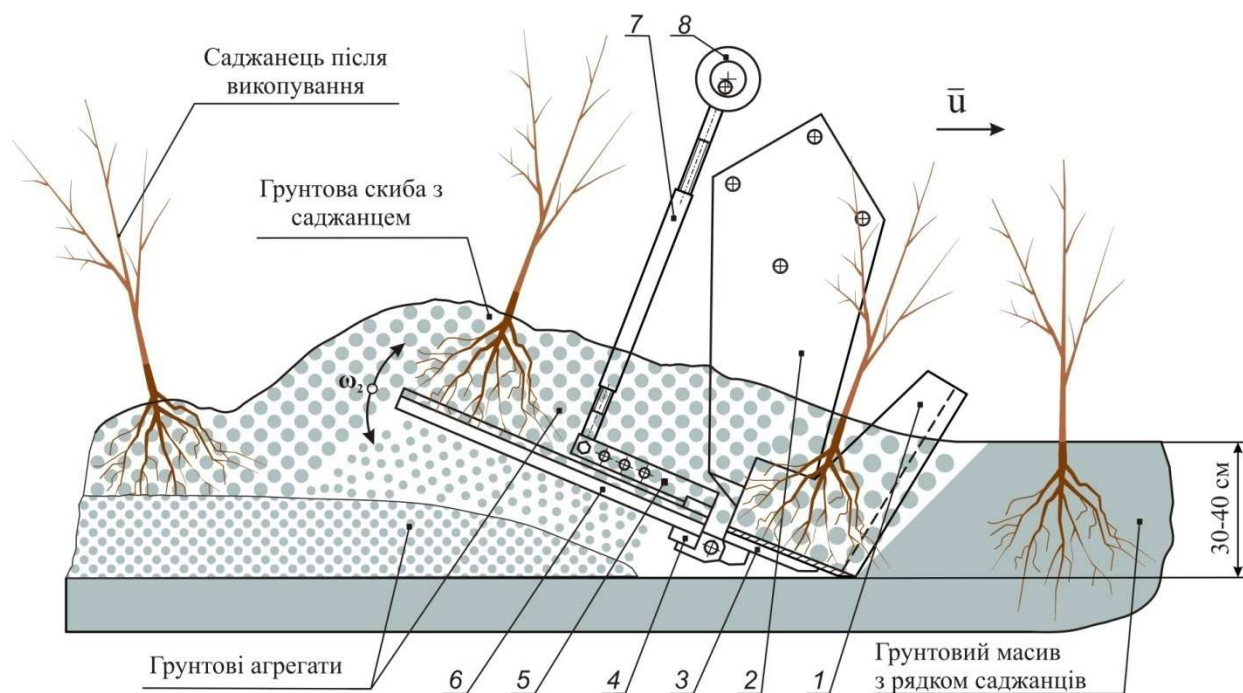


Рис. 2. 5 Конструктивно - технологічна схема викопування саджанців робочим органом викопувального плуга:

1 - викопувальна скоба; 2 - стійка; 3 - башмак; 4 - траверса; 5 - важіль;  
6 - розпушувач; 7 - ексцентрикова тяга; 8 - ексцентрикострій.

### 2.3 Кінематичні дослідження качання розпушувача

Складові робочого органу плугу та його приводу наведено на кінематичній схемі (рис. 2.6). Привід розпушувача 4 вміщує приводний вал 1 з встановленим на ньому ексцентриком 2, до якого приєднано ексцентрикову тягу 3. Від дії ексцентрикової тяги розпушувач здійснює качання навколо осі  $O_2$  під час обертання приводного вала.

Вісь  $Y$  співпадає з хордою, яка з'єднує т.  $B_0$  і  $B_1$  в крайніх положеннях важеля. Початок вісі  $Y$  розміщено в нижньому положенні розпушувача в точці  $O$ , яка збігається з точкою  $B_0$ . Переміщення т.  $B$  по вісі  $Y$  визначається рівнянням

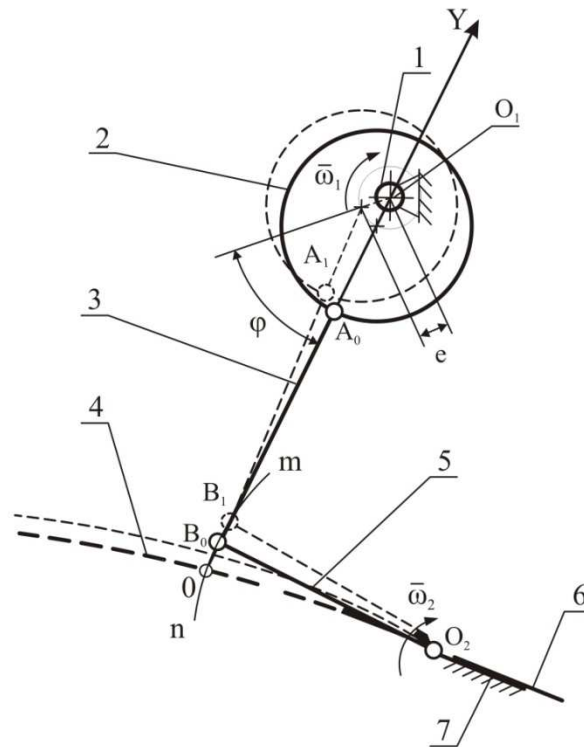


Рис. 2.6. Кінематична схема розпушувача робочого органу плугу:  
 1 - вал приводний; 2 - ексцентрик; 3 - ексцентрикова тяга;  
 4 - розпушувач; 5 - важіль; 6 - скоба; 7 - башмак.

$$y_B = e - e \cdot \cos \varphi, \quad (2.1)$$

де  $e$  - величина ексцентриситету;

$\varphi$  - кут повороту ексцентрика .

Кут повороту ексцентрика визначається з виразу

$$\varphi = \omega_1 \cdot t, \quad (2.2)$$

де  $\omega_1$  - кутова частота коливань ексцентрика;

$t$  - час обертання ексцентрика.

З урахуванням рівняння (2.2) рівняння переміщення т. В (2.1) буде мати вигляд [62]:

$$y_B = e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t)). \quad (2.3)$$

Лінійну швидкість т. В визначимо обчисленням першої похідної формули (2.3)

$$\dot{y}_B = e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t). \quad (2.4)$$

Прискорення визначимо обчисленням другої похідної з рівняння (2.4)

$$\ddot{y}_B = e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t). \quad (2.5)$$

Кутова частота коливань т. В має вираз

$$\omega_2 = \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \quad (2.6)$$

де  $l$  - довжина важеля.

Наступною кінематичною характеристикою є кутове прискорення коливань т. В, яке визначимо за формулою

$$\varepsilon_2 = \frac{e \cdot \omega_1^2 \cos(\omega_1 \cdot t)}{l} \quad (2.7)$$

З урахуванням рівняння (2.7) обертальне (дотичне) прискорення точок розпушувача по його довжині буде мати вигляд

$$a_\tau = \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot u \cdot t}{l}, \quad (2.8)$$

де  $u$  - швидкість руху агрегату.

#### 2.4 Дослідження руху ґрунтової скиби з саджанцем по розпушувачу з різними формами поверхонь

Переміщення ґрунту, за умови підпору з боку незруйнованого ґрунтового середовища, розглянуто в роботах [64 - 68]. Встановлено, що форми робочих поверхонь (параметри форм та положення) впливають на тяговий опір [69], складовим якого є зусилля на переміщення ґрунту. В даних роботах переміщення ґрунту відбувається по поверхням параметри, положення яких залишаються незмінними. За умов переміщення ґрунтової скиби по поверхні, яка качається відбувається більш інтенсивне руйнування ґрунту. Переміщення відокремленої ґрунтової скиби з саджанцем здійснюється за рахунок рухомої сили, що виникає як реакція з боку незруйнованою ґрунтового масиву.

Розпушувальні пристрої робочих органів викопувальних плугів вміщують конструктивні елементи (розпушувачі, напрямні, відокремлювачі), на робочих поверхнях яких відбувається взаємодія з ґрунтом. Поверхні конструктивних елементів в існуючих робочих органах утворені напрямними виду: прямої [26], опуклої [15] та ввігнуто-опуклої [14]. Але, досліджень з обґрунтування впливу



форми поверхонь розпушувачів на величину рухомої сили в даних роботах не наведені.

Переміщення ґрунтової скиби розглянуто виходячи з того, що маса саджанця значно менше ґрунтової скиби.

Рух ґрунтової скиби по розпушувача розглянуто для поверхонь з такими напрямними [70]:

- а) прямої;
- б) опуклої;
- в) ввігнуто – опуклої кривої.

Для визначення рухомої сили на переміщення ґрунтової скиби необхідно встановити залежність її зміни від виду, параметрів форми та положення поверхні розпушувача, який поступово рухається і здійснює качання.

Для розгляду переміщення ґрунтової скиби по розпушувачу прийнято такі припущення:

- а) ґрунтову скибу розглянуто як матеріальну точку (далі - частка ґрунту);
- б) частка ґрунту відділяється від розпушувача без виникнення реакції з боку його поверхні;
- в) рух частки ґрунту відбувається без відриву від поверхні розпушувача;
- г) маса частки ґрунту на розпушувачі під час переміщення постійна;
- д) рух частки ґрунту по поверхні розпушувача, яка є криволінійною, вважаємо рівномірним та прямолінійним.

#### 2.4.1 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною

Переміщення частка ґрунту складається відносного та переносного руху. Качання розпушувача надає частки ґрунту поворотний переносний рух.

Визначення прискорення та швидкості частки ґрунту (т. С) під час переміщення по поверхні розпушувача з прямою напрямною здійснено відповідно до схеми, яку наведено на рис. 2.7.

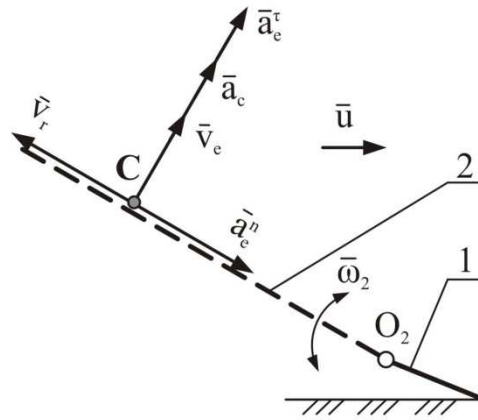


Рис. 2.7. Схема прискорень та швидкостей частку ґрунту (т. С) при переміщенні по поверхні розпушувача з прямою напрямною під час його качання угору: 1 - викопувальної скоби; 2 – розпушувач;  $\bar{a}_e^r$  - дотичне прискорення переносного руху;  $\bar{a}_e^n$  - нормальне прискорення переносного руху,  $\bar{a}_c$  - коріолісове прискорення; швидкості:  $\bar{v}_e$  - переносна швидкість руху,  $\bar{v}_r$  - відносна швидкість руху;  $\bar{u}$  - швидкість руху агрегату (трактор з викопувальним плугом).

З урахуванням кінематичних характеристик руху розпушувача (2.5) і (2.6) прискорення частки ґрунту визначаються за наступними формулами:

дотичне прискорення переносного руху

$$a_e^r = \ddot{y} \cdot \frac{v_r \cdot t}{l} = \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l}, \quad (2.9)$$

нормальне прискорення переносного руху

$$a_e^n = \omega_2^2 \cdot v_r \cdot t = \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t, \quad (2.10)$$

коріолісове прискорення

$$a_c = 2 \cdot \omega_2 \cdot v_r = 2 \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l}. \quad (2.11)$$

Приймаємо систему координат  $xOy$  (рис. 2.8), яка є рухомою відносно інерційної системи  $XOY$  (ліва система координат).

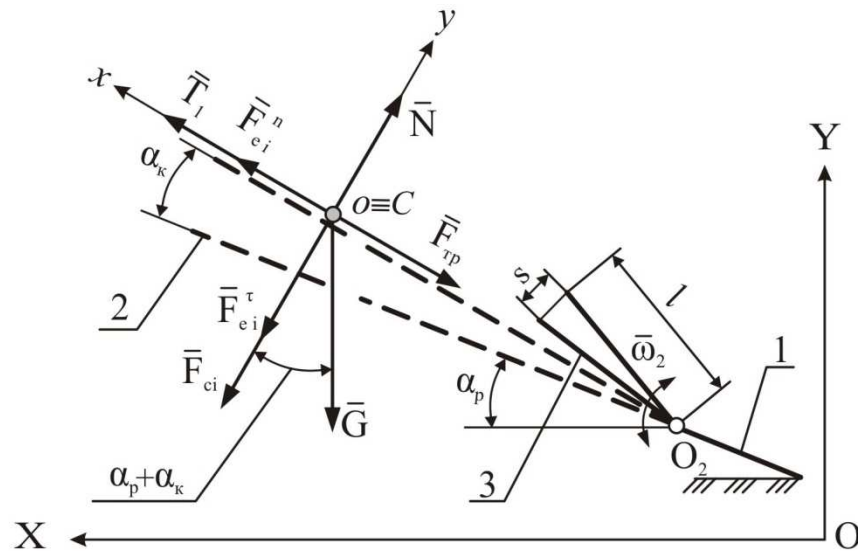


Рис. 2.8. Схема сил, які діють на частку ґрунту (т. С) при переміщенні по поверхні розпушувача з прямою напрямною під час качання угору: 1 - скоба; 2 - розпушувач; 3 - важіль.

Тоді з урахуванням [71] векторне рівняння руху частки ґрунту відповідно до схеми (рис. 2. 8) буде мати вигляд

$$m \cdot \bar{a}_r^\tau = \bar{T}_1 + \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{mp} + \bar{F}_{ei}^n + \bar{F}_{ei}^\tau + \bar{F}_{ci}, \quad (2.12)$$

де  $T_1$  - рухома сила;

$\bar{G}$  - сила тяжіння;

$\bar{N}$  - нормальна реакція зв'язку поверхні розпушувача;

$\bar{F}_{mp}$  - сила тертя;

$\bar{F}_{ei}^n$  - нормальна переносна сила інерції;

$\bar{F}_{ei}^\tau$  - дотична переносна сила інерції;

$\bar{F}_{ci}$  - коріолісова сила інерції.

Рух частки ґрунту по розпушувачу характеризується відносною швидкістю  $v_r$  по поверхні розпушувача та швидкістю, яка виникає під час його качання. Оскільки качання розпушувача відбувається з малими значеннями кута коливань (до  $5^0$ ) та лінійною швидкістю поверхні (до 1,5 м/с), то відносну швидкість вважаємо постійною. При цьому загальна відносна швидкість постійна по мо-

дулю й напрямку, а дотичне відносне прискорення  $\bar{a}_r^\tau = 0$ . Тоді рівняння (2.12) прийме вигляд

$$\bar{T}_1 + \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{mp} + \bar{F}_{ei}^n + \bar{F}_{ei}^\tau + \bar{F}_{ci} = 0. \quad (2.13)$$

За умови розгляду руху частки ґрунту без відриву від поверхні (припущення в)) при руху розпушувача угору рівняння [72] (2.12) буде мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= T_1 + F_{ei}^n - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_\kappa) - F_{mp} = 0 \\ m\ddot{y} &= N - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) - F_{ei}^\tau - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (2.14)$$

З системи рівнянь (2.14) маємо

$$N = G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}. \quad (2.15)$$

Тоді

$$F_{mp} = N \cdot f = (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f. \quad (2.16)$$

Після підстановки рівняння (2.16) у перше рівняння системи (2.14) та його рішення відносно  $T_1$  маємо

$$T_1 = G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_\kappa) + (G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau + F_{ci}) \cdot f - F_{ei}^n. \quad (2.17)$$

Складові рівняння (2.16) визначаються за формулами:

- сила тяжіння

$$G = m \cdot g, \quad (2.18)$$

- дотична переносна сила інерції

$$F_{ei}^\tau = m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l}, \quad (2.19)$$

- сила інерції коріоліса

$$F_{ci} = 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l}, \quad (2.20)$$

- нормальна переносна сила інерції

$$F_{ei}^n = m \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t. \quad (2.21)$$

Зміну початкового положення розпушувача, яке визначає кут встановлення його поверхні до горизонту  $\alpha_p$ , забезпечує кут качань  $\alpha_\kappa$ .

Кут качання  $\alpha_\kappa$  визначається формулою [73]:

$$\alpha_\kappa = \frac{s}{l}. \quad (2.22)$$

де  $s$  - відстань між нижнім та верхнім положеннями крайніх точок важеля.

Відстань між положеннями важеля дорівнює його переміщенню  $y_B$  (2.3) під час коливань, тому

$$s = y_B = e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t)). \quad (2.23)$$

Остаточно для визначення кута коливань отримуємо

$$\alpha_\kappa = \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}. \quad (2.24)$$

З урахуванням діючих сил рівняння (2.16) приймає вигляд

$$\begin{aligned} T_1 = & m \cdot g \cdot \sin\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + \\ & + \left(m \cdot g \cdot \cos\left(\alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\ & \left. + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l}\right) \cdot f - m \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l}\right)^2 v_r \cdot t. \end{aligned} \quad (2.25)$$

де  $m$  - маса частки ґрунту на розпушувачі;

$g$  - прискорення вільного падіння;

$t$  - час качання розпушувача, с;

$\alpha_p$  - кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту;

$f$  - коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по сталі.

2.4.2 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною

Для визначення рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною розглянемо його кінематичні характеристики відповідно до рис.2.9.

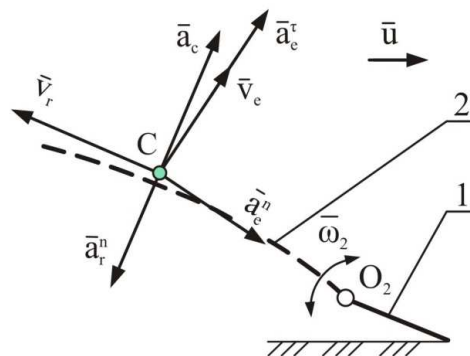


Рис. 2.9. Прискорення та швидкості частки ґрунту при переміщенні по опуклій поверхні розпушувача під час її руху угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.

Сили які діють на частку ґрунту по опуклій поверхні [74] наведено рис. 2.10.

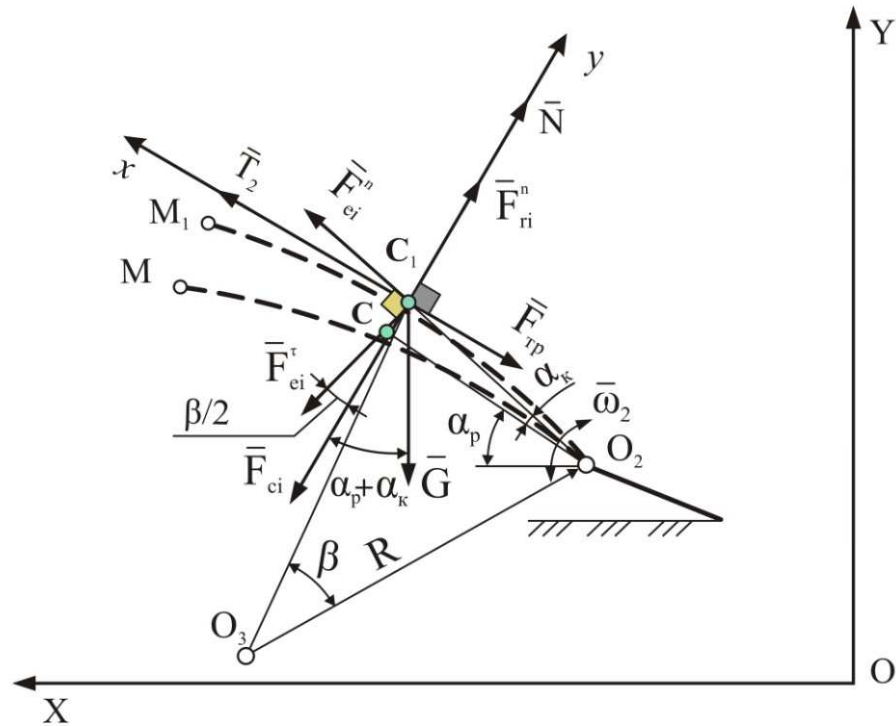


Рис. 2.10. Схема сил, які діють на частку ґрунту при переміщенні по опуклій поверхні розпушувача під час руху угору: 1 - скоба; 2 - розпушувач; 3 - важіль.

Відповідно до схеми (рис. 2.9) диференціальні рівняння руху частки ґрунту мають вигляд

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= T_2 + F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_k) - F_{mp} = 0 \\ m\ddot{y} &= N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ri}^n - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.26)$$

З другого рівняння системи (2.26) маємо

$$N = G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ri}^n. \quad (2.27)$$

Тоді

$$F_{mp} = N \cdot f = \left( G \cdot \cos(\alpha_p) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ri}^n \right) \cdot f. \quad (2.28)$$

Після підстановки рівняння (2.28) у перше рівняння системи (2.26) та його рішення відносно  $T_2$  маємо

$$T_2 = G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_k) + \left( G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ri}^n \right) f - F_{ei}^n \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ei}^\tau \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (2.29)$$

Кут  $\alpha_p$  змінний, а його поточне значення буде визначатися з виразу

$$\alpha_p = \alpha_{pn} - \beta, \quad (2.30)$$

де  $\alpha_{pn}$  - кут початкового положення поверхні розпушувача в т.  $O_2$  (рис. 2.11);  $\beta$  - кут кручення напрямної поверхні розпушувача.

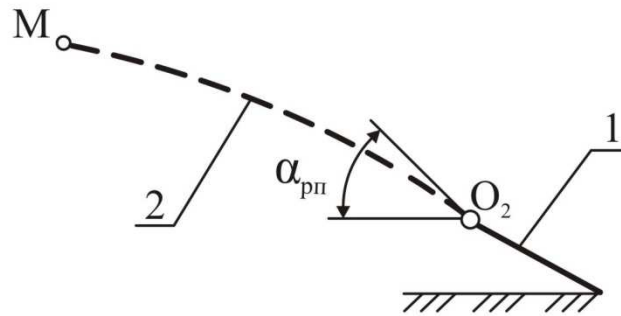


Рис. 2.11. Кут початкового положення поверхні розпушувача в т.  $O_2$ :  
1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.

Довжина розпушувача  $L$  дорівнює довжині дуги  $O_2 M$  (рис. 2.10), яку знайдемо з виразу

$$L = R \cdot \beta, \quad (2.31)$$

де  $R$  - радіус дуги  $O_2 M$ .

Довжину розпушувача  $L$  можна виразити через відносну швидкість  $v_r$  і час переміщення частки ґрунту по розпушувачу, тоді кут  $\beta$  буде дорівнювати

$$\beta = \frac{v_r \cdot t}{R}. \quad (2.32)$$

Остаточно для кута  $\alpha_p$  маємо

$$\alpha_p = \alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R}. \quad (2.33)$$

З урахуванням рівнянь (2.19), (2.20), (2.21) та відносної нормальної сили інерції

$$F_{ri}^n = m \frac{v_r^2}{R}, \quad (2.34)$$

рівняння (2.29) приймає вигляд

$$\begin{aligned}
T_2 = & m \cdot g \cdot \sin\left(\alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + \\
& + \left(m \cdot g \cdot \cos\left(\alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + m \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \right. \\
& + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - m \cdot \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l}\right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - \frac{m \cdot v_r^2}{R} \left. \right) f - \\
& - m \cdot \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l}\right)^2 v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right),
\end{aligned} \quad (2.35)$$

2.4.3 Переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною

Для визначення рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто-опуклою напрямною розглянемо його кінематичні характеристики відповідно до рис.2.12

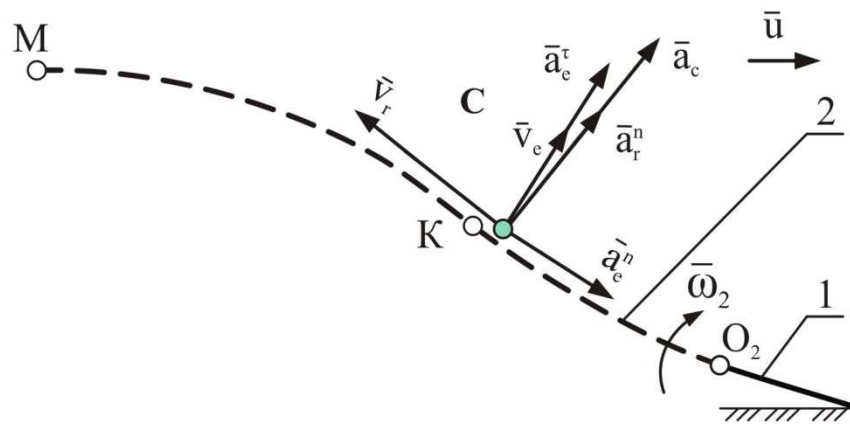


Рис. 2.12. Прискорення та швидкості руху частки ґрунту по ввігнутій частині дуги  $O_2K$  розпушувача під час його руху угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.

Розглянемо рух частки ґрунту по поверхні, напрямна якої є ввігнуто - опукла крива з точкою перегину  $K$  (рис. 2. 12). Вона утворена дугами кола  $O_2K$  і  $KM$ . Величина радіусу дуги  $O_2K$  ( $R_l > 0,6$  глибини викопування саджанців) прийнята за результатами досліджень Фришева С.Г. [29], а радіус дуги  $KM$ , за умови сходу ґрунтової скиби з розпушувача на рівень денної поверхні поля.



Тоді рухома сила на переміщення частки ґрунту по такій поверхні має дві складові

$$T_3 = T_{3.1} + T_{3.2} \quad (2.36)$$

де  $T_{3.1}$  - рухома сила на переміщення частки ґрунту по дузі  $O_2K$ ;

$T_{3.2}$  - рухома сила на переміщення частки ґрунту по дузі  $KM$ .

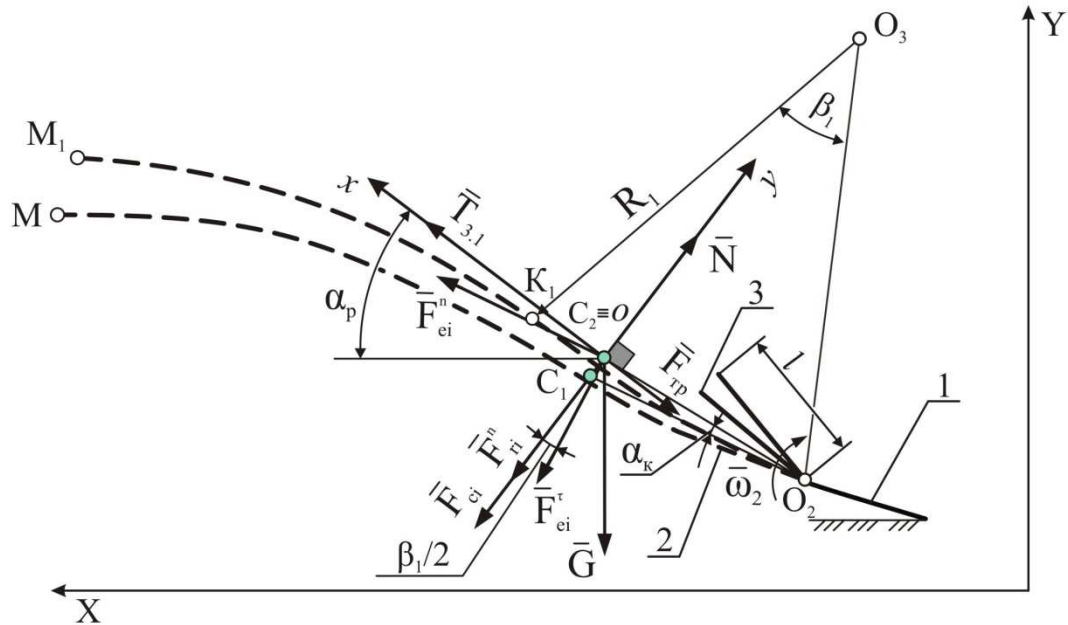


Рис.2.13. Схема сил, які діють на частку ґрунту при переміщенні по ввігнутий частині ввігнуто - опуклої напрямної під час руху розпушувача угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач; 3 - важіль.

Відповідно до схеми (рис.2.13) диференціальні рівняння руху частки ґрунту по частині поверхні з напрямною  $O_2K$  мають такий вигляд

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= T_{3.1} + F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right) - F_{ei}^\tau \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_k) - F_{mp} = 0 \\ m\ddot{y} &= N - F_{ei}^n \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right) - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) - F_{ri}^n - F_{ci} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.37)$$

З другого рівняння системи (2.37) маємо

$$N = F_{ei}^n \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) + F_{ri}^n + F_{ci}. \quad (2.38)$$

Тоді

$$F_{mp} = \left( F_{ei}^n \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) + F_{ci} + F_{ri}^n \right) \cdot f. \quad (2.39)$$

Після підстановки рівняння (2.39) у перше рівняння системи (2.37) та його рішення відносно  $T_{3,1}$  маємо

$$T_{3,1} = F_{ei}^{\tau} \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_{\kappa}) + \left( F_{ei}^n \sin\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + F_{ei}^{\tau} \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right) + G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_{\kappa}) + F_{ci} + F_{ri}^n \right) \cdot f - F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta_1}{2}\right). \quad (2.39)$$

Кут положення поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p$  змінний (рис.2.14).

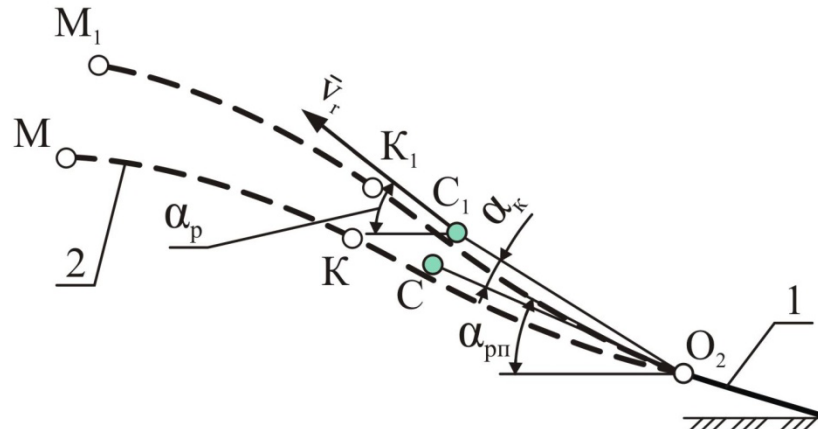


Рис. 2.14. Кут положення частки ґрунту (т. С) на дузі  $O_2K$  поверхні розпушувача при його руху угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.

Поточне значення кута буде визначатися з виразу

$$\alpha_p = \alpha_{pn} + \beta_1, \quad (2.40)$$

де  $\alpha_{pn}$  - кут початкового положення поверхні розпушувача;

$\beta_1$  - кут кручення дуги кривої  $O_2K$ .

Довжину дуги  $O_2K$  знайдемо з виразу

$$O_2K_1 = R_1 \cdot \beta_1, \quad (2.41)$$

де  $R_1$  - радіус дуги  $O_2K$ .

Дуга  $O_2K$  дорівнює  $O_2K_1 = v_r \cdot t_1$ , тоді кут  $\beta_1$  буде дорівнювати

$$\beta_1 = \frac{v_r \cdot t_1}{R_1}. \quad (2.42)$$

Остаточно для кута  $\alpha_p$  маємо

$$\alpha_p = \alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1}. \quad (2.43)$$

де  $R_1$  - радіус кривизни ланки  $O_2K$ ;

$t_1$  - час руху частки ґрунту по дузі кривої  $O_2K$ .

Відносна нормальна сила інерції дорівнює

$$F_{ri}^n = m \frac{v_r^2}{R_1} \quad (2.44)$$

З урахуванням рівнянь (2.19), (2.20), (2.21), (2.29) та відносної нормальної сили інерції (2.44) рівняння (2.39) буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
 T_{3.1} = & m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 t_1) \cdot v_r \cdot t_1}{l} \sin\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) + mg \cdot \sin\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 t_1))}{l}\right) + \\
 & + \left( m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t_1)}{l} \right)^2 v_r \cdot t_1 \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) + m \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 t_1) v_r \cdot t_1}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) + \right. \\
 & + mg \cdot \cos\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 t_1))}{l}\right) + 2m \cdot \left. \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t_1) \cdot v_r}{l} + \frac{m \cdot v_r^2}{R_1} \right) f - \\
 & - m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t_1)}{l} \right)^2 v_r \cdot t_1 \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right).
 \end{aligned} \tag{2.45}$$

Відповідно до схеми (рис.2.15) диференціальні рівняння руху частки ґрунту по частині поверхні з напрямною КМ мають такий вигляд

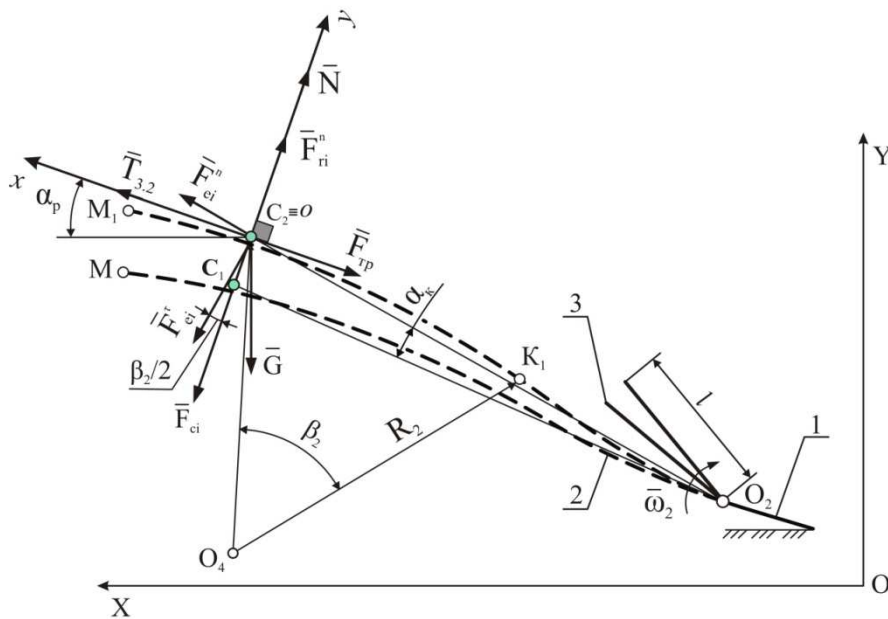


Рис. 2.15. Схема сил, які діють на частку ґрунту при переміщенні по опуклій частині ввігнуто - опуклої напрямної під час руху розпушувача угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач; 3 - важіль.

Згідно з рис. 2.15 диференціальні рівняння руху частки ґрунту по опуклій частині поверхні з напрямною КМ буде мати вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 m\ddot{x} = & T_{3.2} + F_{ei}^n \cdot \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) + F_{ei}^\tau \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_k) - F_{mp} = 0 \\
 m\ddot{y} = & N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right) + F_{ri}^n - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - F_{ci} = 0
 \end{aligned} \right\}. \tag{2.46}$$

З другого рівняння системи (2.46) маємо

$$N = G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - F_{ri}^n. \quad (2.47)$$

Тоді

$$F_{mp} = N \cdot f = \left( G \cdot \cos(\alpha_p) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - F_{ri}^n \right) \cdot f. \quad (2.48)$$

Після підстановки рівняння (2.48) у перше рівняння системи (2.46) та його рішення відносно  $T_{3.2}$  маємо

$$T_{3.2} = G \cdot \sin(\alpha_p + \alpha_\kappa) + \left( G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_\kappa) + F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) + F_{ci} - F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - F_{ri}^n \right) f - F_{ei}^n \cos\left(\frac{\beta_2}{2}\right) - F_{ei}^\tau \sin\left(\frac{\beta_2}{2}\right). \quad (2.49)$$

Кут положення поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p$  змінний, поточне значення буде визначатися з виразу

$$\alpha_p = \alpha_{pn} + \beta_1 - \beta_2, \quad (2.50)$$

де  $\alpha_{pn}$  - кут початкового положення поверхні розпушувача до горизонталі ;  
 $\beta_2$  - кут кручення дуги кривої КМ.

Довжина дуги КМ дорівнює

$$K_1 M_1 = R_2 \cdot \beta_2, \quad (2.51)$$

де  $R_2$  - радіус кривизни дуги кривої КМ.

Дуга кривої КМ дорівнює  $K_1 M_1 = v_r \cdot t_2$ , тоді кут  $\beta_2$  буде дорівнювати

$$\beta_2 = \frac{v_r \cdot t_2}{R_2}. \quad (2.52)$$

Остаточню, з урахуванням раніше знайденого кута  $\beta_1$ , (2.42) для кута  $\alpha_p$  маємо

$$\alpha_p = \alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} - \frac{v_r \cdot t_2}{R_2}, \quad (2.53)$$

де  $R_2$  - радіус дуги КМ;

$t_2$  - час переміщення ґрунтового агрегату по дузі КМ.

Відносна нормальна сила інерції дорівнює

$$F_{ri}^n = m \frac{v_r^2}{R_2}. \quad (2.54)$$

З урахуванням рівнянь (2.19), (2.20), (2.21), (2.29) та відносної нормальної сили інерції (2.54) рівняння (2.49) буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
T_{3.2} = & mg \sin\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} - \frac{v_r \cdot t_2}{R_2} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t_2))}{l}\right) + \\
& + \left( mg \cos\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} - \frac{v_r \cdot t_2}{R_2} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t_2))}{l}\right) + m \frac{e\omega_1^2 \cos(\omega_1 t_2) v_r t_2}{l} \right), \\
& \times \cos\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) + 2m \frac{e\omega_1 \sin(\omega_1 t_2) v_r}{l} - m \left(\frac{e\omega_1 \sin(\omega_1 t_2) v_r}{l}\right)^2 v_r t_2 \times \\
& \times \sin\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) - \frac{mv_r^2}{R_2} \Big) f - m \left(\frac{e\omega_1 \sin(\omega_1 t_2) v_r}{l}\right)^2 v_r t_2 \cos\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) - \\
& - m \frac{e\omega_1^2 \cos(\omega_1 t_2) v_r t_2}{l} \sin\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right)
\end{aligned} \tag{2.55}$$

За отриманими залежностями (2.25), (2.35), (2.45), (2.55) проведено розрахунки величини рухомої сили в програмі Maple для поверхонь розпушувача з напрямними: прямою, опуклою, ввігнуто – опуклою.

Для обчислення значень рухомої сили по розглянутих поверхнях розпушувача приймаємо такі вхідні дані:

постійні вхідні данні, які в наведені в табл. 2.7,

Таблиця 2.7

Постійні вхідні дані для обчислення рухомої сили

е, м	$v_r$ , м/с	$l$ , м	$L$ , м	$f$	$g$ , м/с	$\omega_1$ , с <sup>-1</sup>	$m$ , кг
0,019	1,45	0,35	1	0,5	9,81	26	80

змінні вхідні данні для поверхонь з напрямними у вигляді:

- прямої –  $\alpha_p = 15^\circ$ ;
- опуклої –  $\alpha_p = 25^\circ$ ,  $R = 2$  м;
- ввігнуто - опуклої –  $\alpha_p = 15^\circ$ ,  $R_1 = 0,8$  м,  $R_2 = 1,4$  м.

Графічне відображення результатів розрахунків рухомої сили наведено на рис. 2.16 - 2.18.

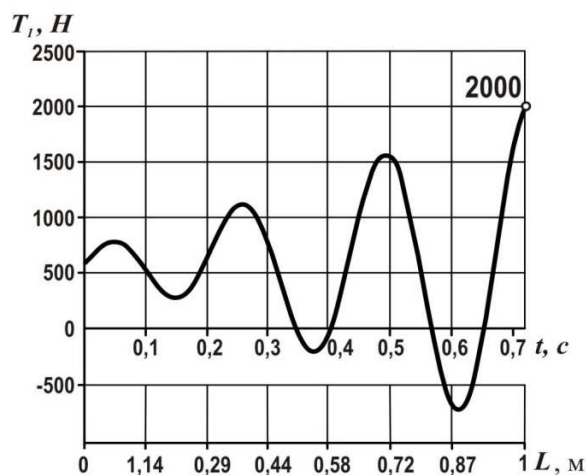


Рис. 2.16. Зміна рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною.

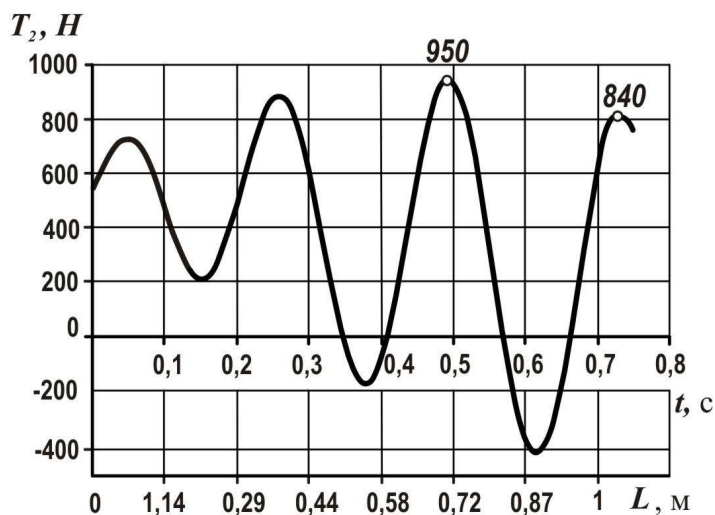


Рис.2.17. Зміна рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною.

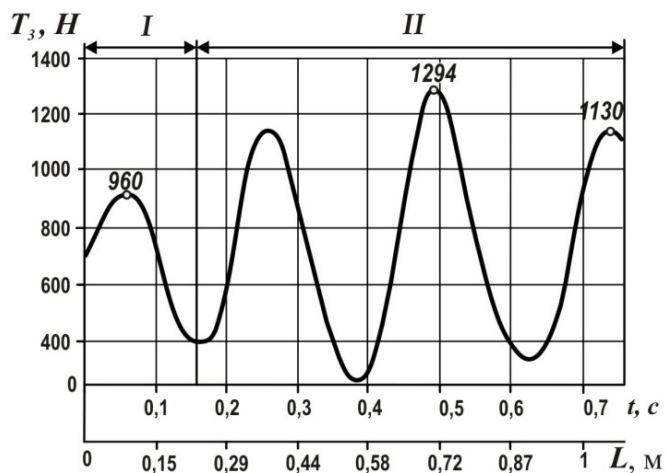


Рис. 2.18. Зміна рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною: *I* - зміна рухомої сили  $T_{3,1}$ , *II* - зміна рухомої сили  $T_{3,2}$ .

З наведених залежностей видно, що на поверхні розпушувача з прямою напрямною (рис. 2.16) рухома сила на кінці розпушувача досягає 2000 Н. На поверхні, яка має опуклу напрямну (рис. 2.17) значення рухомої сили на довжині розпушувача 0,72 м, досягає 950 Н, яке є найменшим серед розглянутих. На поверхні, яка має ввігнуто-опуклу напрямну (рис. 2.18) на ввігнутій частині максимальне значення дорівнює 960 Н, а потім зростає до 1294 Н на опуклій частині поверхні. Але, враховуючи те, що рухома сила є змінною та має періоди зростання і зменшення, то остаточний вибір поверхні доцільно зробити після визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту, яка є основною оцінкою дії рухомої сили і дозволить зробити остаточний вибір поверхні.

## 2.5. Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту

### 2.5.1 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною

Робота сили на переміщення є однією з основних характеристик дію рухомої сили. Роботу рухомої сили на переміщення частки ґрунту розглянуто для розпушувачів з поверхнями які розглянуто в п. 2.4.

Рухома сили є функцією від часу, тому її робота визначається інтегралом [71]:

$$A_T = \int_0^t \bar{T}_i \cdot \bar{v}_a dt \quad 57(2.56)$$

де  $\bar{T}_i$  - робота рухомої сили з  $i$ -ю формою поверхні розпушувача;

$v_a$  - абсолютна швидкість відносного та переносного руху частки ґрунту по розпушувачу.

Векторне рівняння абсолютної швидкості частки ґрунту має вигляд

$$\bar{v}_a = \bar{v}_r + \bar{v}_e, \quad (2.57)$$

З урахуванням рівняння (2.4) переносна швидкість частки ґрунту по довжині розпушувача розраховується за формулою

$$v_e = \frac{e \cdot \sin(\omega_l \cdot t) \cdot \omega_l \cdot v_r \cdot t}{l}, \quad (2.58)$$

а абсолютна швидкість

$$v_a = \sqrt{v_r^2 + \left( \frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \right)^2}. \quad (2.59)$$

Після підстановки виразу рухомої сили (2.24) в рівняння (2.56) маємо формулу роботи на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з прямою напрямною у вигляді

$$\begin{aligned} A_{T1} = & \int_0^t \left( m \cdot g \cdot \sin \left( \alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + \right. \\ & + \left( mg \cdot \cos \left( \alpha_p + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} + \right. \\ & \left. \left. + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right) \cdot f - m \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \right) \times \\ & \times \left( \sqrt{v_r^2 + \left( \frac{e \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \right)^2} \right) dt \end{aligned} \quad (2.60)$$

2.5.2 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з опуклою напрямною

Для розгляду роботи рухомої сили на переміщенні ґрунтового агрегату по поверхні, яка утворена плоскою кривою напрямною потрібно визначити його абсолютну швидкість. Звернемось до схеми (рис. 2.19).

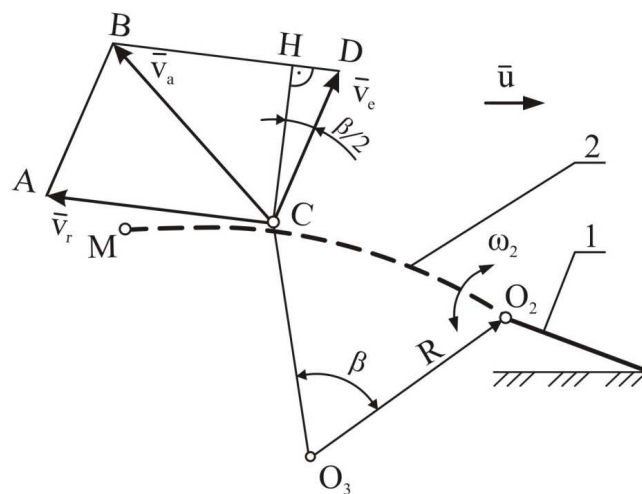


Рис. 2.19. Схема до визначення абсолютної швидкості руху частки при переміщенні по поверхні розпушувача з опуклою напрямною під час руху уґору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.



З паралелограму швидкостей ABDC векторне рівняння для абсолютної швидкості буде мати вигляд

$$\bar{v}_a = \bar{v}_r + \bar{v}_e, \quad (2.61)$$

З трикутника ВКС абсолютна швидкість дорівнює  $v_a = BC$ , в той же час

$$BC^2 = BH^2 + CH^2. \quad (2.62)$$

Сторона ВН дорівнює  $BH=BD - HD$ . Перейдемо до визначення складових сторони ВК. Сторона  $BD = v_r$ ,  $HD$  визначимо з трикутника HDC

$$HD = v_e \cdot \sin(\beta / 2). \quad (2.63)$$

Тоді

$$BD = v_r + v_e \cdot \sin(\beta_1 / 2) \quad (2.64)$$

Сторона СН дорівнює

$$CH = v_e \cdot \cos(\beta / 2). \quad (2.65)$$

Підставимо отримані складові в формулу (2.62) получимо

$$v_a^2 = (v_r - v_e \cdot \sin(\beta / 2))^2 + (v_e \cdot \cos(\beta / 2))^2 \quad (2.66)$$

Остаточно абсолютна швидкість з урахуванням значення переносної швидкості  $v_e$  (2.58) і кута  $\beta$  (2.32) дорівнює

$$v_a = \sqrt{\left( v_r - \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t}{2R}\right) \right)^2 + \left( \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t}{2R}\right) \right)^2}. \quad (2.67)$$

Тоді рівняння робота рухомої сили на переміщення ґрунтової скиби буде мати вигляд

$$\begin{aligned} A_{T_2} = & \int_0^t \left( m \cdot g \cdot \sin\left( \alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + \right. \\ & + \left( m \cdot g \cdot \cos\left( \alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l} \right) + m \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \right. \\ & + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - \frac{m \cdot v_r^2}{R} \left. \right) f - \\ & m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) \left. \right) \times \\ & \times \sqrt{\left( v_r - \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t}{2R}\right) \right)^2 + \left( \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t}{2R}\right) \right)^2} dt. \end{aligned} \quad (2.68)$$

2.5.3 Визначення роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною

Рівняння робота рухомої сили на переміщенні частки по поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною має дві складові



$$v_a = \sqrt{\left(v_r + \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t_1}{2R_1}\right)\right)^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t_1}{2R_1}\right)\right)^2} \quad (2.75)$$

Робота рухомої сили на переміщення ґрунту на ввігну́тій частині  $O_2K$  розпушувача дорівнює

$$\begin{aligned} A_{T_{3.1}} = & \int_0^e \left( \left( m \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 t) v_r \cdot t}{l} \sin\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) + mg \sin\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} + \frac{e(1 - \cos(\omega_1 t))}{l}\right) \right. \right. \\ & + \left. \left( m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) + m \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) \right. \right. \\ & + \left. mg \cdot \cos\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right) + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} + \frac{m \cdot v_r^2}{R_1} \right) f - \\ & - m \cdot \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t)}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t_1}{2R_1}\right) \times \\ & \left. \sqrt{\left(v_r + \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t_1}{2R_1}\right)\right)^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t_1}{2R_1}\right)\right)^2} \right) dt \end{aligned} \quad (2.76)$$

Визначення абсолютної швидкості руху частки ґрунту по опуклій частині розпушувача здійснено відповідно до схеми (рис. 2.21).

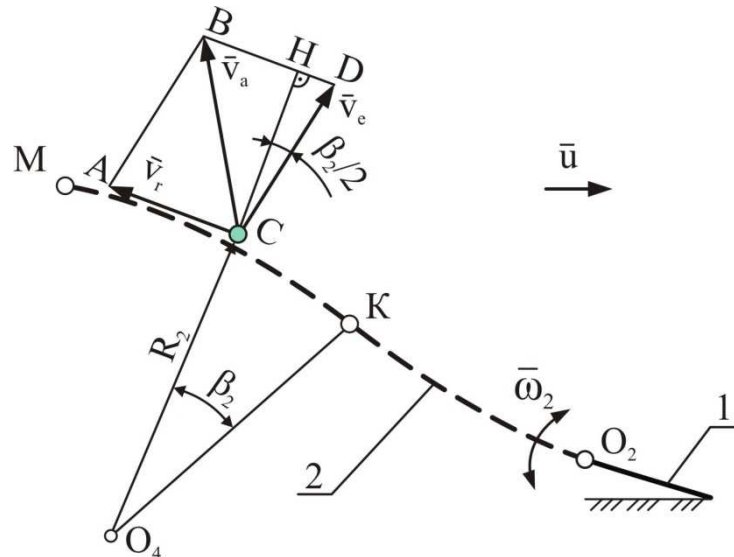


Рис. 2.21. Схема до визначення абсолютної швидкості руху частки ґрунту при переміщенні по опуклій частині (KM) розпушувача під час качання угору: 1 - викопувальна скоба; 2 - розпушувач.

З трикутника ВНС (рис. 2.21) маємо абсолютна швидкість  $v_a = BC$

$$BC^2 = BH^2 + CH^2. \quad (2.77)$$

Сторона ВН дорівнює  $BH=BD - HD$ . Сторона  $BD = v_r$ , а  $HD$  визначимо з трикутника  $HDC$

$$HD = v_e \cdot \sin(\beta_2 / 2). \quad (2.78)$$

Тоді

$$BH = v_r - v_e \cdot \sin(\beta_2 / 2). \quad (2.79)$$

Сторона  $CH$  дорівнює

$$CH = v_e \cdot \cos(\beta_2 / 2). \quad (2.80)$$

Після підстановки отриманих складових рівняння (2.77) маємо

$$v_a^2 = (v_r - v_e \cdot \sin(\beta_2 / 2))^2 + (v_e \cdot \cos(\beta_2 / 2))^2. \quad (2.81)$$

Остаточно абсолютна швидкість на дузі КМ, з урахуванням значення переносної швидкості  $v_e$  і кута  $\beta_2$ , дорівнює

$$v_a = \sqrt{\left(v_r - \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t_2}{2R_2}\right)\right)^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t_2}{2R_2}\right)\right)^2}, \quad (2.82)$$

а рівняння робота рухомої сили на переміщення ґрунту по дузі КМ розпушувача приймає вигляд

$$\begin{aligned} A_{T_{3,2}} = & \int_0^t \left( m \cdot g \cdot \sin\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} - \frac{v_r \cdot t_2}{R_2} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 t))}{l}\right) \right) + \\ & + \left( m \cdot g \cdot \cos\left(\alpha_{pn} + \frac{v_r \cdot t_1}{R_1} - \frac{v_r \cdot t_2}{R_2} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 t))}{l}\right) \right) + m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 t) \cdot v_r \cdot t}{l} \times \\ & \times \cos\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) + 2m \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot v_r}{l} - m \cdot \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot v_r}{l}\right)^2 v_r \times \\ & \times t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) - \frac{m \cdot v_r^2}{R_2} f - m \cdot \left(\frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 t)}{l}\right)^2 v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) - \\ & - m \cdot \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 t) \cdot v_r \cdot t}{l} \sin\left(\frac{v_r \cdot t_2}{2R_2}\right) \times \\ & \times \sqrt{\left(v_r - \frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cdot \sin\left(\frac{v_r t_2}{2R_2}\right)\right)^2 + \left(\frac{e \cdot \sin(\omega_1 t) \cdot \omega_1 \cdot v_r \cdot t}{l} \cos\left(\frac{v_r t_2}{2R_2}\right)\right)^2} dt. \end{aligned} \quad (2.83)$$

#### 2.5.4 Обчислення роботи рухомої сили і вибір виду поверхні розпушувача

Роботу рухомої сили визначимо для поверхонь з напрямними: прямою, опуклою і ввігнуто – опуклою виходячи з умов переміщення частки ґрунту на однако-

ву висоту  $a = 0,25$  м та довжину  $L = 1$  м (рис. 2.22). Довжина поверхні розпушувача з ввігнуто - опуклою напрямною складає  $L = L_1 + L_2$ .

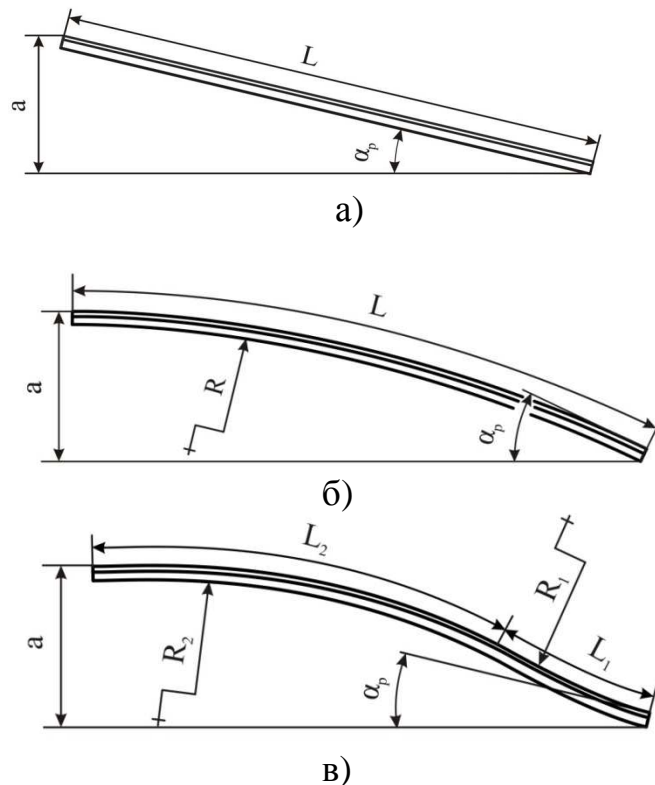


Рис. 2.22. Види напрямних поверхонь розпушувача: а) пряма; б) опукла; в) ввігнуто - опукла.

Обчислення роботи рухомої сили по розглянутим поверхням розпушувача проведено за вхідними даними, які були прийнято для обчислення величини рухомої сили з використанням програмної оболонки Maple, а результати наведено у табл. 2.8

Таблиця 2.8

Значення роботи рухомої сили по поверхні з прямою напрямною, Дж

тяжіння		Сила			
на вісь X, $A_{G_x}$	на вісь Y, $A_{G_y}$	дотична переносна сила інер- ції, $A_{F_{ei}^t}$	коріолісова сила інерції, $A_{F_{ci}}$	нормальна переносна сила інер- ції, $A_{F_{ei}^n}$	загальна рухома си- ла, $A_{F_1}$
274	420	543	121	-52	1306
Знак «-» вказує на від'ємну роботу рухомої сили					

Таблиця 2.10

Значення роботи рухомої сили по поверхні з опуклою напрямною, Дж

Сила								
тяжіння		дотич- на пере- носна інерції, $A_{F_{ei}^{\tau}}$	королі- сова інерції, $A_{F_{ci}}$	нор- маль- на пере- на інер- ції, $A_{F_{ei}^n}$	нор- маль- на від- нос- на інер- ції, $A_{F_{ri}^n}$	норма- льна перенос- на інер- ції в про- екції на вісь X, $A_{F_{ei}^x}$	доти- чна пе- рено- сна іне- рції в проек- ції на вісь X, $A_{F_{ei}^x}$	загаль- на ру- хома, $A_{T_2}$
на вісь X, $A_{G_x}$	на вісь Y, $A_{G_y}$							
177	375	471	107	-4	-42	-23	-84	977
Знак «-» вказує на від'ємну роботу рухомої сили								

Таблиця 2.12

Значення роботи рухомої сили по поверхні з ввігнуто-опуклою напрямною (для ввігнутої частини), Дж

Сила								
тяжіння		норма- льна пе- реносна інерції в проекції на вісь Y, $A_{F_{ei}^y}$	дотична перено- сна іне- рції в проекції на вісь Y, $A_{F_{ei}^y}$	дотична перено- сна інер- ції в про- екції на вісь X, $A_{F_{ei}^x}$	королі- сова інер- ції, $A_{F_{ci}}$	норма- льна від- носна інерції, $A_{F_{ri}^n}$	норма- льна пе- реносна інерції, $A_{F_{ei}^n}$	загаль- на ру- хома, $A_{T_{3.1}}$
в проє- кції на вісь Y, $A_{G_y}$	в проєк- ції на вісь X, $A_{G_x}$							
5	75	0	25	76	20	23	-2	224
Знак «-» вказує на від'ємну роботу								

Таблиця 2.13

Значення роботи рухомої сили по поверхні з ввігнуто-опуклою прямою (для опуклої частині), Дж

Сили								
тяжіння		дотич-	королі-	нормаль-	нормаль-	нормаль-	дотич-	загаль-
в проєк-	в проє-	на пере-	сова	на пере-	на від-	на пере-	на пе-	на ру-
ції на	кції на	нос-ної	інерції,	носна	нос-	носна	ренос-	хом,
вісь X,	вісь Y,	інерції,	$A_{F_{ci}}$	інерції,	ної інер-	інерції в	на інер-	$A_{T_{3.2}}$
$A_{G_x}$	$A_{G_y}$	$A_{F_{ei}^\tau}$		$A_{F_{ei}^n}$	ції,	проєкції	ції в	
					$A_{F_{ri}^n}$	на вісь	проєкції	
						X,	на вісь	
						$A_{F_{ei}^x}$	X,	
							$A_{F_{ei}^x}$	
							$A_{F_{ei}^\tau}$	
474	233	265	92	-6	-51	-30	-104	873
Знак «-» вказує на від'ємну роботу								

За результатами розрахунків (табл. 2.8, 2.10, 2.12, 2.13) роботи рухомої сили на переміщення частки ґрунту по розпушувачу з різними видами поверхонь найменша робота отримана для поверхні розпушувача з опуклої прямою (табл. 2.14), яка дорівнює 997 Дж.

Таблиця 2.14

Робота рухомої сили на переміщення частки по розпушувачу з різними видами поверхонь, Дж

Поверхня розпушувача з напрямними		
прямою, $A_{T_1}$	опуклою, $A_{T_2}$	ввігнуто-опуклою, $A_{T_3}$
1306	997	1097

## 2.6 Визначення режиму коливань розпушувача

Переміщення ґрунтової скиби з кореневою системою розглянуто для розпушувача, поверхня якого має опуклу пряму з найменшою роботою на переміщення. Переміщення ґрунту з кореневою системою саджанця відбувається за умови його ковзання по поверхні розпушувача і забезпечується силою підпо-

ру збоку незруйнованого ґрунтового горизонту Це можливо коли сила опору пласта стисненню буде достатня для подолання сил тертя. Тому деформацію стиснення пласта за рахунок сил тертя і ваги під час його руху по поверхні розпушувача можна не враховувати. Приймаємо за основу недеформовану модель відділеної ґрунтової скиби з кореневою системою.

Скористаємося другим рівняння системи диференціальних рівнянь руху частки ґрунту [76 ,77] (2.26) по поверхні розпушувачу і розглянемо переміщення вдовж осі  $y$  (рис. 2.10)

$$m\ddot{y} = N + F_{ei}^n \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) - G \cdot \cos(\alpha_p + \alpha_k) - F_{ei}^\tau \cdot \cos\left(\frac{\beta}{2}\right) - F_{ci}. \quad (2.84)$$

Підкидання частки ґрунту розпушувачем відбувається за таких умов [76, 77 ]:

- 1) величина нормального прискорення розпушувача повинна бути більшою за прискорення сили тяжіння;
- 2) напрям нормального прискорення розпушувача має бути спрямованим донизу;
- 3) напрям руху розпушувача має бути спрямованим угору.

Якщо ця умова не виконується, то частка ґрунту відривається від поверхні і тоді  $F_{mp} = Nf = 0$ , а рівняння (2.84) приймає вид

$$\begin{aligned} \ddot{y} = & \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} - \\ & - \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - 2 \cdot \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} - \\ & - g \cdot \cos\left(\alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right). \end{aligned} \quad (2.85)$$

Динамічна рівновага в момент відриву частки ґрунту від поверхні з урахуванням першої умови її підкидання розпушувачем при  $\ddot{y} = 0$  буде досягатися за умови виконання нерівності



$$\begin{aligned}
& \left( \frac{e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} + \\
& + \frac{e \cdot \omega_1^2 \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{2 \cdot e \cdot \omega_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot v_r}{l} \geq \\
& \geq g \cdot \cos\left(\alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e \cdot (1 - \cos(\omega_1 \cdot t))}{l}\right).
\end{aligned} \tag{2.86}$$

Під час взаємодії розпушувача з часткою ґрунту він здійснює де кілька качань. Потрібну кутову швидкість для одного качання розпушувача знайдемо з виразу

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{t_1}. \tag{2.87}$$

де  $t_1$  - час тривалості одного качання розпушувача.

Час тривалості одного качання розпушувача дорівнює

$$t_1 = \frac{L}{v_r \cdot n} \tag{2.88}$$

де  $n$  кількість качань розпушувача за час взаємодії з часткою ґрунту.

Тоді кутова швидкість

$$\omega_1 = \frac{2\pi \cdot n \cdot v_r}{L} \tag{2.89}$$

а рівняння (2.86) прийме такий вид

$$\begin{aligned}
& \left( \frac{e \cdot 2\pi \cdot n \cdot v_r^2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot v_r \cdot t}{L}\right)}{Ll} \right)^2 v_r \cdot t \cdot \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) + \frac{v_r^2}{R} - \\
& - \frac{e \cdot \left(\frac{2\pi \cdot n \cdot v_r}{L} \cdot t\right)^2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot v_r}{L} \cdot t\right) v_r \cdot t}{l} \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \frac{4 \cdot e \cdot \pi \cdot n \cdot v_r^2 \cdot t \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot v_r \cdot t}{L}\right)}{L \cdot l} \geq \\
& \geq g \cdot \cos\left(\alpha_{pn} - \frac{v_r \cdot t}{R} + \frac{e \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi \cdot n \cdot v_r \cdot t}{L}\right)\right)}{l}\right). \tag{2.90}
\end{aligned}$$

З нерівності (2.89) визначено час відриву частки ґрунту від поверхні розпушувача (перша умова підкидання частки ґрунту) та визначено перевищення нормального прискорення розпушувача над прискорення сили тяжіння. Для з'ясування напрямів прискорення і швидкості розпушувача побудуємо їх сумісний графік, а для отримання швидкості руху розпушувача здійснено інтегрування рівняння (2.85). Після обчислення швидкість складе

$$\begin{aligned}
v = e^2 \cdot \omega_1^2 \cdot v_r^2 & \left( 2 \frac{R^2 \left( \sin\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right) - \frac{v_r \cdot t \cdot \cos\left(\frac{v_r \cdot t}{2R}\right)}{2R} \right)}{v_r} - \right. \\
& \left. \frac{R^2 \left( \sin\left(\frac{(v_r + 4\omega_1 \cdot R) t}{2R}\right) - \frac{(v_r + 4\omega_1 \cdot R) t \cos\left(\frac{(v_r + 4\omega_1 \cdot R) t}{2R}\right)}{2R} \right)}{(v_r + 4\omega_1 \cdot R)^2} - \right. \\
& \left. \frac{R^2 \left( \sin\left(\frac{(v_r - 4\omega_1 \cdot R) t}{2R}\right) - \frac{(v_r - 4\omega_1 \cdot R) t \cos\left(\frac{(v_r - 4\omega_1 \cdot R) t}{2R}\right)}{2R} \right)}{(v_r - 4\omega_1 \cdot R)^2} \right)
\end{aligned}$$

$$\sqrt{l^2 + \frac{v_r^2 \cdot t}{R} - e \cdot \omega_1^2 \cdot v_r} \left[ \frac{2R^2 \left( \cos\left(\frac{(2\omega_1 \cdot R - v_r)t}{2R}\right) + \frac{1}{2} \frac{(2\omega_1 \cdot R - v_r)t \sin\left(\frac{(2\omega_1 \cdot R - v_r)t}{2R}\right)}{R} \right)}{(2\omega_1 \cdot R - v_r)^2} \right] + C_1, \quad (2.91)$$

де  $C_1$  - постійна інтегрування.

Обчислення значень часу відриву частки ґрунту від поверхні розпушувача, швидкості  $v$  та прискорення поверхні  $a^n$  здійснено з використанням програмної оболонки Maple за вхідними даними, які були прийнято для обчислення величини рухомої сили. За результатами обчислень побудовано залежності, які наведено на рис. 2.23.

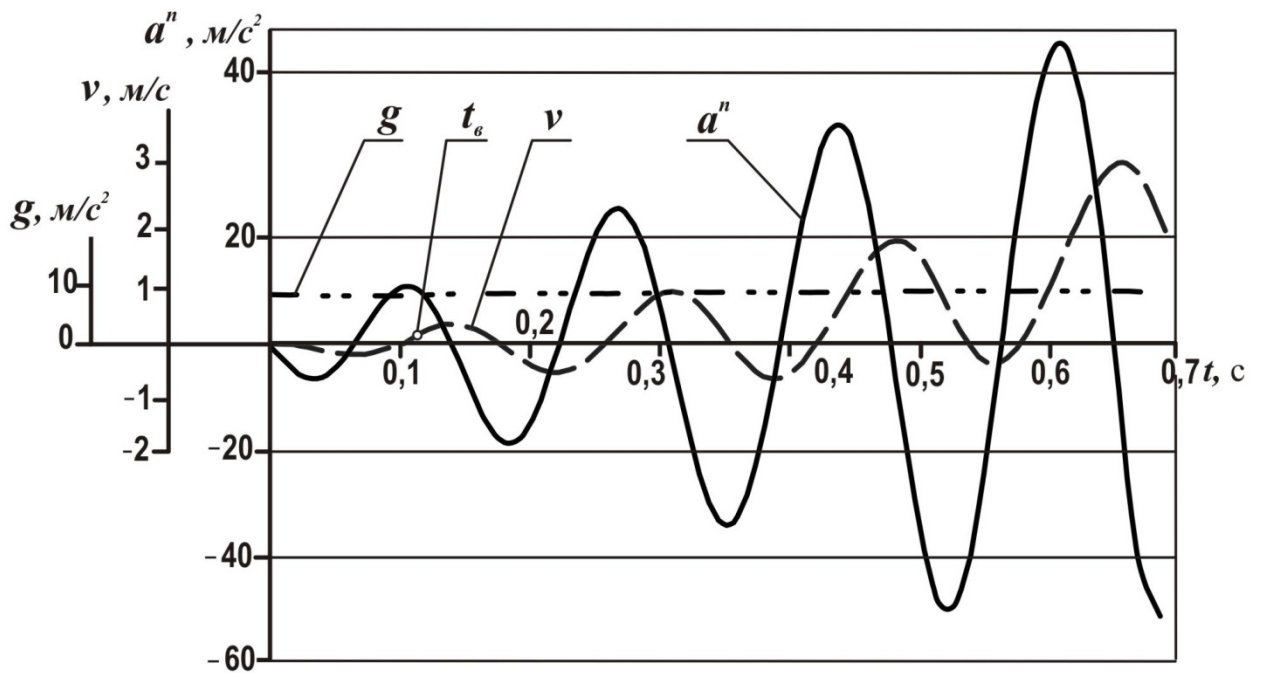


Рис. 2.23. Зміни швидкості  $v$  та прискорення поверхні розпушувача  $a^n$  в залежності від часу.

З наведених залежностей (рис. 2.23) видно, що час початку відриву частки ґрунту від поверхні розпушувача настає при  $t_e = 0,11$  с. При цьому напрям швидкості  $v$  спрямовано угору, а прискорення  $a^n$  – донизу, тобто забезпечуються перша, друга і третя умови.

Величина ексцентриситету визначається за умови перевищення прискорення розпушувача над прискоренням вільного падіння у третьому квадранті обертання ексцентрика. За цих умов величина ексцентрика має бути  $e \geq 0,02$  м.

## Висновки до другого розділу

1. За встановленими біометричними параметрами кореневої системи саджанців прийнято, що ширина розпушувача має бути в межах від 0,38 м до 0,44 м де знаходиться від 70% до 80% кореневої системи. Такі межі ширини розпушувача узгоджені з параметрами викопувальної скоби, а саме з її шириною, яка дорівнює 0,55 м з умов відділення 90% коренів саджанців від ґрунту та технологічних особливостей роботи плуга (відхилення саджанців від осі ряду, наявність вірогідності відхилення трактора від напрямку руху).

2. Доведено, що конструктивно - технологічна схема розпушувача повинна мати можливість регулювати положення його поверхні до горизонту та амплітуду коливань, а також можливість змінювати відстань між розпушувачами.

3. Встановлено, що найменше значення роботи рухомої сили на переміщення ґрунтової скоби по розпушувачу ( $A_T = 997$  Дж) досягається на лінійчатій поверхні, яка має напрямну у вигляді опуклої напрямної з радіусом 2 м.

4. Доведено, що режим коливань з відривом частки ґрунту на запропонованій поверхні розпушувача досягається у третьому квадранті обертання приводного валу ексцентрика з кількістю качань  $n = 4$ , частотою обертання  $6 \text{ с}^{-1}$  при швидкості руху агрегату 1,45 м/с і величині ексцентриситету  $e = 0,02$  м.

5. Встановлено, що інтенсивність розпушення ґрунтової скоби доцільно змінювати амплітудою коливань розпушувача за рахунок регулювання довжини важеля. Також встановлено, що довжина важеля має бути в межах від 0,35 м до 0,45 м.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Лабораторно - польові дослідження викопувального плуга з експериментальним робочим органом

#### 3.1.1 Програма і методика лабораторно – польових досліджень

Метою польових досліджень було визначення ефективності роботи викопувального плуга ВПН - 2М з експериментальним робочим органом.

Програмою польових досліджень було передбачено:

- виготовлення експериментального зразка робочого органу до викопувального плуга ВПН - 2М, з параметрами форми, значення яких було обґрунтовано в теоретичних дослідженнях;

- проведення математично планового експерименту з визначення конструктивних параметрів розпушувача, а саме:

- кут нахилу розпушувача до горизонту;
- довжина важеля;
- відстань між розпушниками.

Для виконання поставлених задач виготовлено робочий орган (рис.3.1) на заводі з виробництва сільськогосподарської техніки науково - виробничої компанії «Роста» м. Мелітополь. Робочий орган зроблено з можливістю використання його на рамі плугу ВПН - 2.

На раму 12 викопувального плуга ВПН - 2 встановлена стійка 2 з башмаком 4, на якій закріплена викопувальна скоба 3. З башмаком шарнірно зв'язана траверса 5, на якій встановлені розпушники 6 з можливістю переміщуватися в горизонтальній площині. До траверси нерухомо приєднано важіль 7, який шарнірно з'єднано з ексцентриковою тягою 8. Ексцентрикова тяга приєднана до ексцентрикового механізму 10, який встановлено на приводний вал 11. Приводний вал за допомогою ланцюгової муфти приєднано до редуктора, який передає крутний момент від ВВП трактора.

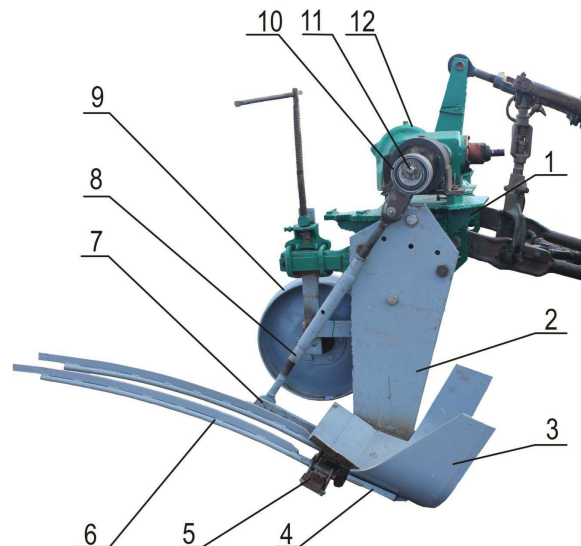


Рис. 3.1. Експериментальний зразок робочого органу на рамі плуга ВПН - 2: 1 - рама; 2 - стійка; 3 - викопувальна скоба; 4 - башмак; 5 - траверса; 6 - розпушувач; 7 - важіль; 8 - ексцентрикова тяга; 9 - опорне колесо; 10 - ексцентриковий механізм; 11 - приводний вал 12 - редуктор.

Викопувальний плуг працює у такий спосіб. Під час руху викопувального агрегату скоба відділяє ґрунтову скибу з саджанцями від ґрунтового масиву поля та подає її на розпушувач. При переміщенні ґрунтової скиби до денної поверхні поля відбувається відділення ґрунту, який проходить в щілини між прутковими розпушниками. Далі саджанці сходять з розпушувача і потрапляють на поверхню борозни утвореної після викопування.

Робочий орган має такі регулювання: зміни кута встановлення поверхні розпушувача до горизонту в залежності від глибини підкопування; зміну відстані між розпушниками; зміну величини амплітуди коливань розпушувача в залежності в довжини важеля.

### 3.1.2 Математичне планування дослідів

Для підтвердження результатів теоретичних досліджень та визначення оптимальних параметрів розпушувача були проведені польові дослідження з використанням методу математичного планування експерименту.

Вибір факторів оптимізації. Склад змінних факторів, які впливають на умови праці робітників при вибірці саджанців та забезпечують їх якість поділено на керовані та не керовані. Керовані фактори, до яких відносимо технологічні, конструктивні і кінематичні, мають такий склад:

а) технологічні :

- 1) глибина викопування саджанців;
- 2) ширина захвату робочого органу;
- 3) технологічна швидкість агрегату;

б) конструктивні:

- 1) довжина розпушувача;
- 2) довжина важеля;
- 3) відстань між розпушниками;
- 4) величина ексцентриситету;
- 5) кут нахилу розпушників до горизонту;

в) кінематичні:

- 1) частота обертання приводного валу ексцентрика;
- 2) амплітуда коливань.

Некеровані фактори мають такий склад:

- 1) фізичні властивості ґрунту (гранулометричний склад ґрунту, об'ємна маса ґрунту, вологість);
- 2) технологічні властивості ґрунту (здатність розпушуватись і подрібнюватись, твердість, фрикційні властивості);
- 3) біометричні параметри саджанців (розміри крони та кореневої системи, кількість коренів, товщина коренів);
- 4) маса ґрунту, яка зв'язана з кореневою системою під час витягування;
- 5) маса ґрунту на розпушувачу під час переміщення та сепарування ґрунту.

Не керовані фактори такі як тип ґрунту, його фізичні (об'ємна маса ґрунту, вологість) та технологічні властивості (твердість, кут зовнішнього тертя), враховано при визначенні умов проведення експерименту.



В якості критерію оптимізації параметрів розпушника прийнято зусилля на витягування саджанців з розпушеного ґрунту під час вибірки з одночасним забезпеченням якості кореневої системи саджанців.

Завданням оптимізації було отримання параметрів розпушувача, які забезпечують допустимі умови праці робітників за критерієм зусилля на витягування саджанців з підкопаного ґрунту (для жінок до 70 Н, для чоловікам до 150 Н) [60] та якість саджанців за показниками технічних вимог [78].

#### Обґрунтування рівнів варіювання основних факторів.

Рівні варіювання було встановлено до факторів:

- кут нахилу розпушувача до горизонту  $X_1$ ;
- довжина важеля  $X_2$ ;
- відстань між розпушниками  $X_3$ .

Значення рівня варіювання фактору  $X_1$  визначено за допомогою формули (2.69) і вхідними даними (п. 2.5.3). Залежність роботи рухомої сили від даного фактору наведено на рис. 3.3.

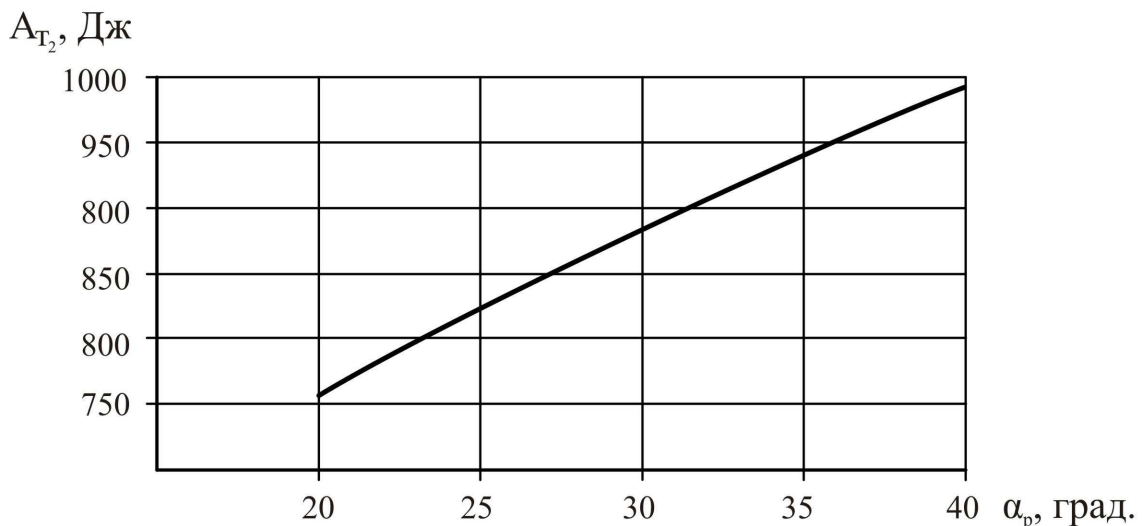


Рис. 3.3. Зміна величини роботи рухомої сили  $A_{T_2}$  від кута нахилу поверхні розпушувача до горизонту.

За наведеною залежністю графіком видно, що збільшення кута призводить до зростання величини роботи рухомої сили, тому доцільно вибирати менший кут. Зменшення кута має обмеження, яке зумовлюється збільшенням шляху переміщення скиби з ґрунтом при заданій глибині

викопування на поверхню поля, часу взаємодії розпушувача і, як наслідок, сприяє підвищенню величини роботи рухомої сили.

Для прийнятої довжини розпушувача межі варіювання кута його нахилу до горизонту прийнято від  $25^{\circ}$  до  $35^{\circ}$ .

Значення рівня варіювання фактору  $X_2$  визначено за допомогою формули (2.69) і вхідними даними (п. 2.5.3). Залежність роботи рухомої сили від довжини важеля наведено на рис. 3.4.

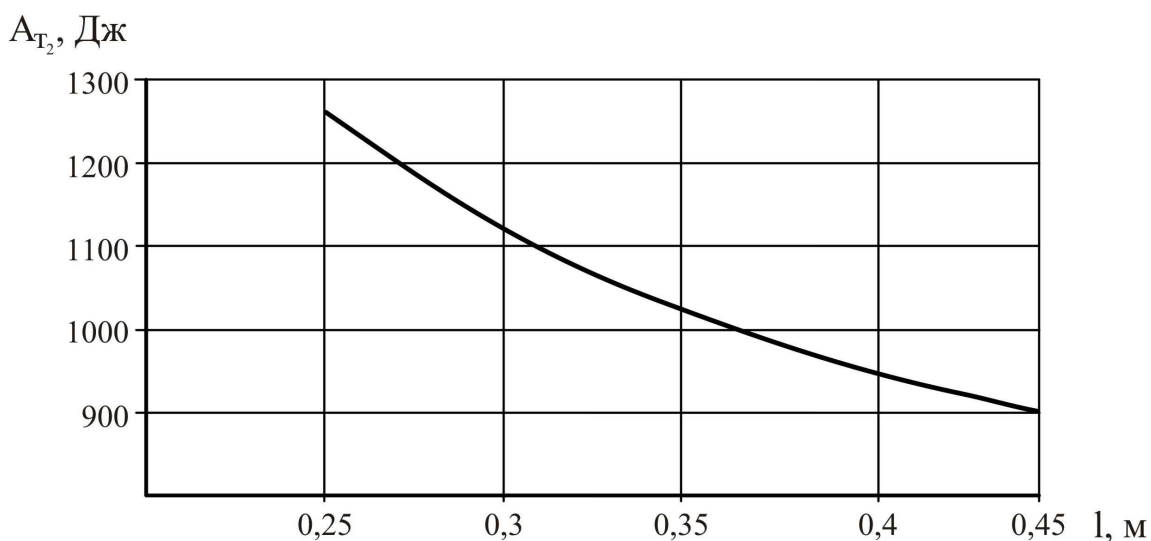


Рис. 3.4. Зміна величини роботи рухомої сили  $A_{T_2}$  від довжини важеля.

Згідно з рис. 3.4 величини роботи рухомої сили інтенсивно змінюється на довжині від 0,25 м до 0,3 м, тому межі варіювання було обрано від 0,3 м до 0,45 м.

Кількості розпушників при обраній ширині викопувальної скоби визначає відстань між ними, збільшення якої підвищує інтенсивність відділення ґрунту від ґрунтової скиби. Але це може привести до зменшення розпушення ґрунтової скиби і вивільнення коренів від ґрунту через недостатню площу взаємодії. В існуючих викопувальних плугах відстань між розпушниками дорівнює 0,1 м [30] та 0,2 м [26].

Кількість розпушників встановлено виходячи з того, що в існуючих плугах відстань між розпушниками дорівнює 0,1 м [30] та 0,2 м [26], а їх

кількість складає від 3 до 4 штук, тому при ширині захвату викопувальною скоби 0,55 м відстань між ними приймаємо від 0,08 м до 0,14 м..

Методика проведення дослідів. Польові дослідження викопувального плуга ВПН - 2М з експериментальними робочими органами проводилися в розсаднику ТОВ «Блексі фрут компанії» Мелітопольського району Запорізької області в. Досліди проводились в другому полі розсадника при викопуванні саджанців яблуні сорту Ред Чиф та Бребурн. Схема посадки 0,9 x 0,15 м. Викопувальний плуг ВПН - 2М під час досліджень агрегувалася з трактором Т - 150К. Тип ґрунту – чорнозем південний. Умови при проведенні досліджень визначалися за загально прийнятими методиками [79]. Фізичний стан ґрунту наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

## Фізичний стан ґрунту

Шар ґрунту, см	Абсолютна вологість, %	Твердість, МПа
0 – 10	22,7	1,1
10 – 20	19,6	1,2
20-30	202,3	1,5

Повний факторний експеримент для визначення зусилля (у) на витягування саджанців з ґрунту передбачає варіювання трьома факторами на верхньому (+) і нижньому (-) рівнях та визначення математичної моделі першого і другого порядків [80].

На першій стадії планування експерименту розглянуто лінійну модель [80]

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3.4)$$

Для використання стандартної матриці значення факторів кодуємо за формулою

$$z_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta_i} \quad (3.5)$$

де  $z_i$  - кодоване значення фактора (+1, -1, 0);

$x_i$  - натуральне значення фактора;

$x_{i0}$  - натуральне значення фактора на нульовому рівні;

$\Delta_i$  - інтервал варіювання.

Рівні та інтервали варіювання факторів наведено в табл. 3.2

Таблиця 3.2

## Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівні варіювання	Найменування факторів					
	Кут нахилу розпушувача до горизонту, $\alpha_p$ , град	Код	Довжина важеля, $l$ , м	Код	Відстань між розпушниками, $b$ , м	Код
Кодове позначення	$x_1$	$z_1$	$x_2$	$z_2$	$x_3$	$z_3$
Нульовий рівень	30	0	0,375	0	0,11	0
Нижній	25	-	0,3	-	0,08	-
Верхній	35	+	0,45	+	0,14	+
Інтервал варіювання	5		0,075		0,03	

План експерименту наведено у табл. 3.3. Визначено вісім варіантів дослідів з трикратною повторністю та рандомізацією порядку проведення з використанням таблиці випадкових чисел [81].

Значення отриманих зусиль на витягування саджанців робітниками після їх викопування (рис. 3.5) наведено у табл.3.2.



Рис. 3.5. Викопування саджанців сорту Ред Чиф експериментальним зразком робочого органу плуга ВПН - 2М.

Зусилля на витягування саджанців з ґрунту робітниками після їх викопування з розпушенням ґрунтової скиби вимірювали динамометром ДПУ - 0,01-2 (рис. 3.6.).



Рис. 3.6. Вимірювання зусилля на витягування саджанців динамометром ДПУ - 0,01-2.

Таблиця 3.3.

Розширена матриця планування та значень вимірювань зусилля на витягування саджанців робітниками

Фактори				Фактори взаємодії				Значення зусиль, Н		
$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_{12}$	$Z_{13}$	$Z_{23}$	$Z_{123}$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	1	1	1	1	1	1	1	46	39	53
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	45	61	53
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	34	29	39
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	39	32	46
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	66	60	54
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	62	66	70
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	45	57	51
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	56	49	63

Матриці факторів  $X$  та відгуків  $Y$

$$X := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 46 & 39 & 53 \\ 45 & 61 & 53 \\ 34 & 29 & 39 \\ 39 & 32 & 46 \\ 66 & 60 & 54 \\ 62 & 66 & 70 \\ 45 & 57 & 51 \\ 56 & 49 & 63 \end{pmatrix}$$

На підставі критерію Кохрена перевіряється однорідність (відтворюваність дослідів) [82, 83]. Дисперсії по строкам обчислено за формулою

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2, \quad (3.6)$$

де  $m$  - число паралельних дослідів.

За критерієм Кохрена порівняно розрахункове і табличне значення дисперсії

$$G_p = \frac{S_i^2 \max}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (3.7)$$

де  $S_i^2 \max$  - максимальна з строкових дисперсій  $S_i$ ;

$\sum_{i=1}^N S_i^2$  - сума всіх дисперсій за  $N$  строками матриці планування

при виконанні умови

$$G_p < G_m \quad (\alpha = 0,05; f_1 = m - 1; f_2 = N) \quad (3.8)$$

гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Розрахункове значення критерію Кохрена склало  $G_p = 0,198$  табличне дорівнює  $G_m = 0,515$  [74], тому  $G_p < G_m$ , дисперсії однорідні, а відтворюваність дослідів забезпечена.

Дисперсія відтворюваності визначається за формулою

$$S_v^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2 . \quad (3.9)$$

Помилка досліду визначається

$$S_0^2 = \frac{S_v^2}{N} \quad (3.10)$$

і для проведених дослідів склала  $S_0^2 = 5$ .

Для отримання математичної моделі визначимо коефіцієнти рівняння регресії (3.4). Коефіцієнти лінійної моделі визначено матричним методом

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y . \quad (3.11)$$

де  $X$  - матриця значень факторів;

$Y$  - матриця - стовбець дослідних значень параметру оптимізації;

$X^T$  - транспонована матриця значень факторів.

Для оцінки впливу факторів на параметр оптимізації проведено перевірку значущості кожного коефіцієнту лінійної моделі (3.4) за критерієм Стьюдента.

Дисперсії коефіцієнтів регресії визначено за формулою

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{N} . \quad (3.12)$$

За критерієм Стьюдента визначено розрахункове

$$t_{b_i} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}} \quad (3.13)$$

та знайдено табличне значення критерію Стьюдента [81]

$$t_m(\alpha = 0,05; k = N(m-1)) = 1,746.. \quad (3.14)$$

де  $\alpha$  - рівень значущості;

$k$  - число ступенів свободи.

Коефіцієнти регресії  $b_i$  вважається значимим у разі виконання умови ва  $t_{b_i} > t_m$ .

Лістинг значень коефіцієнтів регресії розраховано в пакеті MathCad і має вигляд

$$B = \begin{pmatrix} 51.625 \\ -2.875 \\ 5.625 \\ -7.625 \\ -0.375 \\ -0.125 \\ 0.875 \\ -0.125 \end{pmatrix} \quad tb = \begin{pmatrix} 1.46 \times 10^2 \\ -8.132 \\ 15.91 \\ -21.567 \\ -1.061 \\ -0.354 \\ 2.475 \\ -0.354 \end{pmatrix}$$

Тоді рівняння (3.4) приймає вид

$$y_i = 51,625 - 2,875z_1 + 5,625z_2 - 7,625z_3 + 0,875z_2 \cdot z_3. \quad (3.15)$$

Коефіцієнти  $b_{12}, b_{13}, b_{123}$  є не значущими і тому у моделі не враховано.

Адекватність модель перевірено за критерієм Фішера, який визначається за формулою

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \tilde{y}_i)^2. \quad (3.16)$$

де  $m$  - кількість паралельних дослідів;

$N$  - кількість рядків матриці планування;

$l$  - кількість значущих коефіцієнтів рівняння лінійної регресії

та з забезпеченням умови

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S_0^2} < F_T, \quad (3.17)$$

де  $F_T$  - табличне значення критерію Фішера.

Табличне значення критерію Фішера обрана згідно [80] для ступенів свободи  $f_1, f_2$ .

$$F_T(\alpha = 0,05; f_1 = N - l; f_2 = N(m - 1)) \quad (3.18)$$

$$F_T(\alpha = 0,05; f_1 = 2, f_2 = 16) = 3,634.$$

Отриману лінійну модель вважаємо адекватною дослідним даним тому, що  $2,875 < 3,634$ .

Розкодована модель має вигляд

$$y = 72,83 - 0,1x_1 + 64,44x_2 - 416,67x_3 + 1,33x_1x_2 + 444,44x_2x_3. \quad (3.19)$$



Описати область оптимуму лінійним рівнянням регресії не можливо з причини значущості ефектів взаємодії факторів і квадратичних ефектів. Тому визначення точок оптимуму будемо шукати за допомогою поліному другого порядку наступного виду [84]

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 \quad (3.20)$$

Для знаходження коефіцієнтів рівняння (3.19) потрібні плани, в яких кожен фактор приймав би три різних значення. Але повний факторний експеримент типу  $3^n$  містить надлишкове число спроб у порівнянні з кількістю шуканих коефіцієнтів рівняння регресії.

Скоротити число дослідів можливо за допомогою центрального композиційного плану (ЦКП), який складається з трьох блоків: точки повного факторного експерименту типу  $2^n$ ; «зіркові» точки (плану типу «хреста»)  $2n$ ; нульові (центральні) точки  $m_0$ . Загальна кількість спроб в матриці композиційного плану для  $n$  факторів складе

$$N = 2^n + 2n + m_0. \quad (3.21)$$

Скористаємось матрицею планування для композиційного плану при  $n=3$ , яку наведено в табл.3.3.

Таблиця 3.3

Матриця планування для композиційного плану при  $n=3$  і результати експерименту

N	План										Відгуки		
	$z_0$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_1z_2$	$z_1z_3$	$z_2z_3$	$z_1^2$	$z_2^2$	$z_3^2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	46	45	47
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	51	55	53
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	34	33	35
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	39	38	40
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	62	60	58
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	65	66	67
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	52	50	51
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	56	58	54
9	+1	+1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	0	47	49	48
10	+1	-1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	0	54	55	53
11	+1	0	+1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	58	58	58
12	+1	0	-1,215	0	0	0	0	0	1,476	0	43	42	44
13	+1	0	0	+1,215	0	0	0	0	0	1,476	35	34	36
14	+1	0	0	-1,215	0	0	0	0	0	1,476	52	51	53
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	47	43

Визначення параметрів моделі здійснимо за наступними алгоритмом [81].

Коефіцієнти регресії кожного фактору за проведеними дослідями обчислюються за формулою

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y. \quad (3.22)$$

Похибка розраховано за формулою

$$s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{\sum x_{iu}^2}, \quad (3.23)$$

де  $s_0^2$  - похибка досліду

$$s_0^2 = \frac{1}{N_0 - 1} \sum_{k=1}^{N_0} (y_{0k} - \bar{y}_0)^2, \quad (3.24)$$

де  $N_0$  - число дослідів в центрі плану.

Дисперсії коефіцієнтів регресії дорівнюють:

$$s_{b_0}^2 = \frac{s_0^2}{N}; \quad (3.25)$$

$$s_{b_{ij}}^2 = \frac{s_0^2}{\sum (x_{iu} x_{ju})^2}; \quad (3.26)$$

$$s_{b_{ii}}^2 = \frac{s_0^2}{\sum (x'_{iu})^2}; \quad (3.27)$$

$$s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{\sum x_{iu}^2}. \quad (3.28)$$

Розрахункове значення критерію Стюдента визначимо з виразів:

$$t_{ip} = \frac{b_i}{s_{b_i}} \quad (3.29)$$

$$t_{ijp} = \frac{b_{ij}}{s_{b_{ij}}} \quad (3.30)$$

$$t_{iip} = \frac{b_{ii}}{s_{b_{ii}}} \quad (3.31)$$

за умови значущості коефіцієнтів  $t_{i_p}, t_{ij_p}, t_{ii_p} \geq (\alpha = 0,05)$  дисперсія адекватності за критерієм Фішера визначено за формулою

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N-l} \sum_{u=1}^N (y_u - \tilde{y}_u)^2. \quad (3.32)$$

Розрахункове значення критерію Фішера визначено за формулою

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{s_0^2}. \quad (3.33)$$

Модель адекватна за умови  $F_p < F_T(q, f_{ad}, f_0)$ .

Для математичної моделі зусилля на витягування саджанців з ґрунту

$$y_i = B_0 + B_1 z_1 + B_2 z_2 + B_3 z_3 + B_{12} z_1 z_2 + B_{13} z_1 z_3 + B_{23} z_2 z_3 + B_{11} z_1^2 + B_{22} z_2^2 + B_{33} z_3^2, \quad (3.34)$$

вихідні матриці факторів і відгуків мають вигляд:

$X :=$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$Y :=$	46	45	47
	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1		51	55	53
	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1		34	33	35
	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1		39	38	40
	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1		62	60	58
	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1		65	66	67
	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1		52	50	51
	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1		56	58	54
	1	-1.215	0	0	0	0	0	1.476	0	0		47	49	48
	1	1.215	0	0	0	0	0	1.476	0	0		54	55	53
	1	0	-1.215	0	0	0	0	0	1.476	0		58	58	58
	1	0	1.215	0	0	0	0	0	1.476	0		43	42	44
	1	0	0	-1.215	0	0	0	0	0	1.476		35	34	36
	1	0	0	1.215	0	0	0	0	0	1.476		52	51	53
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		48	47	43
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0				

Середні значення дисперсій за строками і відгуками представлені в розрахунковому блоці пакету MathCad.

	0
0	1
1	6
2	1
3	1
4	2
5	0.5
6	1.5
7	4
8	1.5
9	1
10	0
11	1
12	1
13	1
14	3

 $Y_1 =$ 

	0
0	47
1	54
2	35
3	40
4	61
5	67
6	52
7	57
8	48
9	54
10	58
11	43
12	35
13	52
14	46

 $Y_s =$ 

Рис. 3.5. Середні значення дисперсій і відгуків за строками.

Розрахункове та табличне значення за критерієм Кохрена відповідно дорівнюють  $G_p = 0,235 < 0,7341$ ,  $(G_m(\alpha = 0,05; k_1 = 2; k_2 = 15) = 0,7341)$  - відтвореність дослідів добра - дисперсії однорідні ( $S_g^2 = 0,067$ ).

За критерієм Стьюдента коефіцієнти поліноміальної регресії мають вигляд

	0
0	45.515
1	-2.766
2	5.773
3	-7.455
4	-0.375
5	-0.125
6	0.875
7	3.824
8	3.485
9	-1.257

 $B =$ 

	0
0	176.278
1	-10.711
2	22.357
3	-28.875
4	-1.452
5	-0.484
6	3.389
7	14.809
8	13.497
9	-4.868

 $tb =$ 

Рис. 3.6. Коефіцієнти поліноміальної регресії.

За критерієм Стьюдента при  $|tb| < t_{kp}$  ( $t_{kp} = 1,697$ ) коефіцієнти моделі незначущі і в рівнянні відсутні.



Для визначення точок оптимуму, отримане рівняння (3.31) диференціюємо по кожному фактору та прирівнюємо до нуля для рішення системи рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 0,3x_1 - 9,73 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 1239,12x_2 + 388,89x_3 - 430,47 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} = 388,89x_2 - 2793,34x_3 - 87,07 = 0 \end{cases} \quad (3.37)$$

За рішенням системи рівнянь оптимальним значенням зусилля на витягування саджанців з ґрунту є  $y = 49 \text{ Н}$  при значеннях факторів:  $X_1 = 32^\circ$ ,  $X_2 = 0,42 \text{ м}$ ,  $X_3 = 0,1 \text{ м}$ .

Для графічного представлення функції відгуку зафіксовано значення по кожному фактору на нульовому рівні і представлено на рис. 3.8 - 3.10.

При  $z_1 = 0$  рівняння моделі має вигляд

$$y_1 = 126,7 - 430,47x_2 - 87,07x_3 + 388,89x_2x_3 - 58,489x_2^2 - 1396,67x_3^2. \quad (3.38)$$

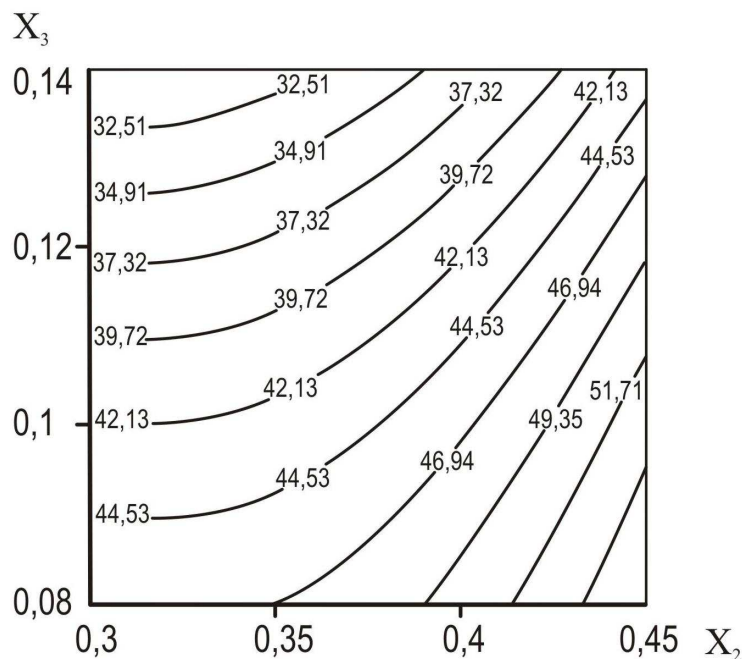


Рис.3.8. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при фіксованому  $X_1=30^\circ$ .

При  $z_2 = 0$  рівняння моделі має вигляд

$$y_2 = 210,4 - 9,73x_1 + 60,71x_3 + 0,15x_1^2 - 1396,67x_3^2 . \quad (3.39)$$

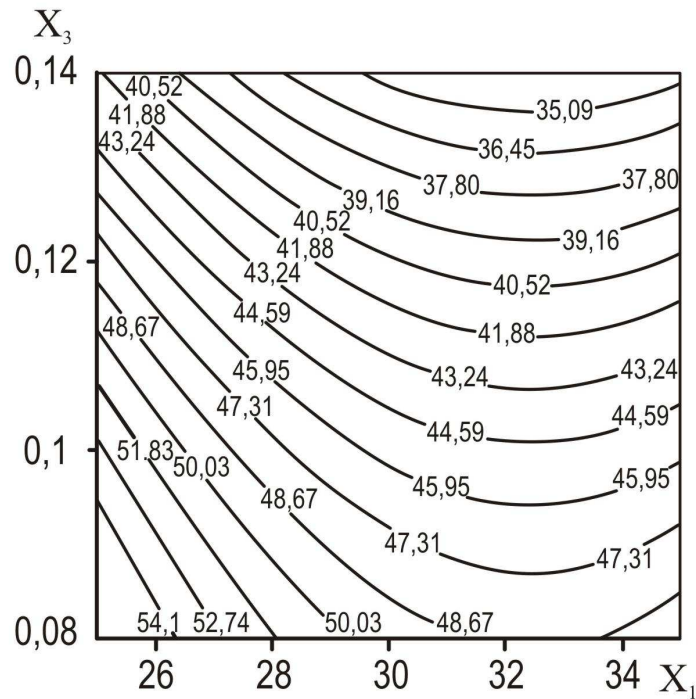


Рис.3.9. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при  $X_2 = 0,375$  м.

При  $z_3 = 0$  рівняння моделі має вигляд

$$y_3 = 268,6 - 9,73x_1 - 399,36x_2 - 1,11x_1x_2 + 619,56x_2^2 + 0,15x_1^2 . \quad (3.40)$$

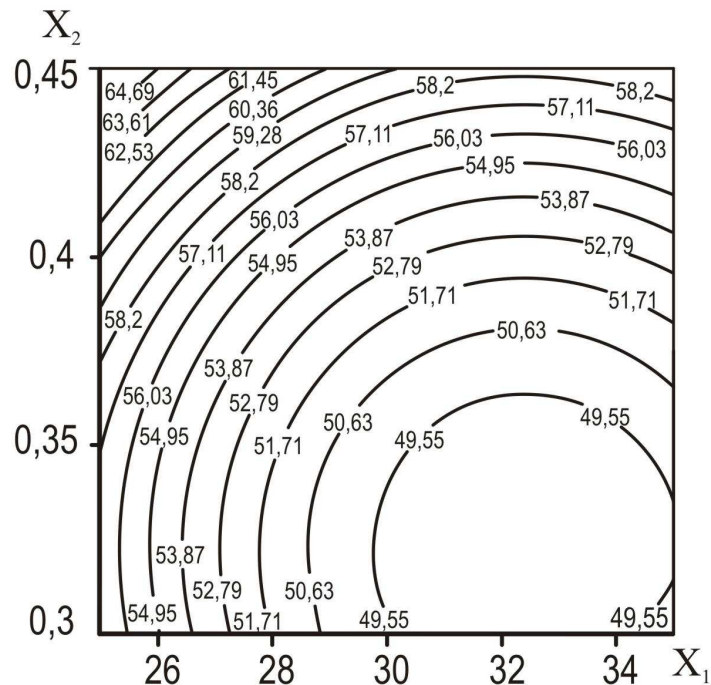


Рис. 3.10. Поверхня та лінії рівнів функції відгуку при фіксованому  $X_3=0,11$  м.

Залежність зусилля на витягування саджанців у від розглянутих факторів представлена на рис. 3.11 - 3.13.

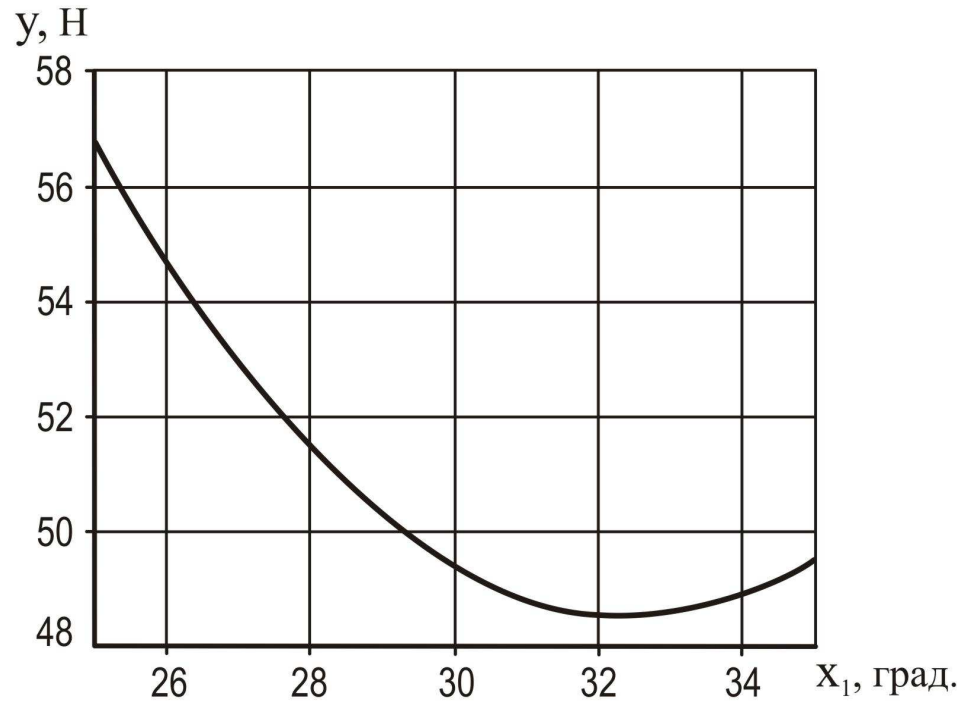


Рис. 3.11. Залежність зусилля на витягання саджанців від куту нахилу розпушувача (фактор  $X_1$ ).

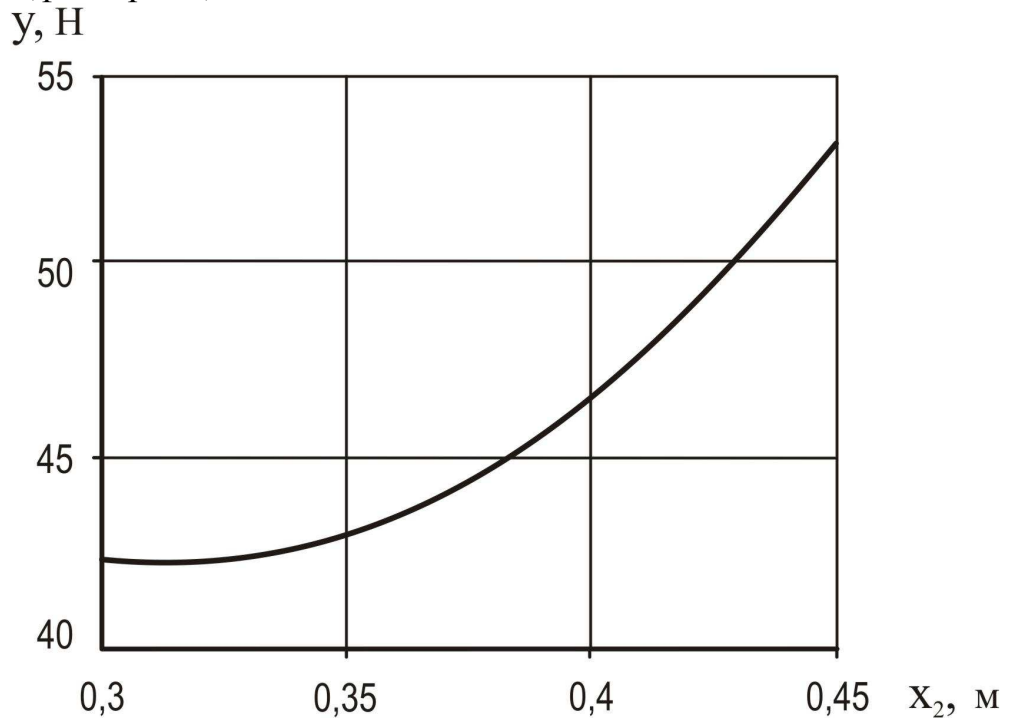


Рис. 3.12. Залежність зусилля на витягання саджанців від довжини важеля розпушувача (фактор  $X_2$ ).



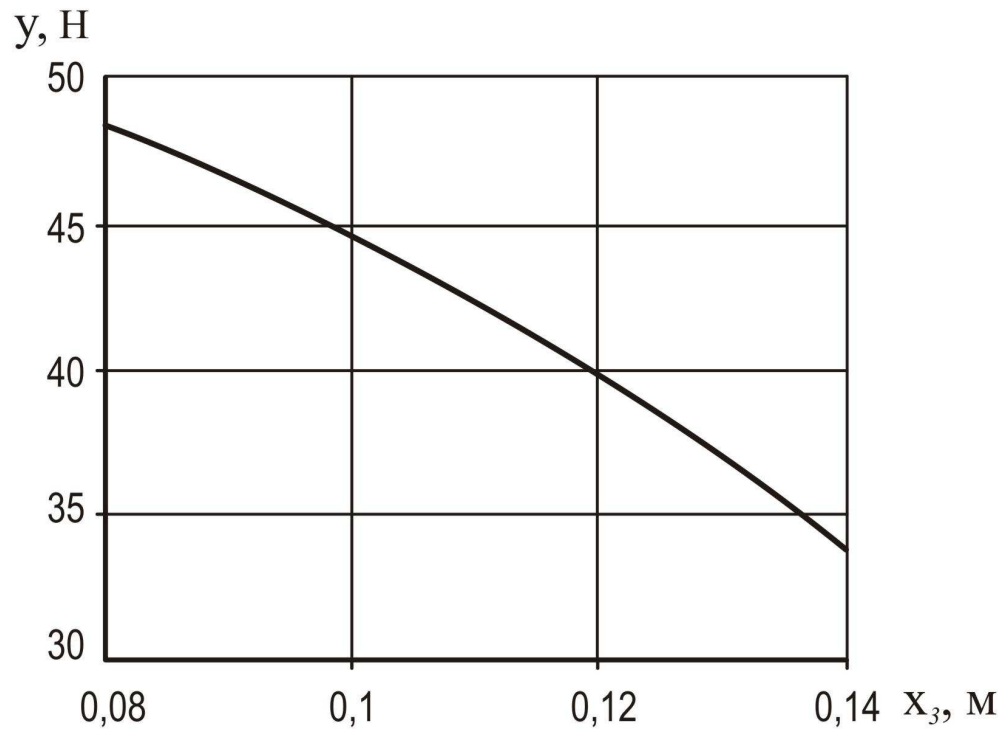


Рис. 3.13. Залежність зусилля на витягання саджанців від відстані між розпушниками (фактор  $X_3$  ).

За результатами проведених експериментальних досліджень було встановлено, що при зусиллі 42 Н на витягування саджанців з ґрунту робітниками досягалося збереження кореневої системи саджанців, а саме довжина коренів перевищувало нормативне значення на 12 % (рис. 3.7) .

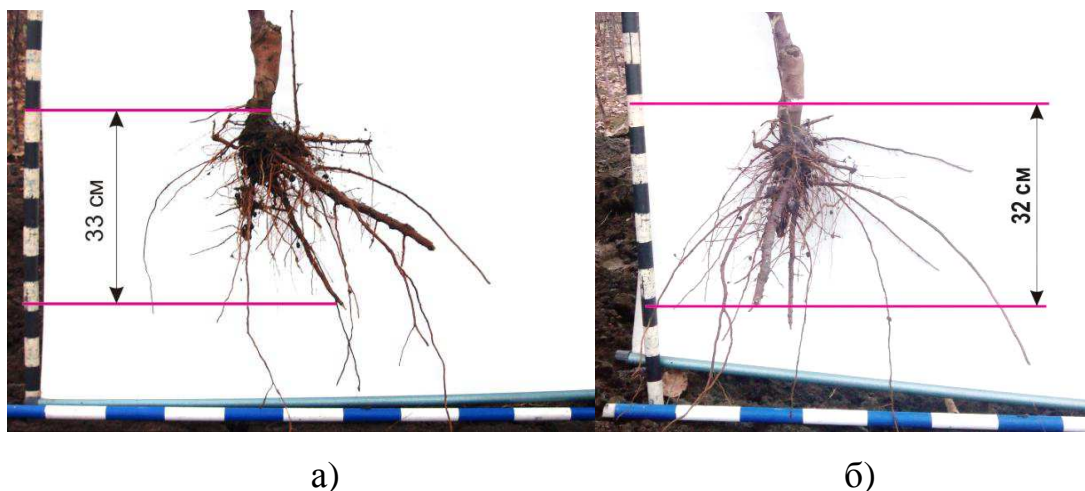


Рис. 3.7 Параметр оцінювання якості кореневої системи довжина кореневої системи саджанців яблуні сортів: а) Бребурн; б) Ред Чиф.

### Висновки до третього розділу

1. На підставі сукупності розглянутих факторів впливу на зусилля витягування саджанців з підкопаного ґрунту встановлено, що найбільш суттєвими факторами є кут нахилу до горизонту поверхні розпушувача, довжина важеля та відстань між розпушниками в горизонтальній площини.

2. На підставі отриманих залежностей роботи на переміщення ґрунтової скиби від визначених факторів встановлено значення меж їх варіювання, а саме:

- кут нахилу до горизонту поверхні розпушувача від  $25^{\circ}$  до  $35^{\circ}$ ;
- довжина важеля від 0,35 м до 0,4 м;
- відстань між розпушниками в горизонтальній площини від 0,08 м до 0,14 м.

3. Встановлено залежності впливу обраних факторів на зусилля витягування саджанців з ґрунту. Визначено, що:

- при куті нахилу поверхні розпушувача до горизонту  $32^{\circ}$  зусилля досягає найменшого значення, а потім зростає;
- при збільшенні довжини важеля зусилля зростає;
- при збільшенні відстані між розпушниками розпушувача зусилля зменшується.

4. Встановлено, що зусилля на витягування саджанців робітниками з ґрунту досягає 49 Н при таких параметрах розпушувача:

- кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p = 32^{\circ}$ ;
- довжина важеля  $l = 0,42$  м;
- відстань між розпушниками в горизонтальній площини  $b_1 = 0,1$  м.

## РОЗДІЛ 4

### НАУКОВО - ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ВИКОПУВАЛЬНОГО ПЛУГА ВПН - 2М

#### 4.1. Програма і методика науково – виробничої перевірки плуга ВПН - 2М

Науково – виробничу перевірку викопувального плуга ВПН - 2М з розробленим робочим органом у складі з тракторам ДТ -75Н було проведено в розсаднику державного підприємства дослідного господарства «Мелітопольське» при викопуванні саджанців черешні і яблуні у листопаді 2014 року.

Програмою перевірки було передбачено:

- надання агротехнічної оцінки викопування саджанців сортів яблуні та черешні в кількості 20 тис. штук;
- надання техніко-економічної оцінки викопувального плуга ВПН - 2М з експериментальним зразком робочого органу.

Агротехнічну оцінку роботи плугу ВПН - 2М було проведено відповідно до таких НД:

- умови проведення перевірки визначались згідно з КНД 46.16.02.08 -95 [79];
- оцінка якості роботи плуга визначалась згідно з ОСТ 70.16.1 – 86 [85];
- оцінка якості саджанців визначалась згідно з ДСТУ 4938:2008. Саджанці плодкових культур. Технічні умови [86,].

При визначенні показників якості саджанців застосовувались методи, які наведені в НД [87].

#### 4.2. Агротехнічна оцінка роботи викопувального плуга

Умови проведення науково – виробничої перевірки. Перевірка проводилась в розсаднику державного підприємства дослідного господарства «Мелітопольське» в агротехнічні строки викопування саджанців. Для надання агротех-

нічної оцінки роботи плугу ВПН - 2М було обрано третє поле розсадника з характеристиками, які наведено в табл.4.1.

Таблиця 4.1

## Характеристика умов надання агротехнічної оцінки

Найменування показника	Значення показника
Місце та дата випробувань	Розсадник 07.11.2014.
Фон роботи	Третє поле розсадника
Тип ґрунту	Чорнозем
Назва ґрунту за механічним складом	Важко суглинковий
Вологість ґрунту, проц. за шарами, см	
– від 0 до 10 вкл.	22,7
– вище 10 до 20	19,6
– вище 20 до 30	20,3
Твердість ґрунту, МПа, за шарами, см	
– від 0 до 10 вкл.	1,21
– вище 10 до 20	1,32
– вище 20 до 30	1,41
Тип посадкового матеріалу	Саджанці плодкових культур
Сорт	Голден Делішес
Зріст, років	2
Порода	Яблуня
Схема посадки	15-90
Ширина основних міжрядь, см	90
Відстань між саджанцями в ряду, см	16,5
Відхилення саджанців від осевої лінії ряду, ± см	±4,5
Висота наземної частини саджанця, см	175
Діаметр крони саджанця, см	65
Число саджанців шт. /м посадкового рядку	6

Згідно з ОСТ 70.16.1 – 86 [85] до показників агротехнічній оцінці належать:

- робоча швидкість руху агрегату;
- глибина підкопування;
- повнота викопування саджанців;
- доля пошкоджених саджанців;
- зусилля на витягання саджанців після підкопування;

- маса ґрунту, яка зв'язана з кореневою системою саджанця.

Обробка даних результатів вимірювання по кожному показнику проводилась за стандартною процедурою статистичного обробітку .

Агротехнічна оцінка проводилась для викопувального плугу ВПН – 2М з експериментальним робочим органом, параметри якого було отримано теоретично та експериментально, а саме: вид форми поверхні розпушника у вигляді опуклої кривої з радіусом  $R = 2$  м; частота обертання приводного валу  $n_g = 6$  с<sup>-1</sup>; кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p = 32^\circ$ ; відстань між розпушниками  $b_l = 0,1$  м; довжина важеля  $l = 0,42$  м; величина ексцентриситету  $e = 0,02$ м; довжина розпушника  $L = 1$  м

Експериментальний зразок робочого органу мав можливість проведення таких регулювань: зміни кута встановлення поверхні розпушувача до горизонту (в залежності від глибини підкопування); зміни відстані між розпушниками (в залежності від стану ґрунту); зміни величини амплітуди коливань розпушувача шляхом зміни довжини важеля

Результати агротехнічної оцінки. Процес викопування саджанців під час проведення перевірки наведено на рис. 4.1 – 4.3.



Рис 4.1. Викопування саджанців яблуні плугом ВПН - 2М з експериментальним робочим органом.



а)



б)

Рис.4.2. Загальний вид підкопаного ряду саджанців яблуні Голден Делішес а) та вигляд кореневої системи після витягування з ґрунту б).



а)



б)

Рис.4.3. Загальний вигляд кореневої системи викопаних саджанців яблуні сорту Голден Делішес а) та черешні сорту Мелітопольська чорна б).

Значення показників агротехнічної оцінки роботи плуга ВПН - 2М з експериментальним робочого органу, які були отримані під час перевірки наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Показники якості агротехнічної оцінки викопувального плуга ВПН - 2 з експериментальним зразком робочого органу

Найменування параметра / показника	Значення	
	за нормативним документом	за результатами випробувань
1	2	3
Режим роботи:		
- робоча швидкість руху, м/с	0,89 [88]	1,52
- робоча ширина захвату, м	0,5 [88]	0,55
Глибина підкопування, см		
- встановлена	35 [88]	30
- фактична	-	32
- стандартне відхилення, $\pm$ см	-	3
- коефіцієнт варіації, відсоток	-	9,3
Зусилля на витягування саджанців з ґрунту, Н	150 – для чоловіків, 70 – для жінок [60]	42
Довжина кореневої системи саджанців, см	25 [78]	28
Пошкодження саджанців, %		
Механічне пошкодження коренів	Не допустима	Відсутня
Подряпини кори	Поверхневі	2,5
Механічна пошкодження кори крона	Не допустима	Відсутня
Маса ґрунту, яка зв'язана з кореневою системою підкопаного саджанця, г	-	800

#### 4.3 Економічна оцінка роботи викопувального плуга

Розрахунок техніко-економічних показників наведено у додатку Б [89-91].

Основні техніко-економічні показники впровадження викопувального плуга ВПН - 2М наведено в табл. 4.3.



Таблиця 4.3

Основні техніко-економічні показники впровадження  
викопувального плуга ВПН - 2М

Показники		Розмір- ність	Значення		
			Базова	Нова	Відхи- лення +/-
1	Балансова вартість машини	грн.	16000	24233	+
2	Річне завантаження плугу	год.	52	52	
3	Витрати на заробітну плату	грн. / га	3106	2407	-
4	Витрати на ПММ	грн. / га	1409	1409	
5	Амортизаційні відрахування	грн. / га	340	481	+
6	Відрахування на ремонт і технічне обслуговування	грн. / га	346	487	+
7	Експлуатаційні витрати	грн. / га	5201	4784	-
8	Питомі капіталовкладення	грн. / га	2440	3429	+
9	Приведені витрати	грн. / га	5567	5298	-
10	Витрати робочого часу	люд. · год.	162	125	-
11	Економія витрат робочого часу	люд. · год./га	-	187	+
12	Ступінь зниження робочого часу	проц.	-	23	+
13	Річна економія коштів	грн.	-	2081	
14	Термін окупності	років	-	1,13	

Наведені дані свідчать про те, що застосування викопувального плуга ВПН - 2М дозволило, за рахунок зменшення кількості робітників отримати: економію робочого часу у кількості 187 люд. · год./ га, знизити робочого часу на 23%. При цьому річна економія коштів склала 2081 грн. Також отримано соціальний ефект від поліпшення умов праці робітників на витягуванні саджанців з ґрунту після їх підкопування і зменшення напруженості праці.

## Висновки до четвертого розділу

1. На підставі виконаної науково-виробничої перевірки викопувального плуга ВПН - 2М з експериментальним робочим органом в умовах ДП ДГ «Мелітопольське» встановлено, що:

- середня глибина підкопування склала 0,33 м;
- збереження кореневої системи саджанців за її довжиною перевищувало нормативне значення на 12%;
- зусилля на витягання саджанців робітниками з ґрунту склало в середньому 42 Н, що на 40% менше нормативного значення;
- 95 % викопаних саджанців відповідали першому сорту.

2. Застосування модернізованого плугу ВПН – 2М дозволило знизити витрати робочого часу робітників при вибиранні саджанців на 187 люд.·год./га, що на 23% менше у порівнянні з плугом ВСН – 1. При цьому річна економія коштів склала 2081 грн.

## ВИСНОВКИ

На підставі аналізу засобів механізації для викопування та вибірки саджанців плодових культур у розсаднику, а також проведених теоретичних та експериментальних досліджень процесу викопування саджанців вирішено ряд наукових і практичних завдань, що дозволяє зробити такі висновки:

1. На підставі аналізу функцій розпушувача встановлено, що він має бути активним, а на ефективне розпушення і відділення ґрунту від кореневої системи саджанця суттєвий вплив мають такі його параметри:

- режим коливань з відривом ґрунтової скиби від поверхні розпушувача;
- кут встановлення поверхні розпушувача до горизонту;
- відстані між розпушниками;
- час взаємодії поверхні розпушувача з ґрунтовою скибою.

2. Доведено, що конструктивно-технологічна схема розпушувача повинна мати можливість регулювати положення його поверхні до горизонту та амплітуду коливань, а також можливість змінювати відстань між розпушниками.

3. Встановлено, що найменше значення роботи рухомої сили на переміщення ґрунтової скиби по розпушувачу досягається на лінійчатій поверхні, яка має напрямну у вигляді плоскої опуклої кривої з радіусом кривизни 2 м і складає  $A_T = 997$  Дж.

4. Доведено, що режим коливань з відривом частки ґрунту на запропонованій поверхні розпушувача досягається у третьому квадранті обертання приводного валу ексцентрика з кількістю качань  $n = 4$ , частотою обертання  $6 \text{ с}^{-1}$  при швидкості руху агрегату 1,45 м/с, величині ексцентриситету  $e = 0,02$  м.

5. Встановлено, що інтенсивність розпушення ґрунтової скиби доцільно змінювати амплітудою коливань розпушувача за рахунок регулювання довжини важеля. Також встановлено, що довжина важеля має бути в межах від 0,35 м до 0,45 м.

6. Експериментальні дослідження розпушувача з опуклою поверхнею у складі робочого органу викопувального плуга ВПН - 2М дозволили встановити, що зусилля на витягання саджанців робітниками з ґрунту становить 49 Н при таких параметрах розпушувача:

- кут нахилу поверхні розпушувача до горизонту  $\alpha_p = 32^0$ ;
- довжина важеля  $l = 0,42$  м;
- відстань між розпушниками в горизонтальній площині  $b_l = 0,1$  м.

7. За результатами агротехнічної оцінки викопувального плуга ВПН-2М з розробленим розпушувачем при середній глибині підкопування 0,33 м встановлено, що збереження кореневої системи саджанців за її довжиною перевищувало нормативне значення на 12%; зусилля на витягання саджанців робітниками з ґрунту склало 42 Н, що на 40% менше нормативного значення, 95 % викопаних саджанців відповідали першому сорту.

8. Застосування модернізованого плугу ВПН – 2М з розпушувачем запропонованої конструкції дозволило знизити витрати праці робітників при вибірці саджанців на 187 люд. · год. / га, що на 23% менше у порівнянні з ВСН – 1, при цьому річна економія коштів склала 2081 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технология выращивания саженцев плодовых культур на юге степной зоны Украины в условиях орошения (рекомендации)// Институт орошаемого садоводства УААН. — Мелитополь, 1992. — 37 с.
2. Выращивание саженцев плодово-ягодных культур/А.Ф. Радюк, В.А.Самусь, А.И. Пуцило и др.-2-е изд. переоб. и доп. — Мн.:Ураджай, 1991. — 254 с.
3. Степанов С. Н. Плодовый питомник/ С. Н. Степанов — 3 - е изд. перераб. и доп. — М. : Колос, 1981. — 256 с.
4. Выращивание плодовых саженцев / В.И. Майдебура, В.М. Васюта, И.М. Мережко, В. В. Буркавский; Под ред. В. И. Майдебуры. — 2-е изд. перераб. и доп. — К. : Урожай, 1989. — 168 с.
5. Зверькова В. Ф. Производство посадочного материала/ В. Ф. Зверькова // Садоводство. 1979. — N 10. — С. 5 - 10.
6. Землянов В. Н. Зимняя прививка плодовых культур/ В. Н. Землянов — 2 - е изд. перераб. и доп. — М. : Россельхозиздат, 1977. — 80 с.
7. Татаринев А. Н. Питомник плодовых и ягодных культур/ А. Н.Татаринев, В. Ф. Зуев . — М. : Россельмаш, 1984. — 270 с.
8. Выращивание плодовых саженцев / В.И. Майдебура, В.М. Васюта, И.М. Мережко, В. В. Буркавский; Под ред. В. И. Майдебуры. — 2-е изд. перераб. и доп. — К.: Урожай, 1989. — 168 с.
9. Типовые технологические карты по выращиванию посадочного материала плодовых и ягодных культур в Украинской ССР. Украинский НИИ орошаемого садоводства. — Запорожье, 1989. — 36 с.
10. Караев О.Г. Розрахунок енергоємності виробництва садивного матеріалу в плодovому розсаднику /О.Г. Караев, О.І. Матковський //Праці Таврійської державної агротехнічної академії/ відп. за вип. О.Г. Скляр. — Мелітополь, 2001. — Вип.1, т.20. — С.90 – 94

11. Бондаренко С. Г. Методологические и энергетические проблемы виноградарства / С. Г. Бондаренко. – Кишинів, 1999. – 296 с.
12. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества/ А. И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
13. Фришев С.Г. Для викопування саджанців плодкових культур / С.Г. Фришев // Техніка в АПК . 1997.– № 2. – С. 28 – 29.
14. Сафонов О. Механізація вирощування плодкових саджанців / О.Сафонов // Техніка в АПК. – 1997. - № 2. – С. 26–27.
15. Караєв О.Г. Випробування плуга для викопування саджанців плодкових культур / О. Г. Караєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. В. Т. Надикто. – Мелітополь, 2001.– Вип.1, т. 22.– С.85-89., Протокол попередніх випробувань №03-2000 від 12 жовтня 2000 р. Виконавець: Підрозділ „Південно-східний” НВО „Сільгоспмашсистема” УкрНДПВТ.— 15 с.
16. Караєв О. Г. Геометричне моделювання траєкторії руху активного робочого органа викопного плуга саджанців плодкових культур / О. Г. Караєв, О. І. Матковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. А.В. Найдиш – Мелітополь, 2001. – Вип. 4, т. 14. – С. 52 – 58.
17. Пат. 50526 Україна, МПК А01В35/32. Пристрій для викопування саджанців / Ю.О. Ефременко (Україна). – №2002020917; заявл. 05. 02. 02; опубл. 15. 10. 02.
18. Режим доступу: <http://poligon.odessa.ua/ru/sadovaya-technika>
19. Режим доступу: <http://vstisp.org/>
20. Режим доступу: <http://www.ber-to-snc.it/>
21. А. с. 1561867 СССР, МКИ<sup>4</sup> А01С11/00. Выкопная машина / Г.В. Бешнов, В.В.Илюхин (СССР) - №4442379/30-15; заяв. 17.06.88; опубл. 07.05.90, Бюл. №17.
22. Пат. 2065676 Российская федерация, МКИ<sup>6</sup> А01С11/00. Выкопная машина/ Г. В. Бешнов, В. В. Илюхин (Россия) – №93030476/15; заявл. 16. 06. 93; опубл. 27. 08. 96.

23. Илюхин В. В. Изыскания и исследования рабочих органов для выкопки саженцев плодовых культур и ягодных кустарников.: дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / В. В. Илюхин — М : [б. в.], 1980. — 180 с.

24. Хайлис Г. А. Наклон саженцев плодово – ягодных культур при тереблении./ Г.А. Хайлис, В .С. Брик, В. В. Илюхин // Тракторы и сельхозмашины. 1977. – №4 – С. 29 – 31.

25. Строй А. А. К обоснованию некоторых размеров колеблющейся трапецидальной рамки выкопочной скобы / А. А.Строй // Совершенствование процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин / Сборник научных трудов УСХА. – Киев, 1986. – С.99-104.

26. Грибановский А. П. Оценка влияния скорости резания и геометрических параметров двухгранного клина на его тяговое сопротивление/ А. П. Грибановский, М. К. Кузнецова, Ю. Д. Белозерцев. // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – 1974. – №1. – С. 96–99.

27. Клиновой С. И. Обоснование технологического процесса выкопки саженцев и параметров вибрационного копателя : автореф. дис. канд. техн. наук / С. И. Клиновой — М.: [б. в.], 1993. — 25 с.

28. Грушанский О. А. Исследование технологии и обоснование параметров рабочего органа машины для пересадки крупномерных деревьев с комом земли : автореф. дис. на получение наук. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства» / О. А. Грушанский; Украинский госуд. агр. ун-т. – Киев : [б. в.], 1994. – 29 с.

29. Фришев С. Г. Обоснование и разработка технологического комплекса машин для возделывания посадочного материала плодовых культур: дис... док. техн. наук : 05.20.01 / С. Г. Фришев – К : [б. в.], 1998. – 296 с.

30. Клецкин Н. И. Сельскохозяйственные машины/ Н.И. Клецкин. – М.: Машиностроение, 1980. – 431 с.

31. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

32. Корабельский В. И. Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия / В. Корабельский, В. Кравчук, В. Павлоцкая // Техника АПК. – 2001. – № 7-8. – С. 24–26.

33. Павлов А. В., Корабельский В. И., Павлоцкий А. С. Геометрическое обоснование формы поверхности, совмещающей рациональное резание пласта почвы с его деформацией. // Сб. прикл. геом. и инж. граф. Вып. 19. – Киев. – Будівельник, – 1975. – С. 127 – 127.

34. Корабельский В. И. Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия / В. Корабельский, В. Кравчук, В. Павлоцкая // Техника АПК. – 2001. – № 7-8. – С. 24–26.

35. Ветохин В. И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец.05.20.01 «Механизация сельскохозяйственного производства»/ В. И. Ветохин ; Науч. произв. объединение по сельхоз. машиностроению НПО ВИСХОМ – М: [б.в.], 1993. – 24, с.

36. Ветохин В. И. Метод проектирования безотвальных рабочих органов / В. И. Ветохин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – №9. – С. 17-18.

37. Ветохин В. И. Проектирование поперечного профиля стойки и ножа плуга – рыхлителя / В. И. Ветохин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1993. – №11. – С. 18 – 20.

38. Ветохин В.И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05. 20. 01 «Механизация сельскохозяйственного производства»/ В. И. Ветохин; Науч. произв. объедин. по сельхоз. машиностр. НПО ВИСХОМ – М: [б.в.], 1993. – 24 с.



39. Тряпицин Д.А. Чизельные орудия с наклонными стойками рабочих органов: Экспресс - информ. / ЦНИТЭИ тракторосельхозмаш, сер 2: Сельскохозяйственные машины и орудия,. – М., 1986 – Вып. 12 –С. 1–7.

40. Овчаренко А. А. Обоснование параметров рабочего органа глубокорыхлителя для объемной полосовой обработки почвы: дис... канд. техн. наук : 05.05.11 / А. А. Овчаренко. – Луганск : [б. в.], 2005. – 186 с.

41. Домбровский Н. Г. Экскаваторы / Н. Г. Домбровский. – М.: Машиностроение, 1969. – 320 с.

42. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. – 376 с.

43. Далин А. Д. Исследование по резанию грунтов плужным и фрезерным ножом / А. Д. Далин // Резание грунтов./ А.Д. Далин. – М.: изд. АН СССР, 1951. – С. 16 – 41.

44. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.

45. Баловнев В. И. Физическое моделирование резание грунтов / В. И. Баловнев. – М.: Машиностроение, 1969. – 160 с.

46. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Д. И. Федоров. – М.: Машиностроение, 1977 – 288 с.

47. Панченко А. Н., Штепа В. П. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий/ А. Н. Панченко, В. П. Штепа // Учебное пособие / Днепропетровский гос. аграр. ун-т. Днепропетровск, 1995 – 96 с.

48. Федоров Д. И. Исследование резания грунтов и испытания ковшей драглайна новой формы. / Д. И. Федоров.– М.:Трансжелдориздат, 1961. – 56 с.

49. Колесников В. А. Методика лабораторных и полевых занятий по изучению корневой системы плодовых и ягодных растений / В. А. Колесников — Москва, 1960. – 57 с.

50. Касьяненко А. И. Корневая система подвоев плодовых деревьев/ А. И. Касьяненко. – К. : Наукова думка, 1980. – 220 с.

51. ОСТ 10 126-88 – Саженцы семечковых и косточковых культур. Общие технические условия.

52. Амбардумян В.А. Физико – механические свойства ветвей плодовых деревьев / В.А. Амбардумян, В.О. Давтян, Г.А. Баяхан, Э.Г. Кирокасян // Труды Арм. НИИМЭСХ. – 1973 – Вып. 11. – С. 214–219.

53. Варламов Г. П. Методы определения модуля упругости плодовой древесины / Г. П. Варламов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1971. – №7. - С. 23–26.

54. Дмитриев В. И. Физико- механические свойства наземной части яблонь в связи с исследованиями пневматических встряхивателей для уборки плодов/ В.И. Дмитриев, В.К. Посягин // Труды ВНИИС. — 1982. — Вып. 37. — С. 30-37.

55. Куйтенов В.К. Физико- механические свойства ветвей плодовых деревьев / В.К. Куйтенов // Сб. науч. Тр. ВНИИС. — 1971. — вып. 16 — С. 236–240.

56. Тищенко А.И. Физико- механические свойства древесины ветвей плодово – ягодных растений / А.И. Тищенко // Сб.науч. тр. ВИСХОМ.— 1962. — Вып. 32. — С. 54–56.

57. Мережко И. И. Качество посадочного материала и продуктивность плодовых насаждений / И. И. Мережко. – К. : Урожай, 1981. – 152 с.

58. Строй А.А. Влияние биометрических параметров однолетних саженцев черешни на усилие связи их коневой системы с почвой при механизированной выкопке / А. А. Строй // Совершенствование технологических процессов и рабочих органов с.х.м. Сб. науч. тр. УСХА. – К.: 1988. – С.48-54.

59. Строй А. А. К влиянию основных размерных параметров саженцев на вытаскивание их из почвы при механизированной выкопке / А. А. Строй, В. В. Илюхин, Лукьяненко В.Т. // Проблемы интенсификации садоводства : Тез. докл. к третьей науч. конфер. молодых ученых. — Мичуринск, 1989.— С. 100–101.

60. МОЗ України Наказ № 528 від 27.12.2001 «Про затвердження Гігієнічної класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» «Класи умов праці за показниками важкості трудового процесу»

61. Матковський О. І. Удосконалення конструктивної схеми робочих органів викопувального плуга / О. І. Матковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. О. М. Леженкін. – Мелітополь, 2011. – Вип. 12, т. 5. – С. 160 - 167.

62. Кольцов М.П. Конструктивні параметри робочого органу викопувального плуга / М.П. Кольцов, О.І. Матковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. В. Т. Надикто. — Мелітополь, 2011.— Вип. 11, т. 2. — С.126-132.

63. Рубцов Н. О. Кінематичні характеристики коливального розпушувача – сепаратора викопувального плуга/ Н. О. Рубцов, О. І. Матковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. О. М. Леженкін. – Мелітополь, 2012. – Вип. 12, т. 5. – С. 160 - 167 (здобувач навів методику розрахунку кінематичних характеристик)..

64. Бледных В.С. Построение рабочей поверхности корпуса плуга на основе технологических требований/ В.С. Бледных, С.В. Олейников // Совершенствование методов использования сельскохозяйственной техники / Научн. труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1984 – С. 82–85.

65. Вопросы технологии механизации сельскохозяйственного производства /ЦНИИМиЭСХ Нечерноземной зоны СССР– Минск.: Госиздат с -х . литературы БССР, 1963. – 263 с.

66. Кудриницький Р.Б. Взаємодія двогранного клина з ґрунтом / Р.Б. Кудриницький // Механізація та електрифікація сільського господарства.– Київ, 2001– Вип. 85. – С.85 – 90.

67. Ксендзов В.А. Механика взаимодействия двугранного клина со связным пластом почвы / В.А. Ксендзов, К.О Байдулетов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – №3.– С.27 - 28.

68. Флайшер Н.М. К теории тягового сопротивления плуга / Н.М. Флайшер // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. — 1979. — №35 — С. 46–50.
69. Кольцов М. П. Тяговый опір коливального робочого органа викопувального плуга/ М. П. Кольцов, О. І. Матковський // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. Р. В. Складар. — Мелітополь, 2013. — Вип. 13, т. 3. — С. 156 - 160 (здобувач розробив методику аналітичного розрахунку тягового опору робочого органу).
70. Фролов С.А. Начертательная геометрия: Учебник вузов.—М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
71. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики : Учеб. для машиностр. и приборостроит. спец. вузов.—5 - изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1990.—607 с.
72. Караев А.И. Моделирование перемещения почвенного пласта с саженцем по активному рабочему органу выкопчного плуга / А. И. Караев, А. И. Матковский // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти/. — Мелітополь, 2015. — Вип. 3. — С. 201 - 210.
73. Осадчий В. А. Руководство к решению задач по теоретической механике:изд. 2-е, перераб. Учеб. пособ. для техникумов / В. А. Осадчий, А.М.Файн. — М. : Высшая школа, 1972. — 256 с.
74. . Матковский А. И. Определение параметров и режимов колебаний рыхлителя плуга для выкопки саженцев / А. И. Матковский / Motrol: commission of motorization and energetics in agriculture: an international journal on operation of farm and agri - food industry machinery. Lublin - Rzeszow, 2015. — Vol. 17, No 9. — P. 55 - 59.
75. Караев О. Г. Визначення параметрів і режимів коливань розпушувача плуга для викопування саджанців / О. Г. Караев, О. І. Матковський // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти/. — Мелітополь, 2014. — Вип. 2. — С. 175 - 190.

76. Диденко Н. Ф. Машины для уборки овощей / Н. Ф. Диденко, В. А. Хвостов, В. П. Медведев. – М : Машиностроение, 1973. – 208 с.

77. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины / Г. Д. Петров. – М. : Машиностроение, 1972. – 400 с.

78. ДСТУ 4938:2008. Саджанці плодкових культур. Технічні умови. – Введ. 01.06.2008. – К.: Держспоживстандарт України, 2009.–16 с.

79. КНД 46.16.02.08 – 95 .Техніка сільськогосподарська. Методика визначення умов випробувань.

80. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях./ Винарский М. С., М. В. Лурье. «Техніка» , 1975.— 168 с.

81. Статистические методы в инженерных исследованиях (лабораторный практикум): Учеб пособие / В. П. Бородюк, А. П. Вошинин, А. З. Иванов и др.; под. ред. Г.К. Круга–М. : Высш. школа,1983.—216 с.

82. Адлер Ю.П., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М: Наука, 1976. – 281 с.

83. Мойсюк Г.М. Элементы теории оптимального эксперимента.-М.: Моск.орд.Ленина энергетический и-т. 1976. –87 с.

84. Мельников С. В., Алешкин В.Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процес сов.-2-еизд. перераб. и доп.-Л.: Колос, 1980.–167 с.

85. ОСТ 70.16.1 - 86. Испытания сельскохозяйственной техники.Машины и орудия для выкопки и выборки семян и саженцев в питомниках. Программа и методы испытаний.– Введ. 01.07.87. – М: [Б. и.]. – 72 с.

86. ДСТУ 4938:2008. Саджанці плодкових культур. Технічні умови

87. ДСТУ 4792:2007 Саджанці плодкових культур. Методи визначення якості. – Введ. 01.07.2007. – К.: Держспоживстандарт України, 2009.–18 с.

88. Вихідні вимоги на плуг викопний для плодкових розсадників. Наказ № 46.16.04.26-95 начальника Головного управління технічної політики Мінсільгоспвиробництва України.

89. ДСТУ 4397:2005. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. -Чинний від 01.01.2006. – К.: Держспоживстандарт, 2005. – 16 с.

90. ДСТУ 3-37-4-94. Трактори та машини сільськогосподарські. Методи економічної оцінки.- Чинний від 07.01.1995. – К.: Держспоживстандарт, 1995. – 15 с.

91. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: ВНИИПИ, 1992. – 41 с.